



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

GRUPO DE TRABAJO

GT-LUZ

Contaminación Lumínica

Documento Final

PARTICIPANTES

Coordinador

Manuel Nicolás Barba
Consejo General de Colegios Oficiales de Peritos e Ingenieros Técnicos Industriales

Relatores

Carlos Herranz Dorremochea
Colegio Oficial de Físicos

Estefanía Cañavate García
Empresa de Gestión Medioambiental, S.A. (EGMASA)

Colaboradores técnicos

Antonio Manuel Peña García
Universidad de Granada

David Galadí Enríquez
Centro Astronómico Hispano-Alemán

Joan Ramón Sarroca Escribá
CEI

Joaquin Baixeras Almela
Universidad de Valencia

Jordi Català i Morell
Collegi d'Enginyers Tècnics Industrials de Barcelona

Jose Enrique Vázquez Martínez
Grup de Gestors Energètics

Josep Manel Esteban Campo
Diputació de Barcelona

Josep M^a Berenguers i Palau
Ayuntamiento de Barcelona

Juan Contreras González
Junta de Andalucía

Juan Antonio Madrid Pérez
Universidad de Murcia

Lluís Ferrero i Andreu
TECNICAT

Lluís Gustems i Romeu
Generalitat de Catalunya

Lluís Muñoz del Pozo
CEI

Maria Dolors Recasens Oliveres
Generalitat de Catalunya

Mercè Terradellas Vilaró
Generalitat de Catalunya

M^a Ángeles Rol de Lama
Universidad de Murcia

Ramón San Martín Páramo
Universidad Politécnica de Catalunya

Susana Malón Giménez
AAC Centro de Acústica Aplicada, S.L.

Víctor Martínez Alarcón
Generalitat de Catalunya

Yolanda Izquierdo Jiménez
Ayuntamiento de Madrid

ÍNDICE

0. INTRODUCCIÓN.....	5
1. ASPECTOS CIENTÍFICOS DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	
1.1. Física de la difusión de la luz en la atmósfera e implicaciones para el control de la contaminación lumínica.....	6
1.2. Medidas de brillo artificial del cielo nocturno: instrumentación y metodología.....	12
1.3. Impactos de la contaminación lumínica sobre la naturaleza y la biodiversidad....	23
1.4. Efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana.....	28
1.5. Cultura de la luz: la incidencia de la opinión pública en la problemática de la contaminación lumínica.....	35
1.6 Iluminación y seguridad.....	38
2. LEGISLACIÓN Y ACTUACIONES EN EL TERRITORIO	
2.1. Valoración comparativa de la normativa desarrollada en España para la protección del cielo nocturno frente a la contaminación lumínica.....	41
2.2. Los costos de la implantación y el mantenimiento de las instalaciones de alumbrado exterior.....	54
2.3. Impacto de las adecuaciones de las instalaciones a la normativa, incidencia tanto en la contaminación lumínica como en la eficiencia de las mismas.	72
2.4. Metodología para realizar los planes de adaptación del alumbrado público a la normativa de contaminación luminosa de Cataluña.....	76
2.5. El Plan de Adecuación del Alumbrado Público de Barcelona para la protección del medio nocturno.	105

0. INTRODUCCIÓN

El grupo de trabajo sobre Contaminación Lumínica (GT-LUZ) ha realizado un gran esfuerzo en esta edición del CONAMA 9, tanto por parte de los ponentes como por parte de los relatores, para tomar conciencia de las distintas problemáticas relativas al objeto de su estudio.

Dado que se han abarcado una gran diversidad de campos de análisis desde el punto de vista científico, legislativo y de gestión, así como desde la perspectiva técnica y de eficiencia, es difícil hacer una valoración única del conjunto.

Desde el punto de vista científico, las diferentes áreas de los trabajos demuestran que se avanza y que se debe seguir investigando en todos temas, particularmente en los que conllevan implicaciones sociales.

En el ámbito legislativo el decreto de 14 de noviembre representa un paso importante para ayudar a unificar criterios y para que las comunidades autónomas que tenían legislación desarrollada puedan tomarlo como referencia y adaptación si fuera necesario y, por otra parte, para que las que no dispusieran de normas comiencen a aplicarlo.

Las aplicaciones en los municipios demuestran que se avanza sobre lo reglamentado con retraso respecto a las implicaciones que el mundo científico va desarrollando, pero que obviamente no se trasladarán completamente al mundo real hasta que maduren las legislaciones, los condicionantes económicos y la conciencia social.

La implantación, mantenimiento y gestión de los sistemas de iluminación pública y privada se dirigen a instalaciones intensivas en el momento de su diseño y construcción, a un mantenimiento continuo e inteligente así como a una gestión integral a lo largo de la vida útil de la instalación, que derivará en un ahorro notable de energía y de los costos a lo largo de todo el proceso, siendo por consiguiente estas instalaciones más eficientes y menos contaminantes y con costos económicos y medioambientales más bajos.

Por todo ello, el comité del GT-LUZ ha preferido mantener en este documento las aportaciones de los distintos miembros del comité de forma íntegra con la firma de cada ponente para que se pongan de manifiesto todas las opiniones y puntos de vista del trabajo realizado.

Manuel Nicolás. Coordinador.

1. ASPECTOS CIENTÍFICOS DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

1.1 Física de la difusión de la luz en la atmósfera e implicaciones para el control de la contaminación lumínica

Carlos Herranz Dorremocha

Responsable de Comunicación del Colegio Oficial de Físicos

En términos científicos, por contaminación lumínica se entiende la alteración de la oscuridad natural del medio nocturno producida por la emisión de luz artificial (cuya fuente son, fundamentalmente, instalaciones de alumbrado nocturno de exteriores).

En los últimos años en nuestro país se viene haciendo, especialmente a nivel regional, un esfuerzo legislativo importante para afrontar este fenómeno. Gracias en buena parte a la actividad de sensibilización y al asesoramiento de las asociaciones que lo combaten, se han aprobado leyes en cinco comunidades autónomas y varias más están en distintas fases de tramitación¹. No obstante, este empeño legislativo no se ha beneficiado del conocimiento científico contemporáneo derivado del desarrollo teórico y del registro observacional del fenómeno en su dimensión real. Por consiguiente, las normativas en vigor presentan importantes carencias que les restan buena parte de su eficacia, pudiendo llegar a ser incluso contraproducentes para el principal fin que las inspiró; esto es, prevenir y controlar la contaminación lumínica hasta niveles mínimos aceptables.

Para la prevención y control es fundamental la monitorización de la situación del medio ambiente en relación con el fenómeno de la contaminación lumínica y la evaluación del impacto ambiental de las nuevas instalaciones de alumbrado. A este respecto, pueden identificarse dos clases principales de impacto ambiental de la contaminación lumínica: el primero, de gran alcance o «general», se produce por la emisión a la atmósfera de luz artificial y por su difusión sucesiva por parte de las moléculas y de las partículas en suspensión de la atmósfera (aerosoles), que se comportan como fuentes secundarias de luz; el segundo, de corto alcance o «local», se produce por la contaminación lumínica directa hacia superficies, objetos o sujetos que no es necesario iluminar.

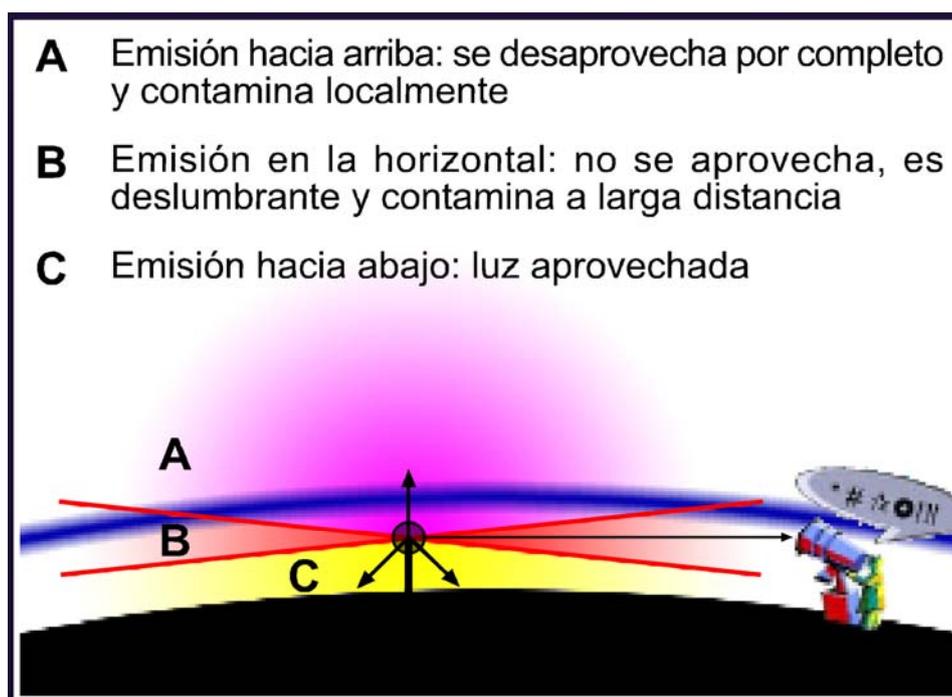
En el caso del impacto general, el comportamiento se asimila en cierto modo al tubo de escape de un automóvil. El impacto de un único vehículo puede ser aparentemente pequeño, pero la suma de la emisión de todos los vehículos en circulación produce un impacto relevante. La evaluación de este impacto exige determinar cuál debe ser la emisión máxima permisible para que la suma de los efectos de todas las fuentes contaminantes produzca una alteración despreciable del medio, en nuestro caso, de la cantidad de luz natural presente en el ambiente. La propagación de la luz artificial en la atmósfera hace que sus efectos contaminantes se manifiesten hasta distancias de cientos de kilómetros de la fuente, lo que lo asimila a las emisiones contaminantes de tipo químico.

La principal diferencia con respecto a los contaminantes químicos es que en la luz artificial el efecto viene determinado no solo por la cantidad sino también por la dirección de emisión. En consecuencia, los parámetros de evaluación basados únicamente en la cantidad de flujo luminoso emitido al medio son insuficientes y se hace necesario utilizar

¹ El reglamento que desarrolla la ley catalana (Decreto 82/2005) ha sido declarado nulo por el Tribunal Superior de Justicia de Cataluña, sentencia que se encuentra recurrida actualmente.

parámetros que tengan en cuenta también la dirección de esta emisión. En particular, el parámetro que más viene siendo utilizado en el ámbito luminotécnico (y que se ha incorporado a las normativas en vigor), el flujo hemisférico superior o FHS de una luminaria, es un parámetro totalmente inadecuado. En su lugar, un parámetro correcto es la intensidad luminosa de la luminaria en cada dirección de emisión por unidad de flujo total emitido (la matriz de intensidades), una magnitud que se obtiene de forma rutinaria en el laboratorio a partir de la medida de la distribución luminosa de la luminaria.

En el caso del impacto de tipo local, el efecto viene dado por el flujo luminoso que llega a la superficie o al sujeto afectado, por lo que los parámetros de interés son la iluminación horizontal o vertical (flujo luminoso por unidad de superficie sobre el plano horizontal o vertical) o los ligados al sujeto mismo, como el deslumbramiento molesto o el deslumbramiento perturbador. En este caso las áreas más afectadas son las situadas en el entorno inmediato de la instalación de alumbrado, por evidentes razones geométricas y porque la cantidad de luz contaminante recibida de una única luminaria depende del inverso de la distancia al cuadrado. En este sentido, la contaminación lumínica próxima tiene, por tanto, mucha afinidad con la contaminación acústica. No obstante, en este ámbito no existe un concepto análogo único de dosis o umbral. Además del deslumbramiento, la forma de contaminación lumínica denominada intrusión lumínica (en fachadas, domicilios, fincas o terrenos colindantes a donde se encuentran instalados los alumbrados) entra también dentro de esta categoría.



Esquema general de las distintas direcciones de emisión en la generación de contaminación lumínica (*Fernando Jaúregui y Cielo Buió*).

El aumento de la luminosidad del cielo nocturno (el resplandor nocturno de la atmósfera) es la consecuencia más conocida de entre los muchos efectos de la contaminación lumínica, por su carácter generalizado y porque los astrónomos vienen registrándolo como parte de sus observaciones de objetos celestes de forma rutinaria desde hace decenas de años (cuando, de hecho, no era tan pronunciado como lo es ahora). Es un grave problema de índole científica, educativa, paisajística, cultural y

turística, pues impide la percepción del universo en el que vivimos, al que el cielo estrellado constituye la única ventana accesible para el público en general.

Por otro lado, la luz difundida por la atmósfera causa también otros perjuicios al medio pues ilumina el suelo de modo no despreciable en la vecindad de áreas urbanas, provocando un efecto importante en la luminosidad ambiental percibida por los animales en sus hábitats naturales –originalmente oscuros–, dado que el cielo ocupa una fracción apreciable del campo de visión de un animal. Esto tiene efectos muy diversos según las longitudes de onda predominantes y las especies de que se traten.

¿Qué se puede hacer, pues, para controlar este grave impacto?

El primer criterio fundamental es utilizar luminarias que eviten por completo la emisión de luz sobre el horizonte. El límite adoptado en las mejores normativas de estados y regiones europeas (no así en España) es de 0 cd/klm a 90° o más sobre el plano horizontal (con una tolerancia de 0,5 cd/klm) para cualquier luminaria pública o privada (salvo excepciones fuertemente justificadas).

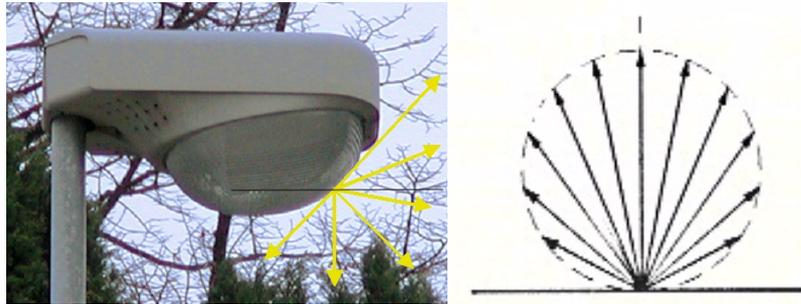
Para comprender la efectividad de este criterio frente a lo engañoso de los distintos límites permitidos al FHS (en uso en las distintas normativas españolas en vigor), considérese que, en promedio, la fracción de flujo devuelta por el suelo es aproximadamente el 10% del flujo total emitido por una luminaria. Por tanto, por cada 100 lm emitidos desde una luminaria, 10 lm son reflejados irremediabilmente hacia arriba. Si permitimos, por ejemplo, que otros 3 lm sean emitidos directamente hacia el cielo desde la luminaria (FHS=3%), el flujo hemisférico superior del conjunto sería unos 13 lm, lo que supone un aumento de contaminación lumínica debida al FHS de aproximadamente el 30% sobre lo ya inevitable por la reflexión del suelo.

La tabla siguiente muestra con más detalle el drástico aumento de la contaminación lumínica con valores crecientes de FHS permitido:

A	B	C	D	E	F
FHS (%)	Flujo directo hacia arriba (lm)	Flujo directo hacia abajo (lm) [100 – B]	Flujo reflejado hacia arriba (lm) [0,1·C]	Flujo total hacia arriba (lm) [B+D]	Incremento (%) [(B/D)·100]
1	1	99	9,9	10,9	10
3	3	97	9,7	12,7	31
5	5	95	9,5	14,5	53
10	10	90	9	19	111
15	15	85	8,5	23,5	176
25	25	75	7,5	32,5	333

Se observa que un FHS como el que permiten las leyes en vigor y las recomendaciones procedentes del sector luminotécnico supone más que triplicar (333%) la contaminación lumínica debida a la inevitable reflexión del suelo. Podría, no obstante, pensarse que un incremento del 5-10% puede considerarse admisible y, consecuentemente, que un FHS entre 0,5 y 1% puede ser razonable. Sin embargo no es así, debido al efecto de la distinta distribución de la intensidad luminosa de las luminarias y de las superficies iluminadas.

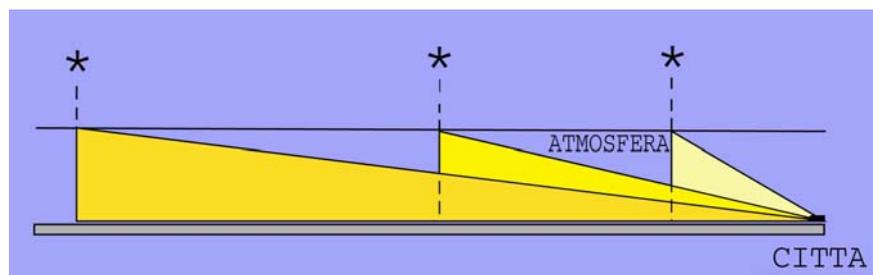
En efecto, las luminarias eficientes tienden a tener un FHS pequeño (menos del 5% del total del flujo emitido), un exceso que, por construcción, tienden a emitir precisamente en ángulos pequeños en torno a la horizontal, donde se concentra gran parte de su emisión. Por el contrario, las superficies tienen típicamente una distribución con baja intensidad en ángulos pequeños y gran intensidad en ángulos grandes sobre la horizontal (distribución casi lambertiana). Por consiguiente, la luz emitida a pequeños ángulos sobre la horizontal desde una instalación de alumbrado o una población entera es producida, sobretodo, por las luminarias.



Distribución de intensidades de una luminaria típica (izquierda) y del pavimento (*Cielo Buio*).

Debido a que el espesor de la atmósfera densa está limitado a unas pocas decenas de kilómetros, por razones geométricas fáciles de entender la emisión en pequeños ángulos sobre la horizontal se propaga más lejos que la luz emitida en ángulos elevados y se suma a la luz procedente de otras fuentes lejanas, creando un efecto de adición muy eficiente a la hora de producir niveles importantes de luminosidad artificial del cielo. Por el contrario, la luz emitida a grandes ángulos o directamente hacia arriba ilumina la atmósfera sobre la fuente, escapa en su mayor parte al espacio y no se propaga demasiado ni produce adición.

Es por tanto un hecho que, aunque la emisión luminosa procedente de las luminarias pueda parecer despreciable con respecto a la devuelta por las superficies iluminadas, en realidad constituye la parte fundamental del flujo contaminante a distancias crecientes de la fuente. Debido a que la contaminación lumínica, en ausencia de obstáculos, se propaga libremente por la atmósfera hasta más de 200 km de distancia (en realidad, hasta que la propia curvatura terrestre la oculta), en la mayor parte del territorio el brillo artificial del cielo está producido por la suma de los efectos de fuentes situadas a grandes distancias.



Influencia sobre el brillo del cielo nocturno de las direcciones de emisión a distancias crecientes de la fuente contaminante (*Cielo Buio*).

Así, por ejemplo, a 20 km de una fuente aproximadamente el 95% del brillo artificial del cielo en el cénit es debido a luz emitida desde dicha fuente en direcciones de 0 a 45° por encima de la horizontal, y aproximadamente el 50% es debido a la luz emitida de 0 a 20°. Resulta así que, en el centro de una ciudad rodeada de una zona metropolitana de núcleos de población más pequeños, aproximadamente el 20% del brillo del cielo nocturno procede, no de las luminarias de la ciudad, sino de las de los núcleos secundarios.

Este proceso de propagación y adición es particularmente eficiente en territorios con áreas extensas de múltiples pequeños núcleos de población, como es la tendencia del urbanismo actual en España, lo que ha llevado la contaminación lumínica a zonas donde anteriormente era despreciable. Para más contradicción, todo nuevo desarrollo urbanístico, ya sea destinado a vivienda, industria o servicios se dota de alumbrado (¡y se enciende!) meses y años antes de que la zona sea ocupada definitivamente.



Múltiples ejemplos de luminarias sin emisión al hemisferio superior, tanto con cierre plano como curvo (derecha) (*Cielo Buio e IDA*).

El segundo criterio fundamental para un control efectivo de la contaminación lumínica es no sobreiluminar, es decir, no aplicar niveles de iluminación superiores a las recomendaciones internacionales de seguridad para cada uso, y disminuir estos niveles de forma homogénea a las horas de la noche en que la disminución del tráfico no justifica su mantenimiento. Esta es la única manera práctica y universal de no aumentar la contribución de la contaminación lumínica procedente de la reflexión del pavimento.

El tercer criterio fundamental es 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»). De este modo, además de favorecer el máximo aprovechamiento de la luz para la función visual, 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. En la práctica, este criterio consiste en identificar el tipo de lámpara entre las disponibles por la técnica actual, siendo estas limitadas en número y de características conocidas. Evitar la luz blanca beneficia también a la biodiversidad nocturna en general, además de producir menor difusión atmosférica que la amarilla. La lámpara elegida debe ser, por tanto, aquella que a igual flujo luminoso ocasione el menor impacto ambiental (en la actualidad, las de sodio de baja y alta presión, salvo excepciones fuertemente justificadas).

Bibliografía

BADDILEY, C.J. 2007. A model to show the differences in skyglow from types of luminaire designs, with a view to recovering rural dark skies. En MARÍN, C. & JAFARI, J., *StarLight: A Common Heritage*, La Palma, 2007, pp. 345-360.

http://www.starlight2007.net/pdf/proceedings/C_Baddiley.pdf

BONATA, D. 2002. The experience of Lombardy in the fight to light pollution with the law n. 17/2000: a law to be imitated. En CINZANO, P. (coord.), *Light Pollution and the Protection of the Night Environment*, Thiene (Italia), 2002, pp. 219-232.

<http://www.lightpollution.it/istil/venice/index.html>

CINZANO, P. 1997. Inquinamento luminoso e protezione del cielo Notturno. *Memorie, Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali*, Volume XXXVIII, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arte, Venezia, 224 pp.

<http://www.lightpollution.it/cinzano/libro/index.html>

CINZANO, P., FALCHI, F. & ELVIDGE, C.D. 2001. The first world atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 328, 3, 11 December 2001, pp. 689-707.

<http://www.lightpollution.it/cinzano/download/0108052.pdf>

CINZANO, P. 2002. Technical measures for an effective limitation of the effects of light pollution. En CINZANO, P. (coord.), *Light Pollution and the Protection of the Night Environment*, Thiene (Italia), 2002, pp. 193-205.

<http://www.lightpollution.it/istil/venice/index.html>

CINZANO, P. 2002. *Dieci cose da sapere per combattere efficacemente gli effetti dell'inquinamento luminoso sul cielo notturno*, ISTIL, Thiene (Italia), 8 pp.

<http://cielobuio.org/supporto/LPIW/10%20cose.pdf>

CINZANO, P. 2004. *La valutazione dell'impatto ambientale dell'Inquinamento Luminoso*, ISTIL, Thiene (Italia), 8 pp.

http://cielobuio.org/supporto/download/cinzano_impatto.pdf

CINZANO, P. 2007. The evaluation of the environmental impact of road lighting. En MARÍN, C. & JAFARI, J., *StarLight: A Common Heritage*, La Palma, 2007, pp. 339-343.

<http://www.starlight2007.net/pdf/proceedings/StarlightCommonHeritage.pdf>

HOLLAND, J. 2008. *What is light pollution, and how do we quantify it?* 11 pp.

http://amper.ped.muni.cz/light/lp_what_is.pdf

1.2 Medidas de brillo artificial del cielo nocturno: instrumentación y metodología

David Galadí Enríquez

Astrónomo técnico y responsable de Comunicación del Centro Astronómico Hispano-Alemán (Observatorio de Calar Alto)

El resplandor difuso del fondo del cielo nocturno constituye quizá la manifestación más conocida de la contaminación lumínica. Aunque no se trate del único aspecto relevante del problema, sí es el que más afecta a la astronomía (tanto profesional como no profesional) y destaca como el principal responsable de la degradación del cielo nocturno considerado como parte integrante del paisaje natural.

En este apartado se describen las técnicas disponibles para evaluar el resplandor difuso del fondo del cielo. Se trata de unos procedimientos basados en los métodos tradicionales de la fotometría astronómica. En las páginas que siguen ofrecemos primero una introducción que incorpora una descripción somera del peculiar sistema de unidades fotométricas empleado en astronomía, las *magnitudes estelares*. Luego pasamos a describir muy de pasada los métodos de medida de la fotometría astronómica, con algunos comentarios sobre las dificultades que surgen cuando se pretende aplicar la técnica fotométrica astronómica tradicional a la obtención de medidas sistemáticas de contaminación lumínica a gran escala. En apartados posteriores se exponen los recursos de los que se dispone en la actualidad con este fin, desde los métodos de aplicación más general pero de carácter menos detallado hasta las técnicas más complejas (en cuanto a teoría, procedimiento y análisis de datos) pero también más precisas y útiles. Terminaremos la exposición con algunas reflexiones acerca de lo que cabe esperar en el futuro inmediato en este campo.

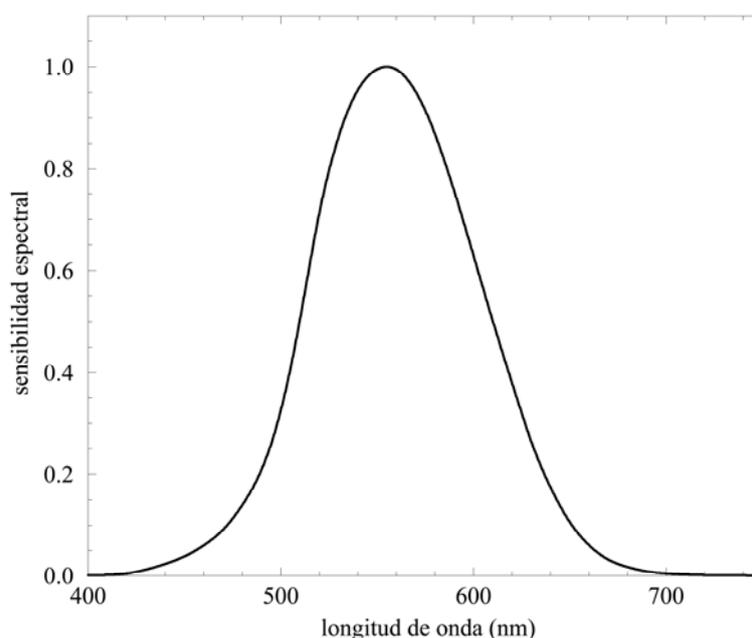
1.2.1 Introducción

En astronomía se procede de manera regular a la medida del brillo aparente de los astros de acuerdo con el sistema de *magnitudes estelares*, formalizado de manera cuantitativa por Norman Pogson en el año 1856. En esa fecha Pogson procedió a formalizar la escala tradicional de magnitudes estelares que había estado en uso desde el siglo II de nuestra era pero de manera solo cualitativa, una escala establecida en origen por Hiparco de Nicea. Los métodos cuantitativos actuales para la medida del brillo de los astros conforman la disciplina conocida como *fotometría astronómica*. Siempre que se mide el brillo de un astro, el procedimiento incluye como un paso ineludible la estimación del brillo del fondo de cielo. Por lo tanto, la medida del resplandor difuso del fondo del cielo nocturno supone un problema que ya está resuelto e integrado de manera rutinaria en las técnicas habituales de la fotometría astronómica. Sin embargo, y como veremos, las medidas astronómicas de este tipo requieren una cierta adaptación para extender su uso al campo más general del estudio cuantitativo de la contaminación lumínica, sobre todo si se pretende aplicarlas a gran escala.

El sistema de magnitudes estelares

Para medir el brillo aparente de una fuente hay que elegir ante todo la región del espectro en la que se pretende efectuar la medida. La manera más sencilla de proceder a esta elección podría consistir en especificar un intervalo de longitudes de onda. Por ejemplo, si tuviéramos interés en medir el brillo en luz visible podríamos elegir las longitudes de onda comprendidas entre 390 y 780 nanómetros: contaríamos la energía recibida dentro de ese intervalo e ignoraríamos toda la que quedara fuera del mismo.

Pero lo habitual no es definir un intervalo con límites bruscos, sino que se elige una función suave que alcanza un máximo en una determinada longitud de onda y luego va decayendo de manera progresiva hacia un lado y otro. Por ejemplo, el ojo humano (en visión diurna) efectúa de manera natural una selección de longitudes de onda de manera que detecta con la mayor eficacia la luz con longitud de onda en torno a 550 nm, pero luego va resultando cada vez menos eficaz hacia ondas mayores y menores de modo que la sensibilidad decae a la mitad para 510 nm y para 600 nm, y se torna prácticamente cero en 420 nm y 700 nm.



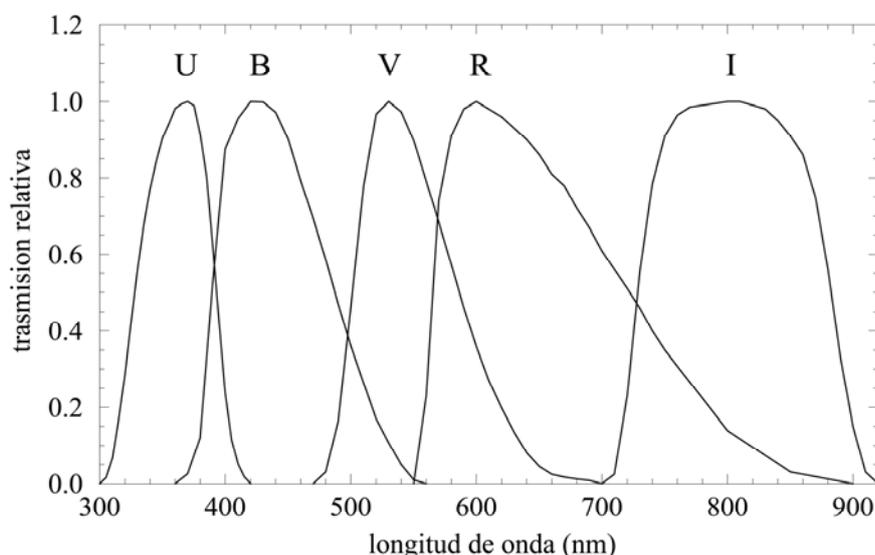
Curva normalizada de sensibilidad espectral del ojo humano para la luz diurna.

La selección que el ojo humano realiza de manera «natural» se puede emular de modo artificial por medio de *filtros*, y así se suele hacer en astronomía: a veces interesa medir el brillo de un astro en las longitudes de onda azules y se define entonces el filtro *B*, cuya curva de sensibilidad alcanza el máximo en torno a 440 nm y cae a la mitad hacia 380 nm y 480 nm aproximadamente; en otras ocasiones se emplean los filtros *U*, *V*, *R* o *I*, centrados respectivamente en 360, 550, 650 y 800 nm. El filtro astronómico más semejante a la curva de sensibilidad del ojo humano para la luz diurna es el denominado *V*.

Consideremos para fijar ideas el filtro *V*, el de mayor uso en astronomía. Denominemos F_V al flujo recibido de un objeto astronómico en el intervalo de longitudes de onda definido por el perfil de ese filtro. Entonces el brillo del astro medido en *magnitudes estelares* se expresa como $m = C - 2.5 \log_{10} F_V$, donde C es una constante que en un principio se fijó de manera que la estrella Vega tuviera una magnitud en la banda *V* igual a cero. El valor exacto de la constante no resulta de gran interés, dado que lo habitual es proceder a medidas relativas, esto es, a comparar el brillo aparente de una estrella con el de otra u otras. Si se consideran dos estrellas, su diferencia de magnitudes queda expresada de este modo: $m_1 - m_2 = -2.5 \log_{10} (F_{V1}/F_{V2})$.

Obsérvese que según estas definiciones, cuanto más brillante es un objeto menor resulta su magnitud. Las estrellas más brillantes del firmamento rondan la magnitud cero, mientras que las más débiles que se pueden llegar a divisar a simple vista presentan magnitud 6. La Luna llena tiene una magnitud en torno a -12, y el Sol ronda la magnitud -26.

El procedimiento habitual en fotometría consiste en disponer de un conjunto de estrellas de magnitudes conocidas en la banda espectral en la que se desea trabajar, y a lo largo de la noche de trabajo se dirige el aparato de medida (telescopio equipado de un detector de algún tipo, como película fotográfica, fotómetro fotoeléctrico, cámara CCD u otros) alternativamente a las estrellas de brillo conocido (estrellas estándar) y a las estrellas de brillo desconocido (estrellas problema). La comparación de los brillos detectados permite deducir las magnitudes de las estrellas problema.



Curvas de transmisión para los filtros más habituales en astronomía, los del sistema fotométrico Johnson-Cousins. La escala del eje de ordenadas es relativa y se normaliza a la unidad para el máximo de transmisión de cada uno de los filtros. Apréciase la semejanza entre el perfil del filtro V y la curva de sensibilidad espectral del ojo humano.

Fotometría estelar: las estrellas y el fondo de cielo

Las estrellas son fuentes puntuales y no caben grandes ambigüedades cuando se habla de su brillo: se trata de captar toda la energía que se recibe de un astro puntual dentro del intervalo de longitudes de onda definido por el filtro con el que se trabaja.

Pero el fondo del cielo es una fuente extensa. Quiere esto decir que cuanto mayor sea el trozo de cielo que se considere, mayor resultará la cantidad de energía captada. Por lo tanto, su brillo solo tiene sentido si se especifica «por unidad de área medida sobre el cielo» o, en términos físicos rigurosos, por unidad de ángulo sólido. La mera razón sugeriría considerar el brillo de una porción de fondo de cielo equivalente a un estereorradián (sr), o a alguno de sus submúltiplos (quizá un mili-estereorradián, msr), pero la comunidad astronómica persiste en sus hechos diferenciales y ha consagrado, a través del uso, una unidad bastante más peregrina: para evaluar el brillo del fondo de cielo se especifica el flujo que se recibe de un trozo de cielo que abarca un ángulo sólido de *un segundo de arco cuadrado* (arcsec^2). Por lo tanto, en astronomía se suelen encontrar estimaciones de brillo del fondo de cielo en *magnitudes por segundo de arco cuadrado* ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) o, dicho en palabras algo más llanas, qué magnitud estelar

correspondería al brillo emitido por un trocito de cielo de forma cuadrada y que midiera un segundo de arco de lado.

Comparación con las unidades luminotécnicas

Si seguimos considerando el filtro astronómico V , dado que su perfil se parece a la curva de sensibilidad del ojo humano cabe esperar que exista una equivalencia siquiera aproximada entre las unidades de medida características de la fotometría astronómica y las de la luminotecnia. En efecto así es. La luminancia de un «trozo de cielo» de un segundo de arco cuadrado que presente un brillo de m magnitudes medido en el filtro V equivale de manera muy aproximada a b candelas por metro cuadrado, de acuerdo con estas dos expresiones que poseen el mismo significado:

$$b = 10^{[(12.60 - m) / 2.5]} \quad ; \quad m = 12.60 - 2.5 \log_{10} b$$

Dado que la magnitud m corresponde a un ángulo sólido de un segundo de arco cuadrado, y sabido que un ángulo sólido de un segundo de arco cuadrado abarca 2.35×10^{-11} estereorradianes, se deduce que una fuente luminosa astronómica con un brillo aparente total de m magnitudes en la banda V , si se sitúa en el cenit, ilumina el terreno con una iluminancia horizontal i (medida en luxes, o sea, en lúmenes por metro cuadrado) dada por:

$$m = 12.60 + 2.5 \log_{10} (2.35 \times 10^{-11}) - 2.5 \log_{10} i = -13.97 - 2.5 \log_{10} i ; \\ i = 10^{[(-13.97 - m) / 2.5]}$$

Estas expresiones implican, por ejemplo, que la Luna llena en posición cenital y en una noche muy clara puede llegar a inducir una iluminancia en torno a 0.15 lux.

Un cielo realmente oscuro presenta un brillo superficial en la banda V de 21.5 mag/arcsec², mientras que otro muy brillante puede llegar a valores inferiores a 19.5 mag/arcsec².

El brillo en otras bandas del espectro

Todas las unidades de medida de la luminotecnia se definen considerando como «filtro» efectivo la curva de sensibilidad espectral del ojo humano en condiciones fotópicas (diurnas). Pero en astronomía interesa la emisión de los cuerpos celestes en todas las longitudes de onda del espectro, tanto las visibles como las poco visibles o incluso las invisibles. Por lo tanto, en lo que se refiere al estudio del cielo nocturno hay que considerar la contaminación lumínica no solo en el intervalo visible, sino también fuera de él. De ahí que las unidades luminotécnicas resulten del todo inadecuadas para la medida y diagnóstico del resplandor difuso del cielo nocturno en astronomía. La aproximación más razonable al problema consiste en emplear las mismas técnicas y unidades que se manejan en fotometría astronómica. Así, resultará del máximo interés valorar el brillo superficial aparente del fondo del cielo en todos los intervalos de longitudes de onda de uso habitual en astronomía, como las ya mencionadas bandas U , B , V (la única con una cierta equivalencia en unidades luminotécnicas), R , I , pero también en otras bandas definidas por otros filtros que corresponden a otros varios de la multitud de sistemas fotométricos usados para la observación del cielo.

1.2.2 Fundamentos de fotometría astronómica

No es este el lugar para describir en detalle los procedimientos de la fotometría astronómica y remitimos a la bibliografía para ampliar los conceptos y técnicas que se

van a comentar. Ahora nos limitaremos a describir los fundamentos básicos con la única intención de que luego se comprenda de manera cabal el apartado dedicado a los métodos prácticos que se pueden aplicar hoy día a la medida del resplandor difuso del fondo del cielo debido a la contaminación lumínica.

Las estrellas como patrón de medida

Como ya hemos comentado, el procedimiento habitual en astronomía para determinar el brillo aparente de un objeto astronómico de intensidad desconocida (objeto problema) consiste en dirigir el detector al objeto en cuestión y, también, en el curso de la misma sesión de medidas, a uno o varios objetos de brillo conocido (estrellas estándar). En este proceso hay implicada una serie de decisiones más o menos arbitrarias:

1. Elección del sistema instrumental.
2. Elección del intervalo espectral de trabajo (o sea, definición del filtro en que se mide, por ejemplo el filtro *V*, o cualquier otro de los habituales en fotometría astronómica).
3. Elección del conjunto de estrellas estándar (astros cuyas magnitudes estelares *en el filtro elegido* son conocidas con la mayor precisión posible).

Hechas las tres elecciones, en el curso de la sesión de medida se procede a observar en múltiples ocasiones un conjunto de estrellas estándar y de objetos problema (quizá más de una vez cada uno de ellos). En cada una de las medidas individuales hay que proceder a estos pasos:

1. Medir la señal que da el detector apuntado a la fuente emisora que se observa, sea esta una estrella estándar o un objeto problema. Esta señal incluye tanto la luz de la fuente astronómica como una cierta cantidad de luz debida al fondo de cielo.
2. Medir la señal que da el detector apuntado *junto a* la fuente emisora, pero no hacia ella, para estimar así la intensidad de la contribución del fondo de cielo.
3. La señal de la fuente astronómica se deduce tomando la medida del paso 1 y sustrayéndole la medida del paso 2. Sobre estas medidas a las que se ha descontado el brillo de fondo es sobre las que se suele elaborar todo el trabajo posterior de análisis de datos astronómicos.
4. Al comparar las señales detectadas de las estrellas estándar con las señales detectadas de los objetos problema, se deducen las magnitudes estelares aparentes de los objetos problema.

La extinción atmosférica

En lo anterior se ha obviado un hecho de la mayor importancia: observamos las estrellas a través de la atmósfera y ello perturba su brillo aparente. En noches de transparencia diferente, las mismas estrellas pueden presentar brillos aparentes distintos. Incluso en el curso de una misma noche, una misma estrella se observa a distintas alturas sobre el horizonte (dado que la Tierra gira con el paso de las horas) y esto hace que la luz estelar atraviese grosores de atmósfera cambiantes, lo cual induce atenuaciones del brillo distintas. Todas las medidas de brillo aparente de fuentes astronómicas están afectadas por este efecto de extinción atmosférica. Las sesiones de observación se diseñan de manera que se pueda evaluar el efecto de la extinción atmosférica y aunque no entraremos ahora en los detalles es necesario hacer constar que esta circunstancia complica de manera considerable tanto la planificación de las observaciones como el tratamiento posterior de los datos.

Aplicación a la medida del brillo de fondo del cielo

Se entiende ahora cómo adaptar los procesos de medida habituales en fotometría astronómica para evaluar el brillo de fondo de cielo. Se trata de aplicar los métodos que acabamos de describir pero considerando el propio fondo de cielo como el objeto problema cuyo brillo hay que deducir. Se trataría de seguir los pasos que siguen:

1. Medir la señal que da el detector apuntado a las estrellas estándar. Esta señal incluye tanto la luz de la estrella como una cierta cantidad de luz debida al fondo de cielo.
2. Medir la señal que da el detector apuntado *junto a* la estrella estándar, pero no hacia ella, para estimar así la intensidad de la contribución del fondo de cielo.
3. La señal de la estrella estándar se deduce tomando la medida del paso 1 y sustrayéndole la medida del paso 2. Pero la medida del fondo de cielo es el resultado del paso 2 tal cual.
4. Al comparar las señales detectadas de las estrellas estándar con las señales detectadas del fondo de cielo, se deducen las magnitudes estelares aparentes que corresponden al fondo de cielo.

Por supuesto al proceder de este modo hay que tener en cuenta que el fondo de cielo es una fuente extensa y no un objeto puntual como las estrellas. Hay además una diferencia con el método normal debida a que el brillo de fondo de cielo no está afectado por la extinción atmosférica, mientras que las estrellas estándar sí lo están. Con las salvedades necesarias, este procedimiento constituye el fundamento de la técnica fotométrica astronómica aplicada a la medida del resplandor difuso del fondo de cielo.

Dificultades para la aplicación a gran escala de este procedimiento

Los observatorios astronómicos profesionales, y también un cierto número de observatorios no profesionales avanzados, disponen del instrumental necesario y del personal cualificado para efectuar las medidas que se han descrito. Pero la necesidad de disponer de un material de observación de calidad, conocimientos de fotometría astronómica y recursos de cálculo hacen que estos procedimientos estén fuera del alcance del público general. Por lo tanto vemos que la medida rigurosa de la contaminación lumínica en forma de luz difusa solo se puede efectuar en el estado actual de las cosas desde un número limitado de emplazamientos que, además, por motivos obvios, suelen estar ubicados en áreas donde la contaminación lumínica afecta relativamente poco.

1.2.3 Recursos prácticos actuales para la medida de la contaminación lumínica en forma de luz difusa

A la vista de las dificultades recién comentadas, y dada la necesidad de evaluar la contaminación lumínica en forma de luz difusa en el mayor número de lugares posible y con la máxima frecuencia, se han desarrollado diversas alternativas más o menos satisfactorias. Algunas líneas de trabajo recurren a simplificar el método de observación para reducir sus necesidades tanto técnicas como de conocimientos: estimación visual del brillo de fondo de cielo a través de la estimación de las estrellas más débiles observables; uso de aparatos simplificados portátiles que ofrecen medidas numéricas directas. Otras líneas de investigación se han orientado al diseño de instrumentación de calidad pero automatizada tanto en su operación como en el tratamiento de los datos, lo cual permite establecer múltiples estaciones de observación con un coste menor, o

incluso estaciones móviles. A continuación trataremos una a una estas diversas alternativas.

Métodos basados en la estimación visual de la magnitud límite

El procedimiento más sencillo consiste en limitarse a la banda astronómica V empleando el ojo humano como detector (dado que, como ya hemos comentado varias veces, la curva que describe el filtro V se parece mucho a la que traza la sensibilidad fotópica del ojo). Como estrellas estándar se emplean los astros que se distinguen a simple vista. Se define una serie de zonas del firmamento, comprendidas dentro de asterismos fáciles de reconocer, por ejemplo en el seno de grandes cuadriláteros o triángulos delimitados por estrellas brillantes conocidas por la mayoría de las personas que suelen observar el cielo. Se pide a quien efectúa la medida que *cuente* el número de estrellas que llega a distinguir dentro de cada una de estas zonas. Como se trata de áreas bien delimitadas, se sabe de antemano que cada número de estrellas corresponde a un brillo límite determinado. Por lo tanto, la estimación fotométrica se sustituye por un simple recuento.

Las ventajas del método son evidentes. No se requieren casi conocimientos técnicos, más allá de reconocer una zona del firmamento nocturno. Por tanto el número potencial de participantes en las campañas de medida resulta muy elevado y ello permite además obtener estimaciones en multitud de emplazamientos distintos y con una frecuencia temporal muy elevada.

Sin embargo, este procedimiento impide o dificulta distinguir la distribución del resplandor difuso sobre la bóveda celeste y se limita a la banda visual (filtro V). Además resulta solo parcialmente cuantitativo y hay múltiples factores que afectan a la precisión de los resultados: experiencia de quien hace la medida, diferencias de sensibilidad por motivos fisiológicos como por ejemplo el estado de dilatación de las pupilas, etcétera.

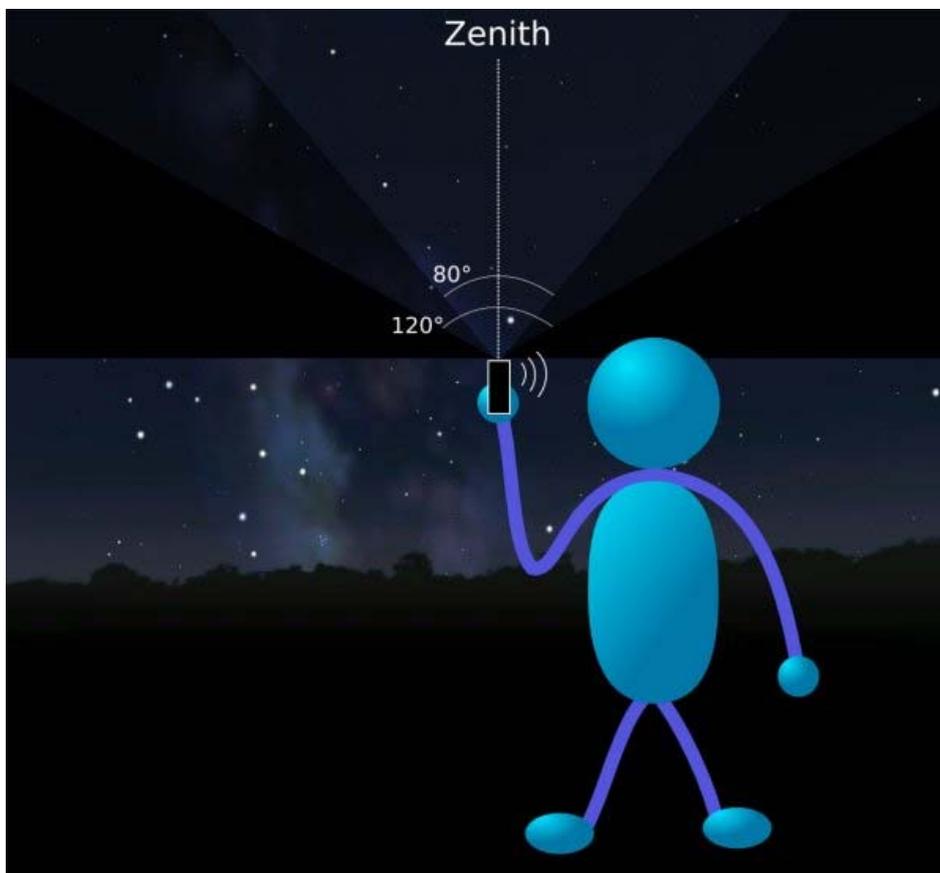
Aun así, las ventajas aportadas por la posibilidad de obtener gran cantidad de datos hacen que esta técnica esté alcanzando una difusión considerable. Este sistema resulta además muy adecuado como medio de difusión y concienciación sobre la contaminación lumínica. Y desde el punto de vista de la defensa del cielo nocturno como parte del paisaje natural, se trata del único procedimiento que conduce de modo directo y simple a valorar el efecto final: hasta qué punto la contaminación lumínica está limitando la percepción directa y el disfrute del firmamento. Otros métodos multifiltro, cuantitativos y rigurosos desde el punto de vista físico se enfrentan a grandes problemas a la hora de traducirlos a términos perceptuales. Si nos interesa saber cómo está afectando la contaminación lumínica a la visión directa del cielo, ¿qué mejor que mirar al cielo directamente y comprobarlo?

Son varias las campañas nacionales o internacionales que aplican esta técnica, entre las que cabe destacar el proyecto IACO (encabezado por la Sociedad Malagueña de Astronomía y apoyado por el nodo español para el Año Internacional de la Astronomía 2009) y la iniciativa Globe at Night. En la bibliografía se ofrecen enlaces a las páginas de Internet de ambos proyectos.

Dispositivos experimentales simplificados: sky quality meter

Algunas líneas de trabajo se han orientado al desarrollo de instrumentos simplificados que permitan la obtención de medidas masivas pero de carácter objetivo, reproducible y cuantitativo. Entre estas iniciativas destaca el producto llamado *sky quality meter* como el único que ha alcanzado el mercado y ha logrado cierta difusión. Se trata de un instrumento que integra la luz procedente de una fracción muy considerable del firmamento (cubre un área de más de 90 grados de diámetro) y que lleva integrado físicamente un filtro equivalente al V astronómico. Se trata por tanto de un instrumento

muy semejante a los luxómetros de uso habitual en luminotecnia, pero con varias diferencias entre las cuales destaca la principal: las unidades de medida, dado que este instrumento ofrece los datos de salida ya directamente en magnitudes por segundo de arco cuadrado.

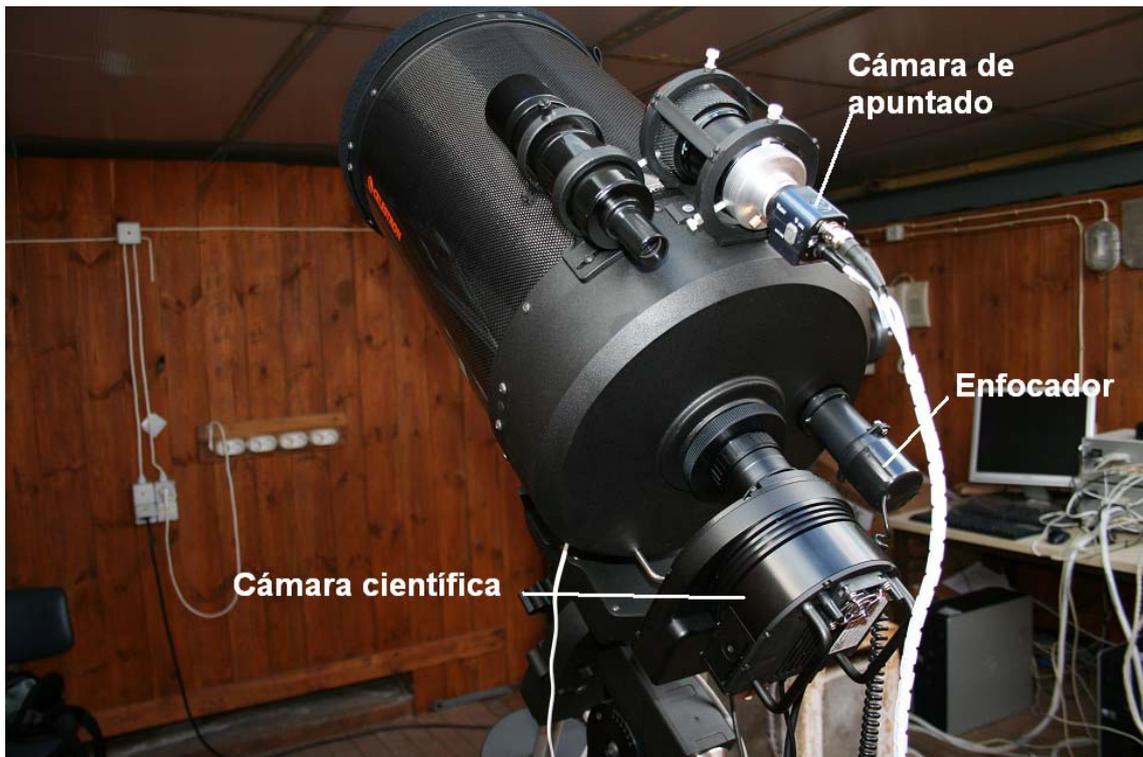


Procedimiento de uso del Sky Quality Meter

Las ventajas de este tipo de aproximaciones al problema consisten en la portabilidad, la posibilidad de efectuar multitud de medidas en puntos dispersos por el territorio, y en que no hace falta ni un proceso experimental complejo ni conocimientos especiales para su empleo. Sin embargo, vuelve a tratarse de un sistema sin resolución espacial suficiente y limitado a la banda visual.

Instrumentos automatizados

Esta línea de trabajo pretende producir sistemas y procedimientos que ofrezcan datos de la máxima calidad científica, pero aspira a extender su rango de aplicación (en el espacio y en el tiempo) automatizando tanto el manejo instrumental como el tratamiento de los datos. El único montaje comercial disponible que ha logrado resultados en la práctica es el producto Excalibur desarrollado por el ingeniero Jesús Aceituno Castro, del Centro Astronómico Hispano Alemán (Observatorio de Calar Alto). Excalibur (EXTinction CAmera and LumInance BackgroUnd Register) es un monitor de extinción atmosférica que permite hacer fotometría automatizada en 8 bandas (o filtros), lo que permite caracterizar la curva de extinción en todo el rango espectral abarcado, así como la determinar el brillo superficial del cielo, lo que lo hace especialmente indicado para medidas de contaminación lumínica.



El sistema Excalibur para la medida multibanda de la extinción y el brillo de fondo de cielo

La ventaja obvia de este tipo de sistema consiste en que proporciona datos de la máxima calidad y en un conjunto arbitrario de bandas o filtros, lo cual resulta del máximo interés desde el punto de vista astronómico. La automatización del funcionamiento del equipo y del tratamiento de los datos hacen que sea manejable por personas con formación no extremadamente especializada, si bien un cierto grado de familiaridad con las técnicas habituales de observación a nivel no profesional resulta muy recomendable. El telescopio que incorpora el sistema es comercial y ello abarata los costes, lo cual puede favorecer la instalación de redes de observación multi-estación. También cabe considerar la integración de este tipo de instrumentos en estaciones móviles.

Existen dos ejemplares del sistema Excalibur en funcionamiento y hay otros tantos en producción. El más destacado de todos ellos es el prototipo, que lleva funcionando varios años en el Centro Andaluz del Medio Ambiente, en Granada, proporcionando medidas sistemáticas tanto de brillo de fondo de cielo como de extinción atmosférica y contenido de aerosoles.

Otras líneas de trabajo se orientan a la obtención de instrumentos de prestaciones similares o comparables, pero reduciendo la complejidad del montaje a través de la eliminación de partes móviles. Mención especial merecen, en este ámbito varias experiencias en curso que aspiran a valorar la extinción atmosférica y la contaminación lumínica en diversos filtros de relevancia astronómica por medio de cámaras dotadas de objetivo ojo de pez (cámaras *all-sky*). Sin embargo, el tratamiento tanto astrométrico como fotométrico de las imágenes ofrecidas por este tipo de equipos implica unas dificultades teóricas y prácticas que hacen que por ahora no haya ningún sistema en servicio basado en este tipo de cámaras. Si estos desarrollos demostraran su eficacia supondrían una simplificación considerable del equipo instrumental y su manejo, con la reducción consiguiente de costes y del grado de especialización y formación requerido para quienes lo manejan.

Participación de la astronomía no profesional

Un cierto número de entusiastas de la astronomía no profesional dispone de equipos que podrían prestarse bien a observaciones encaminadas a evaluar el resplandor difuso del fondo de cielo debido a la contaminación lumínica, en multitud de filtros de relevancia astronómica y desde los emplazamientos habituales de sus observatorios, o incluso desde otros lugares cuando se trata de equipos móviles. En efecto, los requisitos instrumentales básicos no son otros que:

1. Telescopio de calidad, a ser posible automatizado (aunque no necesariamente).
2. Cámara CCD comercial o fotómetro fotoeléctrico.
3. Rueda de filtros de al menos tres posiciones equipada con filtros astronómicos estándar (por ejemplo *B*, *V*, *R*).
4. Sistema para el registro de los datos en formato informático.

Son muchos los equipos de este tipo existentes en nuestro entorno, de modo que en muchos casos lo único que sería necesario para que se aplicaran a estos fines sería un cierto grado de formación para quienes los poseen. Es de esperar que en el futuro inmediato surjan iniciativas encaminadas a aprovechar este enorme potencial. Algunas de ellas ya están en marcha en Italia y otras zonas.

Medidas desde satélite

Dadas las dificultades enormes a las que se enfrenta la obtención de datos que sean a la vez masivos y de calidad desde el suelo, diversos investigadores han procedido a realizar estudios de contaminación lumínica basados en la observación de la Tierra de noche desde satélites artificiales. De este modo se logra cartografiar en varias bandas del espectro la emisión de luz de origen artificial. Pero no es para nada trivial la relación entre la luz que sale de la atmósfera y la luz que queda atrapada en ella, que es la que se esparce y genera por tanto la forma de contaminación lumínica que estamos comentando. Los resultados que se obtienen de este modo tienen la ventaja de que abarcan áreas de territorio extensísimas, pero su traducción en términos de magnitud estelar límite observable, brillo del fondo de cielo en mag/arcsec² en varias bandas, etcétera, es en buena medida incierto y depende de manera crucial de los modelos atmosféricos, las condiciones meteorológicas locales y, sobre todo, de la calibración a través de medidas directas reales por los métodos tradicionales de la fotometría astronómica. Por tanto, por un lado la base de las medidas desde satélite sigue siendo la fotometría realizada desde el suelo y, por otro lado, no hay estimaciones que superen en exactitud o fiabilidad a las medidas fotométricas reales.

Consideraciones de futuro

Con el incremento del interés tanto del público como de las instituciones por la contaminación lumínica en todos sus aspectos, entre ellos su influencia en el disfrute y el estudio del firmamento, es de esperar que en los años que se avecinan surja una demanda cada vez mayor de sistemas para la evaluación del resplandor difuso del fondo de cielo debido a fuentes artificiales. La aprobación de leyes encaminadas al control y reducción de la contaminación lumínica hace aconsejable que se emprendan campañas oficiales para la medida del brillo del fondo de cielo y desde el punto de vista instrumental y teórico sin duda tendrán que basarse en los conceptos que hemos tratado de manera somera en estas páginas. Probablemente los datos disponibles en el futuro inmediato consistirán como hasta ahora en una combinación de todos los métodos disponibles, pero la lucha contra la contaminación lumínica exige sin lugar a dudas que se avance en la obtención de medidas de la mayor calidad científica extendidas sobre

amplias zonas de territorio y con frecuencia temporal suficiente para estudiar patrones estacionales y para seguir la evolución de la contaminación lumínica a largo plazo.

1.2.4 Bibliografía

Para dar un paso más en la teoría y la práctica de la fotometría astronómica a nivel no profesional (con referencias a fuentes más especializadas incluidas):

D. Galadí-Enríquez, I. Ribas Canudas, *Manual práctico de astronomía con CCD*, Ediciones Omega, 1998. Sobre todo los capítulos 1 y 6.

Sobre la iniciativa IACO para la medida del brillo del cielo nocturno con medios simples:
http://www.iaa.es/IYA09/index.php/es/proyectos_pilares/descubre_el_cielo_oscuro/proyecto_iaco

Iniciativa equivalente a nivel internacional, Globe at Night:
<http://www.globe.gov/GaN/>

Sky quality meter:
<http://unihedron.com/projects/darksky/>

Sistemas tipo Excalibur:

D. Pérez-Ramírez, J. Aceituno, B. Ruiz, F.J. Olmo, L. Alados-Arboledas, «Development and calibration of a star photometer to measure the aerosol optical depth: smoke observations at high mountain site», revista *Atmospheric Environment*, 42, 2733-2738 (2008).

Bibliografía de carácter general:

P. Cinzano (Ed.), *Measuring and Modelling Light Pollution*, Memorie Della Società Astronomica Italiana, vol 71., N. 1 (2000).

P. Cinzano (Ed.), *Light Pollution and the Protection of the Environment*, Light Pollution Science and Technology Institute, Proceedings of the conference held in Venice on May, 3rd, 2002. <http://www.lightpollution.it/istil/venice/ProcVeniceLowres.pdf>

1.3 Impactos de la contaminación lumínica sobre la naturaleza y la biodiversidad

Jordi Domingo Calabuig

Joaquín Baixeras Almela

Institut Cavanilles de Biodiversitat i Biologia Evolutiva. Universitat de València

La actividad humana está fuertemente ligada a la luz solar. Adaptativamente, somos criaturas diurnas y la noche siempre se ha reservado para descansar. Durante la noche el hombre primitivo debió encontrarse perdido. De hecho, la oscuridad representa todavía para muchas personas un territorio de misterio e inseguridad. El hombre ha utilizado la luz artificial para compensar esta debilidad. Durante muchos siglos fue el fuego, y más recientemente la luz eléctrica que, en multitud de variedades y formas, proliferó e invadió casas y calles. La hemos llevado hasta los lugares más recónditos del planeta. En las ciudades hemos convertido la noche en día pero las consecuencias ecológicas han sido nefastas.

Para muchos animales terrestres la noche es el momento de máxima actividad. La oscuridad puede suponer algunas ventajas. Para las presas supone una manera de escapar de los depredadores: la noche es camuflaje. Para los depredadores es la manera de evitar la competencia con otros depredadores y de no ser advertidos por algunas presas. Pero vivir de noche impone ciertas restricciones sensoriales y los animales tienen que disponer de órganos visuales adaptados a una baja luminosidad o utilizar sistemas alternativos, como la ecolocalización. Independientemente de cuáles sean las razones para vivir de noche y sus adaptaciones, el hecho es que los animales de vida nocturna son muy numerosos, mucho más de lo que podemos imaginar. Entre los vertebrados se cuentan más de la mitad de los mamíferos, buena parte de los anfibios y muchas aves. Entre los invertebrados hay gusanos, caracoles, arañas y escorpiones, pero destacan por su abundancia los insectos. Más del 75% de los lepidópteros (mariposas) son de actividad nocturna, lo que quiere decir que se alimentan, se aparean y, en definitiva, mantienen toda su actividad en la oscuridad de la noche. Lo mismo ocurre con un número importante de coleópteros (escarabajos) y otros grupos de insectos. Estamos hablando de grupos animales con centenares de miles de especies. Por tanto, «vivir la noche» ha sido una buena estrategia evolutiva, sin duda una pieza clave que confirmó importantes ventajas a estos grupos animales.

Sin embargo, con el paso del tiempo algunas adaptaciones pueden perder su eficiencia ante algunas características nuevas del medio. Aquel sistema especial de visión nocturna que permitía aprovechar cantidades mínimas de luz ambiental es ahora una trampa que conduce a los seres de vida nocturna hacia perspectivas evolutivas nada optimistas. Estas «cantidades mínimas de luz» de la noche primitiva han sobrepasado actualmente un umbral que hace que los animales nocturnos se vean completamente desorientados, en el caso de los insectos incluso atraídos irresistiblemente.

En el siglo XIX, los entomólogos ya conocían este fototropismo positivo y se servían de él para capturar insectos. Dos siglos después hemos avanzado mucho en el conocimiento de la luz. Conocemos las zonas del espectro más nocivas para los seres vivos, para la observación del firmamento, para nuestra propia salud y como intervienen otros factores como la potencia, disposición de las luces, etc. También disponemos de una información cada vez más precisa de nuestro problema: desde el espacio, desde tierra, a escala global, en pequeños territorios. Simplificando de manera atrevida todo lo mencionado, sabemos que vivimos con una cantidad de luz muy superior a la proporcionada por la luna y las estrellas, la única luz con la que interaccionaron a lo largo de millones de años los animales nocturnos.

La alerta sobre este problema surgió desde bien entrado el siglo pasado, y no precisamente de la mano de los naturalistas sino de los astrofísicos. La luz, como elemento contaminante, no afecta sólo la vida salvaje. Su dispersión por la atmósfera crea una refulgencia que impide observar las estrellas que podríamos ver incluso sin ningún instrumento óptico. Un manto espeso que también reduce el rendimiento de los formidables aparatos actuales de observación astronómicos. Y como las inversiones económicas que se hacen para construir un observatorio astrofísico son notables, al menos mucho más notables que para cualquier infraestructura medioambiental, los errores debían corregirse. Situar los observatorios en la cima de las montañas hace tiempo que dejó de ser una garantía para escapar de las reverberaciones contaminantes de las ciudades. Sin embargo, medir el coste ambiental que supone la contaminación lumínica es aún, bien entrada la primera década del siglo XXI, una asignatura pendiente. No deja de resultar curioso que el fenómeno de la contaminación lumínica y su divulgación como problema medioambiental esté ligado al factor económico. Por decirlo de algún modo, la contaminación lumínica para muchos pasa a ser grave desde el momento que las inversiones realizadas en costosísimos aparatos de observación se tiran por la borda. Incluso los que trabajamos por divulgar este fenómeno en la vertiente medioambiental apelamos muy frecuentemente al ahorro energético y económico, a los plazos de retorno de inversión, etc. El coste ambiental en cambio rara vez es cuantificable, al menos en cifras que las autoridades puedan entender. ¿Qué significa perder en un lago 400 gramos de biomasa de insectos cada noche? Para un ecólogo, una auténtica aberración que puede llegar a desequilibrar un ecosistema. Para alguien no versado en el tema, un puñado de mosquitos menos.

Los naturalistas, por su parte, no comenzaron a tratar el tema hasta los años 70 del siglo XX. De hecho, en la mayor parte de los casos, no se alertaba de las propiedades nocivas de la luz sino que se investigaba para utilizarlas de una manera práctica: control de plagas, sistemas más efectivos para la captura de insectos, etc. La alerta de las fatales consecuencias de este nuevo contaminante llegó todavía más tarde y, por supuesto, la aplicación con varias décadas de retraso. Y, paradójicamente, como en el caso anterior, incluyendo en la receta un ingrediente obligado en cualquier proyecto medioambiental con perspectivas de éxito: la rentabilidad económica. Desgraciadamente evitar contaminar el medio ambiente nocturno siempre debe ir acompañado de la fórmula mágica llamada ahorro energético y económico. Sólo algunos grupos animales afectados despiertan una mayor sensibilidad como es el caso de las tortugas marinas, quedando el resto de los grupos animales en el cajón de los animales nocturnos cuya desgracia no inspira lástima. No obstante, a lo largo de la historia de la conservación siempre se ha tenido que jugar con esta baza. Es de sobra conocido que algunos «animales estandarte», aquellos que resultan agradables y cercanos a la población, han focalizado la atención de la población hacia problemas que afectaban a más organismos. Sin ir más lejos, los viajeros y residentes de las costas caribeñas de Costa Rica aceptan sin mayor problema todas las precauciones tomadas durante las visitas nocturnas de las tortugas marinas que llegan a desovar a la playa. Esto incluye ir a oscuras por la playa o por la selva, usar linternas especiales o renunciar a llevarse a casa una foto o video de la experiencia más cercana a la naturaleza de toda su vida. Esta situación, aceptada con agrado y solidaridad por todos, genera beneficios paralelos para otros animales nocturnos a la sombra de las tortugas. Sin embargo, resulta curioso como en otros espacios naturales donde no hay un animal estandarte, pero donde existen especies afectadas por la contaminación lumínica, la población no es capaz de renunciar siquiera a una farola que ilumina su buzón.

En Europa aún se cuentan con los dedos las iniciativas aplicadas desde el mundo conservacionista para luchar contra los efectos de la contaminación lumínica. Una de las

primeras se desarrolló en Innsbruck, ciudad encajada entre los valles de los Alpes tiroleses. El intenso brillo de la ciudad transformaba el valle en un embudo para la fauna invertebrada de las laderas montañosas y miles de insectos se concentraban en la ciudad, alejados de su hábitat originario. Con una perspicaz estrategia –que incluye hasta un libro con el sugerente título de *El peligro del brillo*– los científicos del Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum demostraron a las autoridades locales que podían ahorrar energía solamente aplicando unas correcciones básicas (sustituir algunos tipos de bombillas, hacer más eficiente el diseño de algunas farolas, etc.). Y además se protegía el medio ambiente, y nunca mejor dicho, porque es casi seguro que, sin el beneficio económico, la iniciativa ambiental habría sido imposible. Aunque una cuestión es cómo se consiguen los fondos y los motivos que se presentan delante del político, y otra el cariz que toma el desarrollo del proyecto. Quizás lo más destacable de la iniciativa es que consiguieron difundir con igual fuerza ambos mensajes entre la población: es importante ahorrar, pero tan importante como no destruir el patrimonio natural por el que los valles alpinos son considerados paisajes idílicos. Uno de los resultados se mide en dinero pero desgraciadamente el otro sólo se medía en bonitos insectos nocturnos, atractivos quizás pero poco más.

En nuestro territorio uno de los primeros casos significativos en lo que a impacto ambiental se refiere se dio en 1988, cuando se protegió en parte el cielo canario. Es bien sabido que el motivo principal fue de nuevo el económico, en este caso de la mano de un problema de observación astrofísica. No obstante, apareció un importante efecto colateral que posiblemente ha llegado a influir en la población residente tanto o más que el problema astrofísico. La asociación «Amigos de las Pardelas» se encarga todos los años de movilizar a cientos de ciudadanos para que durante unas pocas noches al año conozcan el problema y colaboren para recuperar los miles de ejemplares de estas aves marinas que se ven desorientadas por la contaminación lumínica de las costas canarias. Salvar un ave de dimensiones considerables, con cierta cara de bonachona y serias aspiraciones a ser animal estandarte, llevarla a un centro de recuperación para curarla o liberarla al día siguiente es una experiencia que posiblemente resulta mucho más cercana y entrañable que cualquier otra. El ciudadano tiene un motivo, que por decirlo de algún modo le ha tocado el fondo de su conciencia, un motivo para apagar esta farola que inútilmente sólo iluminaba su buzón.

Una de las últimas iniciativas que ligan la contaminación lumínica con el medio ambiente se dio hace unos pocos años en el parque natural de l'Albufera de Valencia. En este caso, son varios los ingredientes que hacen especial esta acción. En primer lugar, se trata de un proyecto LIFE, el instrumento financiero de la Unión Europea. De algún modo, la unión Europea reconoce al cofinanciar este proyecto que la contaminación lumínica es un grave problema para los ecosistemas europeos. Ecolight (*Sustainable management of light pollution in the Albufera Nature Reserve*), el nombre que toma el proyecto, es un proyecto de remodelación y adecuación del alumbrado público en un espacio natural que incluye una fase de diagnóstico, otra de redacción de soluciones técnicas y una ejecución demostrativa. El objetivo es por tanto introducir la variable ambiental en un problema que hasta la fecha carecía de referencias de este tipo. En su fase de diagnóstico Ecolight no sólo utilizó los parámetros luminotécnicos y energéticos para la evaluación de la contaminación lumínica en el parque natural, sino que incorporó otros: algo tan obvio como qué especies están afectadas, donde viven, cuales son las zonas del espacio natural donde se concentran los ecosistemas más valiosos, como compatibilizar el alumbrado público y su impacto con la normativa del espacio natural, etc. El resultado fue un conjunto de datos que permitieron durante la fase de redacción del proyecto para la corrección de la contaminación lumínica, no sólo juzgar parámetros físicos sino también poner sobre la mesa algunos condicionantes medioambientales. En esta fase de

redacción participaron ingenieros, arquitectos urbanistas, biólogos, técnicos medioambientales e incluso vecinos, una situación más próxima a una mesa de participación que a un gabinete de proyectos. Gracias a este proceso consensuado se pudo ejecutar una corrección del 50% del alumbrado público existente en el parque natural, tomando en consideración la variable más obvia: para iluminar en un espacio natural hay que tener en cuenta parámetros medioambientales.

Dos factores destacan especialmente en este proyecto. Por un lado, para que las iniciativas que se desarrollaron en este proyecto no acabaran en vía muerta, una vez acabado el proyecto, se desarrolló una Ordenanza Municipal que a diferencia de las existentes no es para la corrección de la contaminación lumínica, sino que siguiendo este cariz medioambiental mencionado, es para la Protección Lumínica del parque natural. La normativa recoge episodios, especies y ecosistemas que de verse afectados generan acciones inmediatas sobre el alumbrado. También obliga a testar nuevas lámparas, luminarias y dispositivos para valorar su impacto sobre la fauna. Y por supuesto, obliga al Ayuntamiento de Valencia a ir corrigiendo los impactos sobre el medio que no pudieron solucionarse durante el desarrollo del proyecto.

El otro hito de Ecolight, como iniciativa medioambiental, es que se dieron algunos pasos de gran valor para facilitar la medición de estos parámetros medioambientales. Éste era precisamente uno de los objetivos más importantes del proyecto, y como se mencionaba al principio del texto, una de las necesidades más importantes en materia medioambiental. Durante los tres años de desarrollo del proyecto se hicieron pruebas de campo que permitieron encontrar un método para cuantificar el impacto sobre la fauna, lo que comúnmente se conoce como bioindicadores. Se utilizaron tres grupos animales: el Búho Chico (una rapaz protegida de actividad nocturna), los murciélagos (cazadores nocturnos que eran incluso candidatos a ser beneficiados por la concentración de insectos en las fuentes de luz) y los insectos. Los resultados con los dos primeros grupos son muy significativos. Las zonas contaminadas son terrenos vetados para el Búho Chico, reduciéndose más aún su hábitat disponible. Sus presas mayoritarias, el ratón de campo, también ven más a su enemigo cuando hay luz y el Búho Chico no tiene más remedio que buscar las zonas más resguardadas. Los mapas generados del hábitat utilizado y no utilizado por este ave, cruzados con el mapa de su hábitat potencial, permitió identificar zonas contaminadas de gran valor medioambiental y pautas de actuación muy determinadas sobre el alumbrado público. Los murciélagos también mostraban resultados sorprendentes: las especies más raras, y por tanto con mayor interés conservacionista, no acuden a las farolas a alimentarse sino que huyen a las zonas más oscuras. Las especies más comunes, las menos amenazadas ganan en cambio terreno gracias al alumbrado público que concentra nubes de insectos. El alumbrado público debía reservar por tanto zonas oscuras donde estas especies más valiosas pudiesen cazar y vivir. En el campo de los insectos se dieron sin embargo los resultados de mayor interés por diversos motivos: por un lado se sitúan en la parte más baja de la cadena trófica y de ellos dependen numerosas especies de aves, mamíferos, anfibios, etc. Son, por decirlo de algún modo, la despensa de la Naturaleza y cualquier afección sobre sus poblaciones se traslada con dramáticos resultados al resto del ecosistema. Por otro lado, se logró una metodología exportable a otras situaciones y lugares. Mediante paneles adhesivos se llegó a cuantificar la biomasa (masa animal, un parámetro utilizado en ecología) afectada por cada bombilla y por tanto se consiguió dar una idea de las consecuencias de la contaminación lumínica sobre el ecosistema. Ya no sólo se podía hablar de ahorro energético sino de qué manera y cuanto se estaba perjudicando al ecosistema, con números que mostraban claramente que el ecosistema producía inútilmente grandes cantidades de insectos que no acababan en boca de otros animales de la cadena trófica sino en el interior de una luminaria. Actualmente se está

trabajando para poder simplificar la metodología en varios sentidos: hacer más fácil el manejo de los dispositivos utilizados, hacer mediciones más rápidas en el tiempo y utilizar los soportes de las luminarias actuales para hacer estas pruebas. El resultado puede ser un sistema permanente de alerta que nos informe de los periodos del año más sensibles en cuanto al impacto de la contaminación lumínica, la afección sobre especies protegidas o sencillamente poder incorporar a nuestros mapas de contaminación lumínica el parámetro medioambiental.

Las asignaturas pendientes en esta materia quizás no sean tan difíciles de conseguir como se piensa. Básicamente estamos demostrando que iluminar mejor no significa iluminar más. Cada vez tenemos más parámetros para evaluar cómo afecta la luz a nuestro entorno. Hasta hace bien poco, los estudios de impacto medioambiental en cualquier proyecto de obra civil, sencillamente no existían. En cambio su incorporación a buena parte del ordenamiento territorial se ha normalizado en tan solo unos pocos años. Se ha introducido la variable medioambiental en materias que en principio le eran ajenas. El camino de la contaminación lumínica y el impacto sobre el medio ambiente tendrá que ser similar. Sentar en la misma mesa, frente al mismo proyecto a cuantas personas tengan algo que decir sobre el alumbrado público sólo puede generar beneficios y mejorar nuestras noches, para disfrutar de sus estrellas, de su oscuridad natural y como servicio público.

Bibliografía de referencia

- Baixeras, J. & Domingo, J. 2001. Contaminar amb llum: un futur fosc per a les nits. *Mètode*, 31: 49-52.
- Domingo, J. (coord.). 2006. El tratamiento de la contaminación lumínica en el parque natural de l'Albufera de Valencia. Manual de transferibilidad del proyecto LIFE (*Sustainable management of light pollution in the Albufera Nature Reserve-ECOLIGHT*). Publicación electrónica.
- Frank, K. D. 1988. Impact of outdoor lighting on moths: an assessment. *Journal of the Lepidopterists Society* 42(2): 63-93.
- Longcore, T. & Rich, C. 2004. [Ecological light pollution](#). *Frontiers in Ecology and Environment*, 2(4): 191–198. (disponible en formato pdf en www.celfosc.org)
- Mínguez, E. 2006. El Paño europeo. *Ecosistemas*, 15 (1): 96-100. (<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=405>)
- Rich, C. y T. Longcore (editores) 2006. *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press. 458 páginas. Washington, Covelo, London.
- Rodríguez, A. 2006. Influencia de la contaminación lumínica sobre las poblaciones de Búho chico en el término municipal de Valencia incluido en el P. N. l'Albufera de Valencia. Proyecto inédito desarrollado por el Departamento de Biología de conservación de la Estación Biológica de Doñana. CSIC.

1.4 Efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana

*Juan Antonio Madrid Pérez, M.^a Ángeles Rol de Lama
Laboratorio de Cronobiología
Universidad de Murcia*

Algunos de los avances más significativos en la economía y el estatus social son consecuencia del descubrimiento de la electricidad y la invención de la bombilla. La utilización de las fuentes de luz artificial tras la puesta del sol ha permitido al hombre llevar a cabo tareas y gozar de diversas actividades durante mucho más tiempo en cada periodo de 24 horas. De hecho, la luz durante la noche se ha convertido en algo tan común que en muchos lugares del mundo la verdadera oscuridad está virtualmente desapareciendo.

Los científicos biomédicos se han dado cuenta de que la exposición a la luz durante la noche también tiene consecuencias para la fisiología humana y animal. La luz nocturna, cuando es de suficiente luminosidad (intensidad) y de la longitud de onda apropiada, es transducida a una señal eléctrica que viaja al sistema nervioso central. Esta señal altera la función del reloj biológico y en última instancia, la producción de melatonina en la glándula pineal. La melatonina, que se secreta fundamentalmente de forma exclusiva durante la noche, presenta una serie de importantes funciones que se pierden en el momento en el que existe exposición nocturna a la luz. Algunas de estas acciones incluyen la modulación del ciclo sueño/vigilia, la regulación de los ritmos circadianos, la sincronización, etc. Así, la reducción de la melatonina por luz durante la noche «informa» a muchos de nuestros órganos que es de día, cuando, de hecho, es de noche, por lo que reajustan su fisiología en concordancia. Esta información desvirtuada puede tener consecuencias más graves que simplemente una leve sensación de malestar.

Los cambios fisiológicos ocasionados por la contaminación lumínica, pueden, a largo plazo, traducirse en procesos fisiopatológicos que contribuirían a la enfermedad. Así, por ejemplo, se ha detectado un aumento del riesgo de padecer cáncer en individuos expuestos de forma repetida y/o prolongada a luz excesiva, como ocurre en los empleos del turno de noche.

A parte del riesgo de una mayor frecuencia de tumores, debido a las múltiples acciones de la melatonina como neutralizadora de radicales libres y antioxidante de amplio espectro, privar al cuerpo de esta importante sustancia puede contribuir a la iniciación, progresión o gravedad de toda una serie de enfermedades. Muchas enfermedades debilitantes, especialmente en ancianos, incluyen como parte de su proceso degenerativo la acumulación de daño oxidativo por radicales libres. Debido a su eficacia para privar al cuerpo de la melatonina pineal, está claro que debemos evitar la exposición a la luz durante la noche siempre que sea posible.

Desafortunadamente, evitar la luz nocturna es poco factible en el mundo actual. Por lo tanto, algunas alternativas más prácticas serían el desarrollo de fuentes lumínicas que excluyan las longitudes de onda específicas que inhiben la síntesis de melatonina, la producción de gafas o lentes de contacto que filtren estas longitudes de onda y la fabricación de pantallas para lámparas que reduzcan la luz que las traspasa.

1.4.1 Introducción

Gracias a las fotografías nocturnas de la Tierra se ha hecho evidente que el grado de contaminación lumínica crece a un ritmo alarmante. En estas fotografías, tomadas a comienzos del siglo veintiuno, se pueden identificar con toda certeza, la localización de

todos los centros de población, incluso los más pequeños, por la luz que emiten. La comparación de las fotografías espaciales de 1970 con las del 2000, revelan que incluso las áreas más remotas de la Tierra se están contaminando progresivamente por la luz nocturna, es decir, la oscuridad está desapareciendo.

La pregunta que surge es ¿cómo afectará este rápido cambio en la relación luz/oscuridad al crecimiento de las plantas, a la reproducción estacional y a la cría de invertebrados y vertebrados, a los patrones migratorios de las aves y a la fisiología humana? La luz a horas inusuales, es decir, por la noche, no es tan inocua como se podría pensar y no debería pasársenos por alto que es un factor a controlar.

Esta ponencia describe brevemente algunas de las implicaciones funcionales de la contaminación lumínica durante el periodo de oscuridad sobre la biología circadiana humana y su patofisiología.

1.4.2 La glándula pineal: conexiones con los ojos y con el reloj circadiano

La glándula pineal humana es un órgano del tamaño de un guisante localizado en torno al centro del cerebro. Es el equivalente del «tercer ojo» de los ancestros más primitivos. El órgano pineal es un componente fundamental del reloj biológico en todas las especies de vertebrados, capaz de producir y liberar melatonina. A lo largo de la filogenia ha sufrido diversas modificaciones que han supuesto la transformación gradual de un sistema directamente fotosensible, (cuando era el «tercer ojo» respondía directamente a la luz que penetraba en el cráneo), a otro regulado indirectamente por la información fótica recibida de los ojos.

En mamíferos, la pineal ha perdido la capacidad de detectar la luz directamente, pero todavía responde a la luz y a la oscuridad gracias a que ha evolucionado una conexión neuronal desde los ojos.

La detección de la luminosidad por los ojos, y no la percepción de la luz que permite la visión, regulan el reloj biológico y la síntesis de melatonina, y utiliza sus propios fotorreceptores especiales en la retina. Estos fotorreceptores especializados transducen la señal luminosa en una señal eléctrica que se envía al reloj biológico principal, es decir, al núcleo supraquiasmático (NSQ), mediante largas proyecciones retinales localizadas en el nervio óptico. En la base del cerebro, estas fibras penetran en el NSQ, donde las señales apagan su actividad eléctrica, ocasionando que el NSQ se inactive. Una vez ha reducido su actividad, el reloj no puede enviar ninguna señal a la glándula pineal, por lo que la pineal restringe la síntesis de melatonina.

Generalmente, las concentraciones de melatonina en sangre durante la noche son 10-20 veces mayores que durante el día. También en el líquido cefalorraquídeo la concentración es más alta por la noche que por el día, pero además los niveles que alcanza son varios órdenes de magnitud superiores a los que se logran a nivel sanguíneo.

El ritmo circadiano de síntesis y secreción de melatonina por la glándula pineal es común a todas las especies de vertebrados, y al menos en mamíferos, incluyendo el hombre, su producción decae a medida que se envejece y su ritmo se atenúa; como resultado, raramente pueden apreciarse diferencias noche-día en las concentraciones de melatonina en sangre en los individuos envejecidos. Se cree que el declive asociado a la edad en la melatonina se debe tanto a una reducción de la potencia de la señal nerviosa que llega desde el reloj como a una pérdida de receptores β -adrenérgicos en la membrana del pinealocito.

1.4.3 El problema de la luz durante la noche

Los astrónomos han estado preocupados durante años con la utilización generalizada de la luz tras la puesta del sol, porque la contaminación lumínica que se genera, incluso teniendo en cuenta que sus observatorios están lejos de las áreas metropolitanas, compromete su capacidad para examinar objetos en el espacio exterior. Ahora, además sabemos que la luz por la noche tiene efectos fisiológicos en humanos y posiblemente también consecuencias fisiopatológicas.

A lo largo de la evolución humana, la luz estuvo más o menos restringida a las horas de luz solar, el tiempo que el sol permanecía por encima del horizonte, lo que ya no ocurre en las sociedades desarrolladas. Con la llegada de la electricidad, la luz artificial se ha convertido en un contaminante importante, y probablemente esta situación no haga más que empeorar.

Aunque, hasta hace poco, no se consideraba que la exposición excesiva a la luz tuviera consecuencias fisiológicas, indudablemente las tiene. Un efecto claro es su capacidad para reducir la producción nocturna de melatonina por la glándula pineal. El número de horas que una persona de tipo medio duerme a lo largo de 24 horas ha ido disminuyendo en las últimas décadas, y muchos individuos duermen menos de 8 horas por la noche. Aunque el sueño *per se* no es necesario para la síntesis de melatonina, el periodo del sueño es el único momento en el que generalmente, los humanos, están en oscuridad, condición *sine qua non* para que se produzca la melatonina pineal. Así, bajo un fotoperiodo natural de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad, que es lo que ocurre en los equinoccios, los niveles elevados de melatonina se mantienen durante alrededor de 12 horas. Por el contrario, en las actualmente llamadas «sociedades desarrolladas», la elevación nocturna de melatonina en los equinoccios apenas si alcanza las 8 horas (dependiendo de la duración del periodo de sueño), en la mayoría de los individuos. Por lo tanto, la exposición a luz artificial durante las horas de vigilia trunca la duración del aumento nocturno de melatonina, lo que disminuye la cantidad de esta sustancia producida por la pineal en 24 horas.

Para empeorar aún más las cosas, muchas personas, encienden la luz cuando se levantan por la noche. Cuando el cerebro interpreta un breve periodo de luz durante la noche (unos segundos, por ejemplo) como si fuera ya de día la síntesis de melatonina cae rápidamente. Por lo tanto, breves intervalos de luz durante la noche pueden reducir los niveles de melatonina hasta niveles similares a los que se observan durante el día. El grado de supresión de la producción de melatonina por la exposición a luz durante la noche depende tanto de la luminosidad como de la longitud de onda; se cree que las longitudes de onda que producen mayor inhibición son las que se encuentran en el rango de los 470-475 nm (es decir, la luz azul). Además, el posible restablecimiento de la síntesis elevada de melatonina tras una breve exposición a la luz durante la noche parece depender del momento de la fase de oscuridad en el que se produce la exposición. Si la exposición a la luz se produce en la primera mitad de la noche, los niveles de melatonina nocturnos pueden restablecerse (en una hora tras el pulso de luz), por el contrario si el pulso de luz se produce en la segunda mitad del periodo de oscuridad, no se restablece la elevación de los niveles de melatonina.

La cuestión es que tanto prolongar la luz al periodo de oscuridad, como breves exposiciones a la luz durante la noche pueden reducir la producción pineal de melatonina y, por lo tanto, la cantidad total de esta indolamina.

Con otras palabras, durante la evolución humana, la oscuridad aparecía poco después de la puesta del sol. Nuestros ancestros no tenían acceso a luz artificial que acortara o interrumpiera el ritmo de melatonina. Ahora en las sociedades modernas, el ciclo normal de luz/oscuridad se ha alterado con el abuso de la luz durante la noche.

Obviamente, es poco probable que se restrinja la utilización de la luz artificial por la noche. No obstante, como mínimo debería evitarse la exposición a la luz tras el comienzo del sueño (el único momento en el que los humanos, generalmente, están expuestos a la oscuridad). La luz en ese periodo altera la síntesis de melatonina y «desinforma» al reloj biológico. Las consecuencias de estas alteraciones pueden ser importantes.

1.4.4. Las consecuencias fisiológicas y patofisiológicas de la luz por la noche

Las consecuencias de los viajes transmeridianos, que alteran la relación del ciclo luz/oscuridad con el del reloj biológico interno, son un fenómeno bien conocido denominado «jet lag». Esta alteración fisiológica del sistema circadiano humano genera una serie de alteraciones que incluyen letargo, apatía, desorientación, somnolencia diurna, etc. Durante el periodo de aclimatación al «jet lag», se comprometen la eficacia y precisión en el trabajo, lo que afecta a la capacidad de toma de decisiones y juicios. Además, pueden existir, a largo plazo, consecuencias patofisiológicas en aquellos individuos que, debido a sus horarios de viaje, deben reajustar continuamente su reloj biológico a un nuevo horario de fotoperiodo. Ciertamente, se ha especulado que la alteración continuada de la funcionalidad normal del reloj biológico puede estar asociada con un déficit físico y con achaques patológicos en edades más avanzadas.

Cuando el reloj se altera por un viaje transmeridiano, el ritmo de melatonina se altera de la misma forma. Por ejemplo, generalmente los vuelos de los Estados Unidos a Europa parten al final de la tarde y llegan a Europa por la mañana temprano. Puesto que el vuelo es al este y por la noche, se acorta la duración del periodo de oscuridad. Tras llegar por la mañana a Europa, cuando ya ha salido el sol, la actividad del reloj biológico se detiene y la producción de melatonina pineal cae. Esta inhibición ocurre en el momento en el que todavía es mitad de la noche en el lugar de origen en los Estados Unidos, un momento en el que los niveles sanguíneos de melatonina deberían alcanzar el máximo. En el transcurso de esos días, el ritmo de melatonina y el del reloj deben adaptarse al nuevo entorno de luz/oscuridad. Se estima que este reajuste implica, más o menos, una hora por cada 24 horas. Así, después de una semana, ambos ciclos se han reajustado al nuevo fotoperiodo y desaparece el «jet lag».

Especialmente, para los que van en viaje de negocios, y con frecuencia también de vacaciones, vuelven a Norte América tras alrededor de una semana por lo que el reajuste debe volver a producirse, pero ahora en dirección contraria. Aunque en la mayoría de los individuos la aclimatación al cambio horario es más fácil cuando viajan al oeste, al llegar de nuevo a los Estados Unidos desde Europa sufren otro período de letargo, etc. Considerando que los hombres de negocios realizan viajes transoceánicos con frecuencia a lo largo del año, su fisiología no está en la apropiada sintonía con el ambiente durante una parte importante del año.

Existe una variante del «jet lag», que no implica viajar a través de múltiples zonas horarias, y que se produce cuando los individuos trabajan por la noche e intentan dormir durante el día. Esta variante, el trabajo a turnos, se practica en muchas sociedades y también perjudica al reloj biológico al invertir el ciclo luz/oscuridad normal. El problema se debe al horario que muchos de estos individuos intentan mantener. Así, generalmente, trabajan cinco noches consecutivas, descansan dos días, en los que con toda probabilidad estarán activos durante el día y dormirán durante la noche. Bajo semejantes condiciones de irregularidad, ni el reloj biológico ni el ritmo de melatonina pueden tener la posibilidad de mantener lo que se consideraría un ciclo normal. Se ha publicado que los trabajadores del turno de noche son menos eficaces y cometen más errores que los individuos con un horario de trabajo diario regular.

Existe un «precio a pagar» fisiológico por la alteración persistente del ciclo circadiano y por privar al cuerpo de su dosis normal de melatonina. En concreto, la melatonina, parece ser una molécula sumamente beneficiosa para la función celular y orgánica normal. Por poner un ejemplo, diversos estudios epidemiológicos han puesto de manifiesto que las trabajadoras del turno de noche muestran una mayor incidencia de cáncer de mama. De hecho, se ha propuesto una nueva teoría, la hipótesis de la melatonina, para explicar el aumento en la incidencia de cáncer. Por consiguiente, se supone que la supresión de la melatonina por la exposición nocturna a la luz en los trabajadores a turnos es la responsable de la elevada frecuencia del cáncer de mama en estas mujeres. Se sabe que la melatonina es un agente anticancerígeno y su reducción continuada debido a la luz en un momento inadecuado puede, de hecho, contribuir a la probabilidad del inicio y progresión del cáncer, es más, no se limitaría al cáncer de mama.

La melatonina reduce el inicio del cáncer debido a su capacidad para limitar el daño por radicales libres al genoma, es decir, al DNA. Se estima que un gran porcentaje de cánceres en humanos se desarrollan inicialmente como resultado de una mutilación del DNA por radicales libres. El DNA, una vez dañado puede mutar o iniciar un tumor. La melatonina protege al DNA y reduce el daño a esta macromolécula neutralizando radicales libres, en otras palabras, la melatonina funciona como un potente antioxidante por lo que reduce la probabilidad del desarrollo de un tumor.

Una vez iniciado el tumor, la melatonina también reduce su crecimiento de diversas formas. En el caso de algunos cánceres inhibe, vía mecanismos de membrana mediados por receptor, la captación y el metabolismo de los ácidos grasos incluyendo el ácido linoleico y su conversión a un agente intracelular que produce la proliferación celular (Figura 8-9). El ácido linoleico, un ácido graso *n*-6 poliinsaturado, se ingiere con la dieta y es un potente promotor del crecimiento de tumores en humanos. La capacidad de la melatonina para inhibir el crecimiento del cáncer por este mecanismo depende de la fase circadiana en la que se administre.

Además de reducir el crecimiento del cáncer limitando la captación y el metabolismo de los ácidos grasos promotores del crecimiento, la melatonina también inhibe a la enzima telomerasa en células cancerosas. La telomerasa es una ribonucleoproteína del DNA especializada que alarga los telómeros de los cromosomas lineales de eucariotas. Estas extensiones físicas del final de los cromosomas son esenciales para mantener la integridad y estabilidad de la estructura cromosómica. A medida que se acortan, algo normal con el envejecimiento, los cromosomas se vuelven inestables y las células en las que éstos se localizan mueren. La melatonina reduce la elevada actividad de la telomerasa que, con frecuencia, se produce en las células tumorales, por lo tanto, debilitando sus cromosomas y favoreciendo la destrucción de las células cancerosas, con lo que el tumor se reduce. Se están estudiando los inhibidores de la telomerasa como valiosos agentes para restringir el crecimiento del cáncer, y la melatonina es una molécula producida endógenamente que tiene esta capacidad.

A estas acciones, se une que la melatonina tiene un efecto antiestrogénico que podría contribuir a la capacidad de este indol para restringir la proliferación de algunos tumores sensibles a hormonas, como los de mama, útero, próstata, etc. Estas acciones de la melatonina se manifiestan especialmente en las células del cáncer de mama que poseen el receptor de estrógenos tipo alfa, y el efecto estaría mediado por receptores de melatonina tanto de membrana como nucleares en estas células cancerosas. La inhibición que causa la melatonina en el crecimiento de las células cancerosas cuenta con numerosas evidencias en la bibliografía.

Por último, se ha publicado recientemente que la melatonina reduce la síntesis de la endotelina-1. La endotelina-1 es un péptido con elevada capacidad vasoconstrictora relacionado con el crecimiento de células cancerosas. Este péptido suele mostrar

elevados niveles en la sangre de los pacientes con tumores compactos, y es un potente mitógeno para una amplia variedad de células cancerosas, especialmente para células de los cánceres de piel. Además, la endotelina-1 puede proteger a las células de la muerte por apoptosis y promueve el crecimiento de los vasos sanguíneos en los tumores. El aporte sanguíneo a los tumores es importante para asegurar su rápido crecimiento, por lo que los inhibidores de la angiogénesis son serios candidatos como agentes inhibidores del cáncer, puesto que básicamente privan a los tumores del aporte de nutrientes.

Considerando estas acciones de la melatonina en relación con las células cancerosas y los tumores, razonablemente cabría suponer que la excesiva exposición a la luz por la noche podría promover tanto la iniciación de nuevos cánceres como la progresión de los tumores establecidos. Esta relación sería consistente con el hecho que tal y como se ha comentado, las mujeres que trabajan de forma rutinaria por la noche presentan un aumento en la incidencia de cáncer de mama. De esta discusión, se deduce que los efectos de la pérdida de melatonina probablemente no se limitan a los tumores de las glándulas mamarias.

Además de la acción inhibitoria del cáncer de la melatonina, esta molécula es un antioxidante de amplio espectro, lo que puede resultar importante para enlentecer el envejecimiento y/o las alteraciones degenerativas relacionadas con la edad avanzada. La principal teoría del envejecimiento postula que el deterioro celular y orgánico con el avance de la edad es consecuencia de la destrucción molecular debida a los continuos ataques que sufren las macromoléculas (lípidos, proteínas, DNA, etc.) por radicales libres. Como ya se ha mencionado, la melatonina es un neutralizador directo de radicales libres, intercepta los radicales antes de que tengan la oportunidad de infligir el daño, por lo que el daño molecular disminuye. Asimismo, la melatonina estimula enzimas antioxidantes que metabolizan los radicales libres y los agentes dañinos asociados a derivados inocuos. Por último, las evidencias más recientes sugieren que la melatonina funciona a nivel mitocondrial reduciendo la formación de radicales libres al aumentar la eficacia de la cadena de transporte de electrones.

Esta última acción de la melatonina puede resultar una de las funciones más importantes para reducir la incidencia de enfermedades y prevenir la degeneración asociada a la edad. El mensaje esencial de esta discusión es que cualquier factor que limite la producción circadiana endógena de melatonina, como por ejemplo la exposición nocturna a la luz, puede generar una miríada de consecuencias, en cuanto a enfermedades y al proceso del envejecimiento. El abuso de la luz no debe pasarse por alto puesto que potencialmente contribuiría a la enfermedad en individuos jóvenes y aumentaría la debilidad y la enfermedad en los ancianos.

1.4.5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia y Tecnología, al Instituto de Salud Carlos III y a la Fundación Séneca de la CARM la financiación recibida a través de los proyectos BFU2007-60658/BFI, RETICEF RD06/0013/0019 y 05700/PI/07.

1.4.6 Referencias bibliográficas

Blask DE, Sauer LA, Dauchy RT. 2002. Melatonin as a chronobiotic/anticancer agent: cellular, biochemical and molecular mechanisms of action and their implications for circadian-based cancer therapy. *Curr. Topics Med. Chem.* 2:113-132.

Brainard GC, Hanifin JP, Rollag MD, Greeson J, Byrne B, Glickman G, Gener, E. Sanford B. 2001. Human melatonin regulation is not mediated by the three cone photopic visual system. *J. Clin Endocrinol. Metab.* 86:433-436.

Davis S, Mirick DK, Stevens RG. 2001. Night shift work, light at night, and risk of breast cancer. *J. Natl. Cancer Inst.* 93:1557-1562.

Knutsson, A. 2003. Health disorders of shift workers. *Occup. Med.* 53:103-108.

Lewy AJ, Wehr TA, Goodwin FK, Newsome DA, Markey SP. 1981. Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science* 210:1267-1269.

Otálora BB, Madrid JA, Alvarez N, Vicente V, Rol MA. 2008. Effects of exogenous melatonin and circadian synchronization on tumor progression in melanoma-bearing C57BL6 mice. *J. Pineal Res.* 44: 307-315.

Reiter RJ. 2006. Contaminación lumínica: supresión del ritmo circadiano de melatonina y sus consecuencias para la salud. En: *Cronobiología Básica y Clínica.* (JA Madrid, MA Rol, editores) Editec@Red, Madrid.

Reiter RJ. 2004. Mechanisms of cancer inhibition by melatonin. *J. Pineal Res.* 37:213-214.

Reiter RJ, Tan DX, Pappolla MA. 2004. Melatonin relieves the neural oxidative burden that contributes to dementias. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1035:179-196.

Reiter RJ, Tan DX, Leon J, Kilic U, Kilic E. 2005. When melatonin gets on your nerves: Its beneficial actions in experimental models of stroke. *Exp. Biol. Med.* 230:104-117.

Schernhammer ES, Rosner B, Willett WC, Laden F, Colditz GA, Hankinson SE. 2004. Epidemiology of urinary melatonin in women and its relation to other hormones and night work. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* 13:936-943.

Tan DX, Reiter RJ, Manchester LC, Yan MT, El-Sawi M, Sainz RM, Mayo JC, Kohen R, Allegra M, Hardeland R. 2002. Chemical and physical properties and potential mechanisms: Melatonin as a broad spectrum antioxidant and free radical scavenger. *Curr. Topics Med. Chem.* 2:181-198.

Vivanco P., Ortiz V., Rol MA, Madrid JA. 2007. Looking for the keys to diurnality downstream from the circadian clock: role of melatonin in a dual-phasing rodent, *Octodon degus*. *J Pineal Res.* 42:280-90.

Wetterberg, L. 1993. *Light and Biological Rhythms in Man.* Pergamon, Oxford.

1.5 Cultura de la luz: la incidencia de la opinión pública en la problemática de la contaminación lumínica

Dr. Ramón San Martín Páramo

Profesor titular del Departamento de Proyectos de Ingeniería de la Universidad Politécnica de Cataluña

Los que ya desde hace tiempo hemos expresado nuestra preocupación por el deterioro del medio ambiente nocturno estamos acostumbrados a ser recibidos con escepticismo, si no con agresividad. Nosotros éramos «esos chiflados que quieren ver las estrellas...». Debíamos enfrentarnos a tres tipos de barreras:

- Tecnológicas:
Carencia de productos adecuados, metodologías de estudio y cálculo, etc.
- Económicas:
Disposición nula a invertir en la protección del medio nocturno
- De opinión
Desconocimiento de la problemática, oposición al cambio...

Estas barreras no han desaparecido aún, pero afortunadamente su altura se ha ido disminuyendo:

- Tecnológicas: Se han desarrollado nuevos sistemas que permiten iluminar evitando la contaminación.
- Económicas: Ha ido disminuyendo la resistencia. Se admite ya que en nuevas instalaciones, evitar la Contaminación no aumenta el coste de la iluminación. El coste de las reformas, frena aun su aplicación en instalaciones existentes, pero en algunos casos comienza a admitirse que el ahorro energético y la protección del medio pueden justificarlo.
- De opinión: El conocimiento de la problemática se ha extendido, tanto en el campo propio del alumbrado, como en la opinión social. Ha crecido la conciencia de que la demanda de «aquellos chiflados» no obedecía a un puro capricho, sino a la realidad:
 - de unos perjuicios medioambientales injustificados;
 - de un modelo energético que se agota;
 - de que vivimos en un mundo en crisis;
 - de que nuestro mundo es un planeta amenazado donde ciertas formas de iluminar ya no son de recibo.

Sin embargo, este progreso en la aceptación del problema tiene un alcance aún reducido y se enfrenta a menudo a opiniones y juicios preestablecidos. Nuestra sociedad, en los pocos años que llevamos conviviendo con el alumbrado artificial ha ido desarrollando una visión e interpretación que han acabado sedimentando lo que podríamos llamar la actual cultura de la luz.

Durante milenios el uso del alumbrado artificial fue muy reducido y residual. En el siglo XIX, con la industrialización, comienza a utilizarse un alumbrado artificial similar al que concebimos actualmente. En un primer periodo, el alumbrado disponible era de débil

intensidad, y difícilmente cumplía los requisitos de utilidad necesarios. A mediados del siglo XX se produce un salto cualitativo: a los objetivos de utilidad –ya alcanzados– pueden añadirse los de confort y satisfacción. Y, ya a finales de dicho siglo, el alumbrado artificial puede ofrecer más de lo que se le pide: la demanda deja paso a la oferta.

Es decir: en 150 años hemos barrido una oscuridad de milenios. En 150 años la penumbra ha evolucionado hacia el esplendor. Y nosotros, seres humanos, no hemos sido capaces de asimilarlo: todavía permanecemos cegados por la novedad.

Patricia Elke Rodríguez Schaeffer, profesora de la Universidad de Chiapas y colaboradora del I Simposium Internacional sobre Contaminación Lumínica celebrado en Barcelona en 2004 ha dedicado al estudio de este tema su tesis doctoral *Análisis de comportamientos sociales en el uso del alumbrado artificial y sus repercusiones en el medio ambiente nocturno* (director de tesis: Dr. Ramón San Martín Páramo, Programa de Ingeniería de Proyectos: Medio ambiente, seguridad, calidad y comunicación, Universidad Politécnica de Cataluña, 2007).

Sus hipótesis de trabajo:

- La demanda social de alumbrado está condicionada por visiones culturales y no solo funcionales
- Estas visiones culturales pueden contradecir las demandas de valores ambientales
- La aplicación de políticas de sostenibilidad al servicio del alumbrado público precisa la consideración de factores culturales se han visto plenamente confirmadas. El análisis de los medios de comunicación, las entrevistas y encuestas realizadas concluyen que:
 - la temática ambiental está presente en la agenda de los medios de comunicación
 - existen pocas denuncias con escasa averiguación con respecto a contaminación lumínica y alumbrado público
 - la iluminación está tan adherida a nuestros estilos de vida que es casi una incongruencia querer vivir con bajos niveles de iluminación
 - el consumo de iluminación no guarda relación con su necesidad, sino con condicionantes socioeconómicos y culturales

La utilización del alumbrado varía en forma espectacular entre diferentes países. Por ejemplo, el consumo global de iluminación artificial:

- norteamericano: ~ 101 Mlmh
- indio: ~ 3 Mlmh

Esta divergencia se hace aún más patente si nos aproximamos a las comunidades indígenas. Los consumos solo se emplean, generalmente, para sus tareas de cocción y confección de textiles. Se halla que el uso del ocote es generalizado como fuente de iluminación en las viviendas que se encuentran alejadas de los poblados, ya que la distancia y el insuficiente medio de transporte dificultan el abastecimiento. Sus hogares, que, al carecer de la ayuda de auxiliares mecánicos domésticos, deberían ser mucho más dependientes de la iluminación que los nuestros, carecen de iluminación eléctrica, utilizan tan solo una cincuentava parte de la luz que nosotros, en gran parte, derrochamos diariamente...

Las barreras que aún existen

Algunas «frases hechas» reflejan la asimilación cultural de la luz en nuestra sociedad:

- Luz es buena / oscuridad es mala («El derroche de luz es un símbolo de estatus social... En cambio, el ahorro es un concepto negativo, asociado a penurias económicas y contrario a la lógica interna de la sociedad de consumo»)
- Luz es riqueza, alegría

- Penumbra es penuria, tristeza
- Luz, más luz... (hasta el ridículo)

Con estas premisas, ¿cómo vamos a convencer de la conveniencia de limitar el nivel de luz? Confundimos mucha luz con buena visibilidad:

- Cuanta más luz mejor
- Cuanto más brillo más luz

¿Cómo vamos a cambiar esos faroles que brillan tanto?

Se ha avanzado mucho en la liberación de barreras de opinión que limitaban el esfuerzo en la protección del medio nocturno. Pero aún queda un último paso a dar, y este necesario avance implica: «Una verdadera transición cultural».

1.6 Iluminación y seguridad

Antonio Peña García

Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Granada

Cuando parece llegarse a un consenso en temas tan importantes como la necesidad de evitar la contaminación lumínica, la conveniencia de las fuentes de luz de bajo consumo etc., persiste aún un intenso debate que radica en una de las principales razones de ser de la Luminotecnia: el empleo de la iluminación artificial para asegurar la seguridad de las personas y la protección los bienes.

El término seguridad empleado anteriormente abarca en realidad diversos aspectos de nuestra vida cotidiana. Dos de los más importantes y con mayor impacto social son sin duda la seguridad vial y la protección de las personas frente a agresiones de distinta índole.

En este breve estudio trataremos de sintetizar los puntos clave de la recurrente discusión sobre si mayores niveles de iluminación tienen un impacto positivo en la reducción de la delincuencia.

Iluminación exterior vs. delincuencia: el eterno dilema

El tema a analizar en este trabajo se centra en el adecuado empleo de la iluminación artificial para proteger a personas y bienes pero no contra accidentes fortuitos sino contra actos vandálicos o violentos. A primera vista podría parecer obvio que a mayores niveles de iluminancia, mayor seguridad y prevención contra los actos delictivos pero, ¿realmente es así?

Los motivos de esta controversia no son ni mucho menos triviales ni se deben a que este campo no haya sido objeto del más vivo interés por parte de los investigadores.

En primer lugar, a la dificultad que conlleva cualquier experimento que involucre variables relacionadas con la conducta humana, hay que añadir otros factores de tipo climatológico, geográfico, económico e incluso variables que aún pudiesen permanecer ocultas a los diseñadores de dichos experimentos. La consecuencia inmediata es que cualquier resultado que de ellos se extraiga ha de ser tratado con suma cautela y, de hecho, las conclusiones que sacan distintos investigadores de resultados similares pueden llegar a ser diametralmente opuestas.

En lo que parecen estar de acuerdo todos los investigadores es en el hecho de que una mayor iluminación aumenta la sensación de seguridad en los viandantes. Sin embargo, los investigadores no se ponen de acuerdo en un hecho que pudiese pasar desapercibido: posiblemente esa mayor iluminación pudiese aumentar la efectividad y seguridad de los posibles delincuentes incrementándose así la frecuencia y la gravedad de sus acciones en zonas con mayores niveles de iluminación. He aquí un primer escollo cuya interpretación se antoja sumamente difícil.

Otro punto no menos complicado reside en que ciertos investigadores que opinan que una mayor iluminación no implica mayor seguridad, argumentan que el número de actos delictivos que se producen durante el día es en muchos casos superior al de los delitos que se producen durante la noche. Olvidan quizá estos investigadores que la actividad de las personas, víctimas y delincuentes, es mucho mayor durante el día lo cual pudiera interpretarse como una muestra de parcialidad en sus conclusiones.

Un excelente ejemplo de estudio aparentemente serio pero cuya metodología se presenta como dudosa cuando se reflexiona sobre él, es el llevado a cabo por las autoridades de la ciudad inglesa de Essex [1]. Según este estudio, durante el periodo comprendido entre abril de 2006 y mayo de 2008, el alumbrado público fue

completamente apagado entre las 12:00 y las 5:30 de la mañana. El objetivo de esta medida fue reducir el consumo energético cuyo impacto económico sobre las arcas municipales era realmente significativo. El resultado, a primera vista fue realmente sorprendente: lejos de aumentar, los índices de criminalidad disminuyeron drásticamente. Sin embargo, el estudio no hace mención alguna a las medidas adicionales que en materia de seguridad se tomaran con el fin de evitar catástrofes durante el experimento: ¿cabe imaginar que algún alcalde del mundo se atreviese a tomar semejante medida sin aumentar significativamente el número de agentes de la ley patrullando las calles? El propio artículo reconoce la preocupación del cuerpo de policía antes de tomar la medida, por lo que sería inocente pensar que no se tomaron precauciones adicionales durante las horas críticas falseando así la conclusión de que una menor iluminación contribuye al descenso de la criminalidad. Aún más, ¿es posible cuantificar el número de personas que alterarían sus hábitos de vida por temor a andar en la oscuridad? Los comentarios de los cibernautas en el enlace citado en la bibliografía dan buena muestra sobre este punto.

No podemos olvidar que si las víctimas no andan por la calle entonces no se producen atracos pero no porque los delincuentes no estén dispuestos a cometerlos sino porque, sencillamente, no hay a quien atracar. Parece por tanto evidente que coartar a las personas a no abandonar sus casas no se antoja como la medida definitiva para reducir la delincuencia.

Además, en el citado estudio solo se hace referencia a estadísticas sobre delitos obviando mención alguna a un aumento o disminución de los accidentes tales como caídas, atropellos etc.

No se pretende con los anteriores comentarios adoptar una posición a favor ni en contra sobre el impacto en los niveles de delincuencia de una reducción de los niveles de iluminación. Al contrario, se pretende llamar la atención sobre la tremenda dificultad que conlleva extraer conclusiones imparciales sobre estos experimentos cuyo diseño ya de por sí es extremadamente subjetivo.

Otra buena prueba de la disparidad de los resultados obtenidos por distintos investigadores son los resultados contradictorios de los estudios llevados a cabo en Estados Unidos y Reino Unido. En efecto y pese a tratarse de países con raíces culturales comunes, los investigadores estadounidenses han concluido en sendos estudios separados por casi dos décadas [1,2] que los beneficios de los mayores niveles de iluminación sobre la incidencia de actos delictivos es prácticamente nula y que por tanto no puede afirmarse que exista un beneficio neto. Incluso llegó a concluirse en el segundo de ellos, lo que ya se apuntaba al principio de esta memoria: que en ciertos casos la iluminación (¡no estamos hablando ya del exceso de iluminación sino de una adecuada iluminación!) puede ser incluso contraproducente. Esta última aseveración, ha sido puesta de manifiesto por otros investigadores.

Más allá de estos estudios, otros similares llevados a cabo en los Estados Unidos de América han venido a demostrar que la incidencia de actos delictivos no depende de manera significativa del momento del día ni de los niveles de iluminación en la zona aunque, volvemos a insistir, estos estudios obvian por completo los distintos niveles de actividad que tienen lugar en cada franja horaria. En nuestra opinión, tal y como se procede siempre que se trabaja en Estadística, las cifras obtenidas no pueden ser convenientemente comparadas si previamente no son “pesadas” mediante una función de distribución adecuada que tenga en cuenta la actividad de agresores y víctimas en cada momento del día. Otra cosa es que dicha función de distribución pueda ser fácilmente obtenida pero sentimos que sin ella no pueden obtenerse conclusiones fiables.

Sin embargo, otros estudios llevados a cabo principalmente en el Reino Unido, algunos de ellos, por desgracia muy influenciados por campañas políticas y promesas electorales, parecen demostrar que mayores niveles de iluminación tienen como

consecuencia una notable disminución en la incidencia de delitos contra la seguridad de las personas y los bienes.

En resumen, nos encontramos ante un problema de muy difícil solución: por una parte es necesario reducir los niveles de iluminación para evitar la contaminación lumínica y el despilfarro energético pero, por otra, es imprescindible asegurar la protección de las personas y los bienes. A lo largo de esta breve síntesis se ha pretendido dejar de manifiesto que las opiniones a favor y en contra cuentan con razones de peso pero, por desgracia, ninguna de ellas parece tener base científica por el momento. Lejos de desanimarnos, este dilema se presenta como un reto para los científicos y técnicos de la luz. Es obligación de todos nosotros el trabajar y aunar esfuerzos para que el alumbrado público cumpla su función desde el más escrupuloso respeto a la maltrecha salud de nuestro planeta.

Bibliografía

[1] <http://www.thisistotalessex.co.uk/maldon/article-244537-details/article.html>

[2] Tien, J. M., O'Donnell, V. F., Barnet, A., Mirchandani, A. and Pitu, B. (1977) *Street lighting projects. National evaluation program, Phase 1 summary report*. Washington DC: National Institute of Law Enforcement and Criminal Justice.

[3] Sherman, L. W., Gottfredson, D., MacKenzie, D., Eck, J., Reuter, P. and Bushway, S. (1997) *Preventing crime: What works, what doesn't, what's promising. A report to the United States Congress*. Prepared for the National Institute of Justice. Maryland: University of Maryland at College Park, Department of Criminology and Criminal Justice.

2. LEGISLACIÓN Y ACTUACIONES EN EL TERRITORIO

2.1. Valoración comparativa de la normativa desarrollada en España para la protección del medio nocturno frente a la contaminación lumínica.

*Juan Contreras González. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.
Estefanía Cañavate García. EGMASA. Empresa de Gestión Medio Ambiental de la
Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.*

2.1.1. Objeto

El objeto del presente informe es realizar un análisis de la legislación desarrollada en España para la protección del medio nocturno frente a la contaminación lumínica.

2.1.2. Desarrollo legislativo en materia de contaminación lumínica en España.

La primera norma aprobada en España para la protección del cielo nocturno frente a la contaminación lumínica fue la Ley 31/1988, de 31 de octubre, sobre protección de la calidad astronómica de los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias. Es una ley de rango estatal cuyo objetivo es garantizar la protección de la actividad investigadora del Instituto de Astrofísica de Canarias y preservar la calidad astronómica de sus observatorios.

El desarrollo reglamentario de la citada ley, aprobado mediante el Real Decreto 243/1992, de 13 de marzo, tiene por objeto establecer las condiciones y los límites tolerables de todos los factores que se revelen degradantes de la calidad astronómica del cielo sobre las zonas que rodean a los mencionados observatorios.

Dicho reglamento regula el alumbrado de exteriores, la contaminación atmosférica y la instalación y funcionamiento de radioemisoras.

El ámbito territorial del régimen de protección, en lo concerniente a iluminación de exteriores, comprende la isla de La Palma y la parte de la isla de Tenerife que tiene visión directa desde la isla de La Palma.

Posteriormente, distintas comunidades autónomas han desarrollado normas cuyo objeto es, además de proteger las observaciones astronómicas, proteger a los ecosistemas, reducir el consumo energético y evitar la intrusión y las molestias lumínicas.

La primera Comunidad Autónoma fue Cataluña, con la aprobación de la Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno.

Aunque estas iniciativas de los gobiernos regionales son necesarias y han tenido efectos positivos, parecía precisa una norma de rango estatal que fijase objetivos y unificase criterios.

En este sentido, la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, establece en su disposición adicional cuarta:

«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.

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

Además de todo lo anterior, el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio acaba de aprobar el Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. Este reglamento tiene por objeto establecer las condiciones técnicas de diseño, ejecución y mantenimiento que deben reunir las instalaciones de alumbrado exterior, con la finalidad de:

a) Mejorar la eficiencia y ahorro energético, así como la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.

b) Limitar el resplandor luminoso nocturno o contaminación luminosa y reducir la luz intrusa o molesta.

Este real decreto es de aplicación a determinadas instalaciones de alumbrado exterior de más de 1 kW de potencia instalada.

2.1.2.1. Normas de rango autonómico

	LEY	DECRETO
Cataluña	Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno	Decreto 82/2005, de 3 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno
Islas Baleares	Ley 3/2005, de 20 de abril, de protección del medio nocturno de las Illes Balears ⁽¹⁾	–
Navarra	Ley Foral 10/2005, de 9 de noviembre, de ordenación del alumbrado para la protección del medio nocturno	Decreto Foral 199/2007, de 17 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley Foral 10/2005, de 9 de noviembre, de ordenación del alumbrado para la protección del medio nocturno
Cantabria	Ley de Cantabria 6/2006, de 9 de junio, de prevención de la contaminación lumínica	–
Andalucía	Ley 7/2007, de 9 de julio, de gestión integrada de la calidad ambiental (Sección 3ª, Capítulo II, Título IV)	Borrador en trámite administrativo

Tabla 1. Legislación desarrollada por gobiernos regionales de España para la protección del medio nocturno.

⁽¹⁾ El desarrollo reglamentario de la ley balear corresponde a los consejos insulares.

Las Comunidades Autónomas Valenciana, del País Vasco y de la Región de Murcia también están desarrollando normativa al respecto.

2.1.2.2. Normas de rango local.

Son numerosas las iniciativas de los gobiernos locales para la regulación de las instalaciones de alumbrado en lo referente a contaminación lumínica y eficiencia energética. Algunos ayuntamientos españoles que han desarrollado ordenanzas municipales son Burgos, Santander, Sevilla, Córdoba, Tárrega, Castro-Urdiales y Valencia (protección de la zona Devesa-Albufera), entre otros.

Otros ayuntamientos, como los de Madrid y Málaga, aunque no han aprobado ordenanzas específicas, disponen de normas técnicas para las instalaciones de alumbrado que contemplan limitaciones a parámetros luminotécnicos.

2.1.3. Análisis comparativo de las leyes de rango autonómico.

Las Comunidades Autónomas que han aprobado leyes para la protección del medio nocturno frente a la contaminación lumínica son Cataluña, Islas Baleares, Navarra, Cantabria y Andalucía.

Teniendo en cuenta que las leyes son normas jurídicas de carácter genérico, se ha realizado una valoración comparativa centrada en los aspectos más relevantes regulados en las mismas:

- Ámbito y exenciones de aplicación
- Zonificación del territorio
- Limitaciones y prohibiciones
- Características de las instalaciones y aparatos de iluminación
- Características fotométricas de los pavimentos

	Cataluña	Islas Baleares	Navarra	Cantabria	Andalucía
Ámbito y exenciones de aplicación	✓	✓	✓	✓	✓
Zonificación del territorio	✓	✓	✓	✓	✓
Limitaciones y prohibiciones	✓	✓	✓	✓	✓
Características de las instalaciones y aparatos de iluminación	✓	✓	✓	✓	✓
Características fotométricas de los pavimentos	✗	✓	✓	✓	✗

Tabla 2. Aspectos considerados en el análisis, regulados en las distintas leyes.

La ley de Cataluña, por ser la primera de rango autonómico aprobada en España, ha servido de referente para las desarrolladas posteriormente. Esto ha originado que todas sean muy similares en forma y contenido, con la salvedad de que la ley andaluza no es específica para la ordenación de la contaminación lumínica, pues regula todos los factores ambientales de la región.

A continuación se comenta cada uno de los puntos considerados en el análisis.

a) Ámbito y exenciones de aplicación: las leyes son de aplicación a las instalaciones de alumbrado exterior e interior, públicas o privadas, en lo que se refiere a la contaminación lumínica que pueden producir.

En todas se contemplan exenciones relativas al alumbrado de instalaciones o actividades que requieren de medidas especiales de iluminación por motivos de seguridad.

Las leyes de las Islas Baleares y Navarra contemplan la obligación de los gobiernos regionales de promover convenios de colaboración para que, en los mencionados casos de exención, se apliquen las normas en la medida de lo posible.

Ésta es una iniciativa muy acertada, puesto que en algunos de los casos exceptuados, es posible preservar la seguridad a la vez que minimizar la emisión de luz hacia el cielo nocturno.

b) Zonificación del territorio: en todos los casos se ordena la división del territorio en cuatro zonas, clasificadas de E1 a E4, en función de la vulnerabilidad a la contaminación lumínica y se prevé el establecimiento de las mismas vía reglamentaria. Además, se incluyen algunos criterios básicos para su definición.

En la descripción de zonas E1 no hay diferencias destacables.

Respecto a las zonas E2, E3 y E4, las leyes de Cataluña, Islas Baleares y Cantabria, sólo indican el brillo que cada área puede admitir, siendo éste clasificado como reducido, medio y alto respectivamente.

En los casos de Navarra y Andalucía, la definición especifica la clasificación y usos del suelo de cada zona.

Además de las cuatro zonas descritas, todas las leyes definen los denominados puntos de referencia, como espacios que por sus características requieren una especial protección.

c) Limitaciones y prohibiciones.

Diferencias entre las prohibiciones que las distintas leyes establecen:

- Se prohíben las luminarias con un flujo hemisférico superior (FHS) mayor a los siguientes porcentajes, referidos al flujo total emitido por la luminaria:
 - Cataluña: 25% desde el 3 de mayo de 2005. Actualmente en la normativa catalana están prohibidas las pantallas con FHS > 25% en todo el territorio, quedando obsoleto el 50% que permitía la Ley en el 2001
 - Islas Baleares: 25%
 - Navarra: 20%
 - Cantabria: 10%
 - Andalucía: se regula en el reglamento
- En Cataluña y Navarra se prohíbe la iluminación permanente de las pistas de esquí.
- En Cantabria se prohíbe la iluminación directa y deliberada de farallones y cortados rocosos de interés natural sobre los que se tenga constancia del reposo reiterado y significativo de aves catalogadas, excepto en caso de emergencia o que reglamentariamente se determine.

d) Características de las instalaciones y aparatos de iluminación:

- En las leyes de Cataluña, Islas Baleares y Navarra, se incluye la obligación de priorizar en los alumbrados exteriores el empleo de lámparas de vapor de sodio

de alta y de baja presión, añadiéndose que estas lámparas habrán de sustituir a las de mercurio en los procesos de renovación del alumbrado público, los cuales han de tender a la reducción de la potencia instalada.

- En la ley foral de Navarra se determinan, además, las características de los sistemas de reducción de flujo luminoso, indicándose que deben permitir reducir el nivel de iluminación, uniformemente, hasta el 50 % en cabecera de línea. En los casos de Cataluña y Andalucía, este aspecto se contempla en el reglamento.

e) Características fotométricas de los pavimentos: determinados estudios ponen de manifiesto que del 10-20% de la contaminación lumínica generada se debe a la luz reflejada en superficies, principalmente sobre el asfalto de las calles.

Por esta razón es conveniente adoptar medidas que minimicen este fenómeno físico, tales como el empleo de materiales poco reflectantes en las superficies de calles, edificios y mobiliario urbano.

Las Comunidades Autónomas de las Islas Baleares y Cantabria y la Comunidad Foral de Navarra, establecen en líneas generales que, siempre que resulte factible, en las calzadas de las vías de tráfico se emplearán pavimentos con un coeficiente de luminancia medio lo más elevado posible y con un factor especular bajo.

La aplicación de estas medidas es compleja por lo que siempre deberían ir acompañadas de una adecuada limitación de los valores máximos de iluminación permitidos, a fin de evitar excesos de iluminación.

2.1.4. Análisis comparativo de los reglamentos.

En este punto se analizan las diferencias más significativas encontradas entre los reglamentos de Cataluña y Navarra. Así mismo, se tiene en cuenta el borrador de reglamento de Andalucía, actualmente en trámite administrativo para su aprobación.

a) Zonificación.

La descripción de las distintas zonas lumínicas es semejante en los tres reglamentos. La diferencia radica en las administraciones competentes para la determinación de cada una de ellas.

El reglamento catalán complementa la definición de las zonas que se hacía en la ley, especificando la clasificación del suelo de cada zona.

		Cataluña	Navarra	Andalucía
Competencias para la determinación de las distintas zonas lumínicas	E1	Departamento de Medio Ambiente y Vivienda (Generalitat de Catalunya)	Ayuntamientos	Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía)
	E2	Departamento de Medio Ambiente y Vivienda (Generalitat de Catalunya)	Ayuntamientos	Ayuntamientos*
	E3	Departamento de Medio Ambiente y Vivienda (Generalitat de Catalunya)	Ayuntamientos	Ayuntamientos*
	E4	El Departamento de Medio Ambiente y Vivienda aprueba las propuestas razonadas presentadas por los ayuntamientos.	Ayuntamientos	Ayuntamientos*

Tabla 3. Administraciones competentes en la determinación de áreas lumínicas.
*La Consejería de Medio Ambiente tiene que emitir informe vinculante sobre la zonificación propuesta por los ayuntamientos.

En los casos de Cataluña y Andalucía la Administración Regional participa en la definición de todas las zonas, bien determinándolas directamente, bien aprobando las propuestas efectuadas por los ayuntamientos. De este modo se evita la aplicación de distintos grados de protección de zonas que, por sus características, debieran tener el mismo. También se facilita así, la determinación de zonas intermunicipales.

Puntos de referencia

El decreto de Cataluña establece como punto de referencia el Observatorio astronómico del Montsec y determina como zona de máxima protección los 1.600 km² de los municipios de su alrededor.

En el borrador de decreto de Andalucía se declaran los observatorios astronómicos ópticos de Sierra Nevada y Calar Alto como puntos de referencia, quedando pendiente la definición de sus respectivas zonas de influencia, que se definirán en coordinación con los observatorios.

En el caso de Navarra, no se ha determinado ningún punto de referencia.

El borrador de reglamento de Andalucía cuenta con un completo procedimiento para la declaración de zonas y puntos de referencia, en el que se fijan plazos, competencias y criterios y se incluye la posibilidad de que sean los interesados quienes soliciten, de

manera justificada, la declaración de zonas E1 y puntos de referencia. La Consejería de Medio Ambiente analizará dichas solicitudes y resolverá al respecto.

b) Regulación horaria

Es fundamental la determinación de un horario nocturno en el que se reduzcan los niveles de iluminación, tanto para lograr un mayor ahorro energético y económico, como para facilitar las observaciones astronómicas. La tendencia debe ser ampliar este horario en la medida de lo posible según las necesidades reales de cada lugar.

En los casos de Cataluña y Andalucía, se fijan horarios nocturnos y se limitan los parámetros luminotécnicos en función de los mismos.

	Cataluña	Andalucía
Franjas horarias establecidas	Horario de atardecer: desde la puesta de sol hasta las 22:00 h. Horario nocturno: desde las 22:00 h hasta la salida del sol.	Horario nocturno de invierno: desde las 24:00 h hasta las 06:00 h. Horario nocturno de verano: desde las 01:00 h hasta las 06:00 h.

Tabla 4. Franjas horarias establecidas en Cataluña y previstas en Andalucía.

En el caso de Navarra, se determina la reducción del flujo luminoso a partir de las 23:00 horas para el alumbrado público en vías con tráfico rodado y zonas peatonales, y a partir de las 24:00 horas para el alumbrado exterior de zonas comerciales y publicitarias, siempre que se encuentren cerradas al público.

c) Parámetros luminotécnicos:

c.1. Flujo hemisférico superior (FHS)

Los límites al flujo hemisférico superior se establecen en función de las distintas zonas lumínicas.

El límite más restrictivo se encuentra en la Comunidad Autónoma de Andalucía que establece un FHS máximo del 1%. Cuando esto no sea factible, se deberá justificar en el proyecto y en ningún caso se permitirán valores superiores a los indicados en la última columna de la tabla 5. En el 95 % del territorio de Cataluña y en horario de noche es obligatorio el uso de lámparas de vapor de sodio y de pantallas con un FSH máximo del 1%.

	Cataluña		Navarra	Andalucía
	Horario de atardecer	Horario nocturno		
Zonas E1	1	1	1	1
Zonas E2	5	1	5	5
Zonas E3	15	15	15	15
Zonas E4	25	25	20	15
Alumbrado viario en general	-	-	-	5

Tabla 5. FHS instalado permitido en cada Comunidad Autónoma según la clasificación de la zona.

Además, como puede observarse, en Andalucía se establece un FHS máximo del 5% para todo el alumbrado viario, independientemente de la zona en que se encuentre.

c.2. Niveles de iluminación

En relación a los niveles de iluminación permitidos en vías de tráfico rodado y zonas peatonales, en el caso de Cataluña se fijan niveles máximos de iluminación media en función de la densidad del tráfico, mientras que en Navarra se establece una clasificación de las vías para cada una de las cuales se fijan valores de iluminación media que sólo se podrán superar en un 20%.

Cabe señalar que estas medidas establecen límites a cada tipo de vía de comunicación, con independencia de la zona lumínica por la que transcurre.

En la siguiente tabla se presentan, a modo indicativo, los rangos de máximos permitidos en las vías de tráfico de vehículos y en zonas peatonales, en estas dos Comunidades. Todos los valores son máximos a aplicar según la densidad del tráfico (Cataluña) o según las características de la vía (Navarra).

	Cataluña	Navarra*
Vías de tráfico de vehículos	10-35	8-36
Zonas peatonales	5-20	16-24
Pasos de peatones, glorietas y rotondas con alto nivel de utilización	-	60
Zonas comerciales	-	36

Tabla 6. Niveles límite de iluminación media de las vías expresada en lux.

⁽¹⁾Los valores de Navarra incluyen el margen del 20% permitido.

Por otra parte, al haberse aprobado el RD 1890/2008, de 14 de noviembre, cuando todavía el texto del reglamento de Andalucía estaba en trámite, a fin de facilitar la interpretación y el cumplimiento de ambas normas, se ha procedido a la adaptación de los límites del borrador andaluz a los establecidos en el mencionado real decreto.

Regulación de flujo luminoso:

Además de establecer los niveles indicados, los reglamentos de Cataluña y Navarra, así como el borrador de Andalucía, contemplan la regulación del flujo luminoso como se indica en la tabla 7:

	Regulación del flujo luminoso
Cataluña	Obliga a implementar regulador de flujo en todas las instalaciones situadas en zonas E1 o E2, esto es el 95% del territorio de Cataluña.
Navarra	La mayoría de las instalaciones deberán disponer de un sistema de reducción de flujo, de forma que a partir de una hora determinada, variable según el tipo de alumbrado, el nivel de iluminación efectivo sea inferior (en la mayoría de los casos) en al menos un 40% del valor límite establecido.
Andalucía	Las instalaciones ubicadas en zonas E1 y E2 que deban permanecer encendidas en horario nocturno por motivos de seguridad y todas las ubicadas en zonas E3 y E4, deben reducir el flujo luminoso durante el horario nocturno tanto como sea posible, manteniendo la uniformidad de la iluminación.

Tabla 7. Regulación del flujo luminoso de las instalaciones de alumbrado.

Respecto a la limitación de aspectos tales como luminancia de carteles, anuncios luminosos, escaparates y huecos exteriores que viertan luz a espacios no cubiertos, éstos se establecen en el reglamento de Cataluña y en el borrador de Andalucía. Son aspectos de gran interés, dado que existen estudios que demuestran la gran incidencia del alumbrado privado en la emisión de luz hacia el cielo.

d) Adaptación de las instalaciones existentes:

Los tres reglamentos comparados son de aplicación a las instalaciones nuevas y ampliaciones o modificaciones de las existentes, desde la aprobación de los mismos.

En lo referente a la obligación de adaptar las instalaciones de alumbrado existentes, se siguen las directrices que se exponen en la tabla 8.

	Obligaciones relativas a las instalaciones existentes	Plazos
CATALUÑA	Cumplir todo lo establecido en la ley y en el reglamento	Antes del 31 de agosto de 2009
NAVARRA	Se establecen en la ley	Se establecen en la ley
ANDALUCÍA	Cumplir las restricciones de uso establecidas en la ley y el reglamento	Desde la aprobación del reglamento
	Las instalaciones ubicadas en zonas E1 y E2, que no tengan que permanecer encendidas en horario nocturno por motivos de seguridad, deberán permanecer apagadas en horario nocturno	Seis meses desde la aprobación de las zonas E1 y E2
	El resto de instalaciones de alumbrado exterior deben reducir el flujo luminoso durante el horario nocturno tanto como sea posible, manteniendo la uniformidad	Cinco años desde la aprobación del reglamento
	Sustitución de todas las luminarias cuyo FHS sea superior al 25%	Tres años desde la aprobación del reglamento
	Lámparas monocromáticas en las zonas de influencia de los puntos de referencia	Dos años desde la aprobación del reglamento
	Con carácter general, el alumbrado ornamental debe permanecer apagado en horario nocturno	Desde la aprobación del reglamento
	Con carácter general el alumbrado de carteles y anuncios publicitarios que no indiquen un servicio de interés social, deben permanecer apagados en horario nocturno	Desde la aprobación del reglamento

Tabla 8. Obligaciones relativas a las instalaciones de alumbrado existentes

En el caso de Navarra, en la ley se establece que las instalaciones existentes deberán cumplir con todo lo establecido en la misma y en el reglamento que la desarrolla, como máximo en el plazo de 8 años desde la aprobación de ésta, con excepción del régimen de usos horarios el cual es de aplicación desde su entrada en vigor.

e) Oficina para la protección del cielo nocturno y mapas de zonificación lumínica:

El reglamento de Cataluña ha creado la Oficina para la Prevención de la Contaminación Luminosa como área funcional de la Dirección general de Calidad Ambiental del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Cataluña, la cual ejerce las funciones previstas en las competencias de la Dirección general.

En el borrador de Andalucía, se contempla la creación de la Oficina Técnica para la protección del cielo frente a la contaminación lumínica, que estará adscrita a la Dirección General competente en materia de contaminación lumínica, y que estará integrada por personal funcionario de dicha Dirección, así como de las Delegaciones Provinciales de la Consejería competente en materia de medio ambiente.

El objeto de esta oficina es servir de apoyo en la ejecución de las obligaciones derivadas de la aprobación de estas normas.

Respecto a los mapas de zonificación lumínica, en Cataluña ha sido aprobado y publicado en 2007 el mapa de la protección del medio frente a la contaminación luminosa. Dicho mapa protege todo el territorio de la comunidad.

Así mismo, se prevé la creación y publicación del mapa de zonificación de áreas lumínicas de Andalucía en un plazo máximo de cuatro años desde la aprobación del reglamento.

2.1.5. Conclusiones

Del análisis de la normativa desarrollada en España para la protección del medio nocturno frente a la contaminación lumínica, se desprenden las siguientes conclusiones:

- La contaminación lumínica se ha ido regulando progresivamente desde el año 2001 en cinco Comunidades Autónomas y en diversos municipios, dándose de este modo, el primer paso para frenar el acelerado incremento de la misma.
- Incorporación al ordenamiento jurídico de nuestro país de la regulación de la contaminación lumínica mediante la aprobación de la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, en la que se establecen los objetivos comunes a conseguir en la materia.
- La reciente aprobación del RD 1890/2008, de 14 de noviembre, supone un gran avance en la regulación frente a la contaminación lumínica, por afectar a todo el país y regular los límites de iluminación máximos y el FHSinst, entre otros aspectos.
- La aprobación de estas normas ayuda a fomentar la sensibilización de los responsables de las instalaciones de alumbrado público y de la sociedad en general.
- El hecho de que las instalaciones existentes cumplan con lo establecido en las normas puede resultar costoso para los ayuntamientos. Por lo que es fundamental que el desarrollo de legislación vaya acompañado de la disponibilidad de fondos para su aplicación. En Cataluña el Departamento de Medio Ambiente y Vivienda desde 2005 está convocando ayudas dirigidas a los entes locales para

subvencionar la adecuación de la iluminación exterior existente a la entrada en vigor de la normativa.

Por otra parte, en algunas de las normas analizadas, no se contempla que las instalaciones de alumbrado existentes tengan que adaptarse a las mismas, lo cual implica un retraso considerable en la obtención de los resultados deseados. Esto es debido a que hasta que dichas instalaciones no lleguen al final de su vida útil, estimada en 25 años (en la práctica este periodo puede dilatarse considerablemente), no serán sustituidas por otras que cumplan con lo estipulado en los correspondientes reglamentos.

- La limitación del FHS_{inst} es una de las principales medidas de las normas para evitar la emisión directa de luz artificial hacia el cielo nocturno, por lo que la tendencia debe ser ir reduciendo este parámetro hasta el máximo técnicamente posible, aplicando las mejores técnicas disponibles en el mercado. Las normas aprobadas por las primeras CCAA, han supuesto un avance muy importante y significativo en este sentido. Respecto al resto de CCAA, deberán comenzar a aplicar lo estipulado en el RD 1890/2008, de 14 de noviembre.
- Los efectos de una iluminación inadecuada han sido detectados recientemente, si se compara con los ocasionados por otros tipos de contaminación. Lo novedoso del problema hace que el desarrollo de normativa resulte complejo por falta de experiencia y de definición de aspectos tan básicos como la metodología más adecuada para medir el grado de contaminación lumínica de una zona determinada.

Por otra parte, las primeras normas aprobadas han comenzado a implantarse. De las actuaciones realizadas cabe destacar algunos aspectos:

- Las experiencias en la aplicación de las normas aprobadas puede servir para mejorar el contenido de las que posteriormente se desarrollen. Para ello resulta muy positiva la creación de entornos de trabajo que faciliten el intercambio de información sobre el resultado de las medidas llevadas a cabo en cada territorio.
- El ahorro energético y por tanto, económico que conlleva la adaptación de las instalaciones de alumbrado a la normativa, puede fomentar la motivación de los responsables municipales de estas instalaciones.
- Debido a la falta de experiencia en la materia, en algunos casos se establecen valores límite a parámetros luminotécnicos que en la práctica no resultan fáciles de conseguir o controlar.

2.2. Los costos de la implantación y el mantenimiento de las instalaciones de alumbrado exterior.

Ramón San Martín Páramo. Profesor Titular de la UPC. Departamento de proyectos de ingeniería. (ETSEIB)

Lluís Ferrero i Andreu. Presidente de TECNICAT, Asociación de técnicos relacionados con la administración de Cataluña.

2.2.1. Introducción

Las nuevas formas de contaminación en el siglo XXI, son aquellas de tipo intangible, difíciles de cuantificar de forma clásica, que las percibimos por nuestros sentidos, pero que no las podemos introducir en compartimentos estancos, cerrados y reciclarlas ya que son del tipo informativo.

El progreso de la humanidad ha comportado estas problemáticas, un aumento del desarrollo tecnológico, a costa de distorsiones del ecosistema y con él un gran avance de la iluminación artificial, lo que ha supuesto un descenso del concepto oscuridad, y en consecuencia de la noche

La transformación energética para obtener la luz artificial, es la más ineficiente de todas las transformaciones, considerando las fuentes convencionales como el gas o la electricidad, estamos en rendimientos, en el mejor de los casos es del 4 %. (1watt = 638 lúmenes).

Este es un motivo justificado para emplear los costes adecuados de inversión y mejorar la eficiencia energética, valorar el mantenimiento de las instalaciones de alumbrado, para la mejora del servicio y la disminución de los costos de explotación

El hombre moderno ha desarrollado sistemas de alumbrado artificial, para prolongar sus actividades, su ocio y que muy a nuestro pesar a supuesto "encender la noche" de forma simple, como si accionáramos un simple interruptor.

Los luminotécnicos, sin intención manifiesta, nos hemos convertido en predadores de la noche, en consecuencia nos corresponde en primer lugar pedir disculpas a el hábitat nocturno y introducir de forma sistemática las medidas correctoras, de ahora en adelante como elemento normalizado en todas las variantes de la instalaciones de alumbrado exterior

Los hombres nos podemos poner fácilmente de acuerdo de cuanta luz precisamos para nuestras actividades, pero lo importante sería saber valorar de cuanta oscuridad necesitamos

Junto con estos principios aprendamos a utilizar la luz en su justa medida, como una ayuda necesaria, para conocer y disfrutar desde el ocaso hasta el orto de la oscuridad con su silencio, y de la visión de todo el esplendor de la noche... por que pensamos sinceramente, que lo necesitamos y todavía estamos a tiempo.

2.2.2. El alumbrado artificial.

En España consumimos en alumbrado público, 3.400 GWh/año, que supone unos costes de 475 millones de €, esto lleva asociado una potencia instalada de 800 MW con un total de 75.000 acometidas eléctricas, estos valores necesitan en barras de las centrales españolas una potencia total de 2000 MW (2 centrales nucleares).

Si el rendimiento medio actual de las instalaciones de alumbrado público es del 0,5 %, aplicando técnicas de mejora contrastadas, tecnologías eficientes y una gestión adecuada del funcionamiento y mantenimiento, podemos reducir a más de la mitad el consumo de energía de las instalaciones.

El alumbrado es el “consumidor final” de la energía eléctrica, así ahorrar **1 Kwh** de iluminación supone ~ **2,5 Kwh** de generación, debido a los rendimientos medios de las centrales eléctricas Españolas, el transporte, la distribución y el consumo. La ineficiencia de nuestro sistema hace que los valores necesarios de generación impliquen estas grandes producciones

Desde la visión ambiental: 1 Kwh. Equivale a una emisión de 430 gr CO₂, en función de la media de las fuentes energéticas en nuestro país.

La eficiencia energética de las instalaciones de alumbrado público exterior repercute positivamente en aspectos:

1. *Económicos:*

Se disminuyen los costos de los ayuntamientos, la energía consumida por un ayuntamiento en alumbrado supone el 50 % de media de su consumo energético total.

2. *Energéticos:*

Se reduce el funcionamiento de nuestras centrales de producción, fundamentalmente Nucleares.

3. *Sociales:*

Se reducirá nuestra dependencia exterior de los recursos energéticos, y se mejorara el servicio de alumbrado de forma ostensible

4 *Medioambientales:*

Se reducen los residuos de, los metales pesados de las lámparas, los componentes ineficientes que consumen excesivos recursos naturales, las emisiones a la atmósfera..... y *la Contaminación Lumínica del ecosistema.*

2.2.3. Inversión. Singularidades a considerar.

El alumbrado exterior, tiene como característica principal, su facilidad para predecir su horario de funcionamiento. El número de horas de alumbrado exterior es de 4.277,5 horas, en donde el nivel de luz ambiental esta por debajo de los 50 luxes, en estas situaciones es necesario el alumbrado exterior, estas necesidades vienen determinadas por las coordenadas del lugar.

Con la Longitud, podemos averiguar el momento horario en que se inicia la noche

Con la Latitud, podemos saber la duración horaria de la noche en un día determinado

La formula siguiente, nos define las horas sin luz de un día determinado en cualquier punto del globo terrestre. La localización de un punto se realiza, mediante su longitud y su latitud.

La altura solar

$$A = \text{arc sen} \left[\text{sen } \delta \text{ sen } \zeta + \cos \frac{12 - H}{2\pi} \cos \delta \cos \zeta \right]$$

y la declinación solar

$$\delta = \text{arctg} \left\{ -\text{tg} (23,5) \cos \left[\frac{2 \pi (N+10)}{365} \right] \right\}$$

Siendo: A = altura solar

ζ = latitud

H = hora del día (24 es medianoche)

N = número de días transcurridos des de el 1 de enero

Por consiguiente, podremos determinar con toda exactitud, mediante un reloj astronómico, en cada día del año, el ocaso (hora de encendido) y orto (hora de apagado).

En las latitudes del Estado Español, estos horarios se corresponden con consumos mensuales respecto al total anual de:

Mes	consumo	Mes	Consumo
Enero	11 %	Julio	7 %
febrero	9 %	Agosto	7 %
Marzo	9 %	Septiembre	7 %
Abril	8 %	Octubre	8 %
Mayo	7 %	Noviembre	10 %
Junio	7 %	Diciembre	10 %

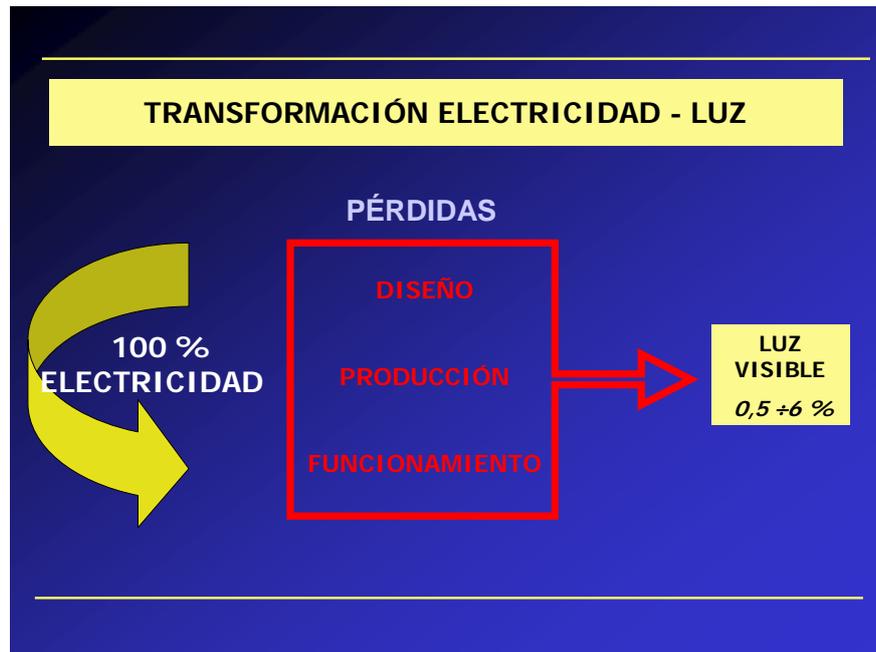
Esta consideración, justifica por si sola, la facilidad técnica y la tecnología actual, para mantener las horas justas de funcionamiento del alumbrado exterior

Los aspectos críticos para desarrollar una política efectiva de reducción de costos, afectan directamente a dos parámetros eléctricos, que corresponden a:

1. La potencia necesaria en el Diseño, adecuado de la instalación en su concepción, que vendrá relacionado directamente con el coste de inversión inicial

2. La energía consumida en el Funcionamiento, como elemento necesario en la explotación del de las instalaciones de alumbrado., que influirá en los costes corrientes en la vida de la instalación

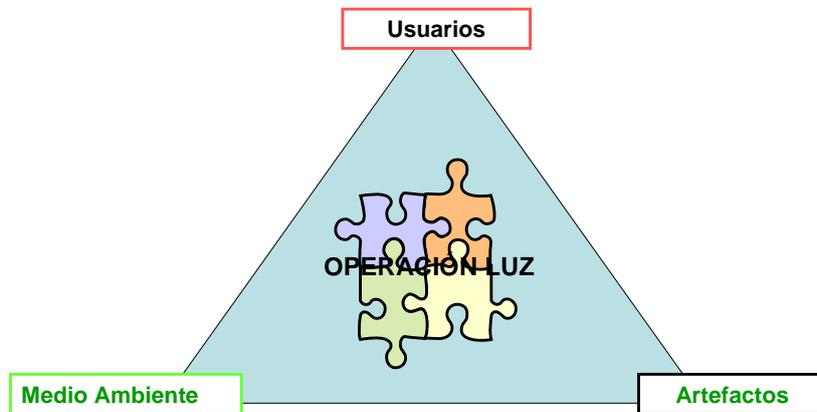
Estas dos componentes de las pérdidas en la transformación de la luz, son las más fácilmente ajustables a los parámetros de eficiencia energética.



En referencia al diseño inicial, deberemos considerar en primer lugar la ergonomía de los usuarios, los artefactos más eficientes y la mínima interferencia o contaminación del entorno

Así en el estudio de la "Operación Luz" tendremos que valorar las necesidades de los usuarios, los artefactos que introducimos para un funcionamiento eficiente y la mínima afectación del medio por la introducción un elemento artificial,

La operación luz debe tener como principio fundamental, mantener al máximo las condiciones naturales de la noche "luz natural nocturna", aplicando la máxima eficiencia y confort para el usuario.



ERGONOMÍA Y EFICIENCIA DE LA ILUMINACIÓN

La eficiencia energética relacionada con el nivel de luz necesario por los usuarios de una instalación de alumbrado viene dada por:

Relación entre energía eléctrica y energía lumínica:

$$EFICIENCIA_1 = \frac{E_{LUMÍNICA}}{E_{ELECTRICA}}$$

Relación entre la energía lumínica y la prestación visual

$$EFICIENCIA_2 = \frac{PRESTACIÓN_VISUAL}{E_{LUMÍNICA}}$$

La eficiencia Total será

$$EFICIENCIA_2 = EFICIENCIA_1 \times EFICIENCIA_2 = \frac{PRESTACIÓN_VISUAL}{E_{ELECTRICA}}$$

El ahorro energético no debe afectar a las prestaciones visuales

Principales Necesidades del usuario

Nivel de luz adecuado

Contraste óptimo

Uniformidad ajustada

Deslumbramiento mínimo

Reproducción cromática aceptable

Temperatura del color agradable

Artefactos de la instalación

Lámparas (vida útil, nivel de metales pesados reducido, ...)

Luminarias. (tipologías y rendimientos de las ópticas, FHS,...)

Equipos auxiliares (balastos, condensadores, arrancadores, reductores de flujo, ..)

Soportes (materiales constructivos, obra civil asociada, ruidos, polvo, movilidad reducida de los usuarios por obras,...)

Cuadros de distribución (situación, materiales, ...)

Uno de los apartados que más pueden influir en la explotación de los sistemas de iluminación son los equipos asociados

Se valora en el cuadro adjunto las pérdidas e incremento de consumo debido a los equipos asociados en la generación de luz

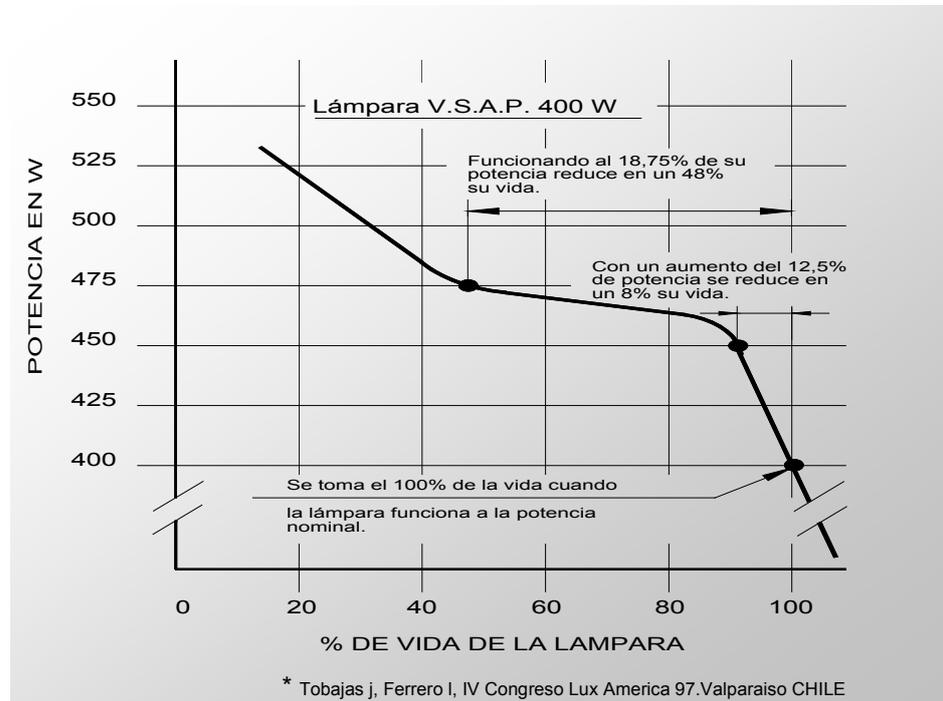
Reparto de los consumos en una lámpara de alta corriente de descarga



* Tobajas j, Ferrero I, IV Congreso Lux America 97.Valparaiso CHILE

Se evidencia las diferentes calidades existentes en el mercado de equipos auxiliares. Como se observa las pérdidas mínimas se sitúan en el 9,3 %, llegando a obtenerse con equipos de baja calidad, una media del 27,5 % de pérdidas

Comportamiento de la vida útil de las lámparas, en función de las variaciones de potencia en su funcionamiento:



Los equipos de reducción de flujo, tampoco son un sistema óptimo para reducir los consumos en horas de poca utilización.

Como se observa las variaciones de potencia, suelen estar acompañadas de reducciones drásticas de la vida de la lámpara, que serán más significativas, en función de su calidad, del ambiente exterior donde están introducidas.

Las reducciones de nivel y de consumo, se producen en horas en que el precio del kWh es más reducido, por lo que el periodo de amortización de estos equipos es muy elevado.

Los mayores costes y dificultades en el mantenimiento de estos equipos, hoy por hoy, ya no los hacen competitivos frente a otros sistemas, además su instalación comporta tener que hacer obra civil y introducir mas elementos en el espacio publico.

Para instalaciones de potencias superiores a los 30 kW, puede considerarse positivo la utilización de estos equipos, ya que los costes de inversión, tienen un mejor ratio con respecto al ahorro conseguido. Esta característica se da exclusivamente en instalaciones antiguas, ya que las instalaciones de potencias de mas de 12-15 kW están desaconsejadas en alumbrado publico, en estos casos hay que valorar, (30kW), el estado de la instalación.

La solución actual mas eficiente, son los equipos electrónicos. Estos elementos tienen la característica principal de tener pérdidas prácticamente nulas, su comportamiento estable y la incorporación de todos los elementos de funcionamiento en un solo equipo



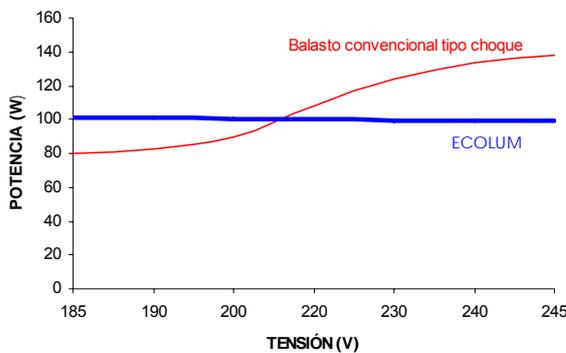
Este elemento, regula los niveles de flujo por programación interna a voluntad del usuario.

Estabiliza la potencia de la lámpara frente a las variaciones de tensión que provienen de la compañía, evitando los consumos innecesarios y asumibles por imperativo legal para los propietarios de las instalaciones ($\pm 7\%$)

Comportamiento del balasto electrónico a las variaciones de la tensión de red

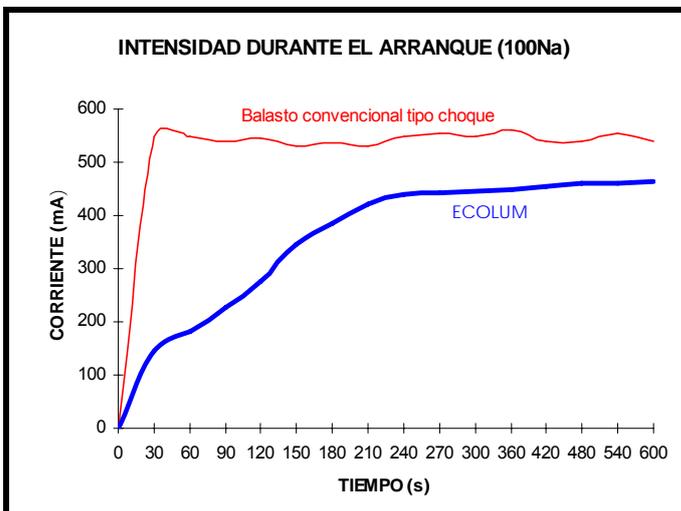
Comportamiento del balasto electromagnético a las variaciones de la tensión de red

ESTABILIZACIÓN DE POTENCIA (100Na)



Tensión alimentación	Sobreconsumo
5 %	11 %
10 %	22 %
15 %	33 %

INTENSIDAD DURANTE EL ARRANQUE (100Na)



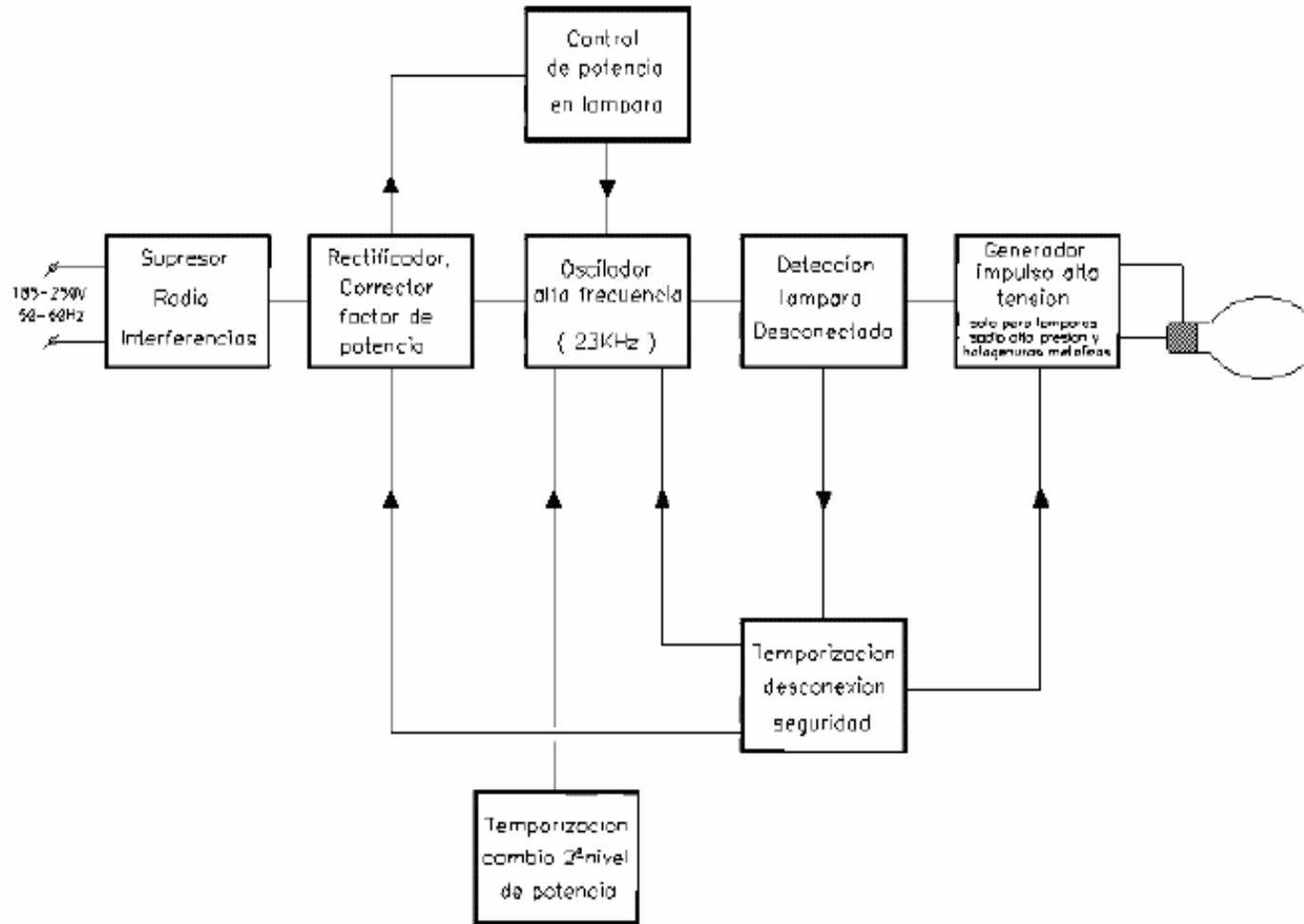
La corriente de arranque de las lámparas, esta limitada por los equipos electrónicos, esta singularidad hace que no sea necesario dimensionar los conductores con un incremento del 80% por la corriente de arranque. (REBT-ITC-BT-09 art. 3)

La reducción de la sección de los conductores en las instalaciones, implica menores costos y reducción de consumo de materias primas

La potencia de contratación, se ajusta exactamente a la potencia instalada.

El funcionamiento de los equipos es en alta frecuencia, por este motivo en las lámparas de descarga, se produce más intercambio iónico y mayor producción de luz.

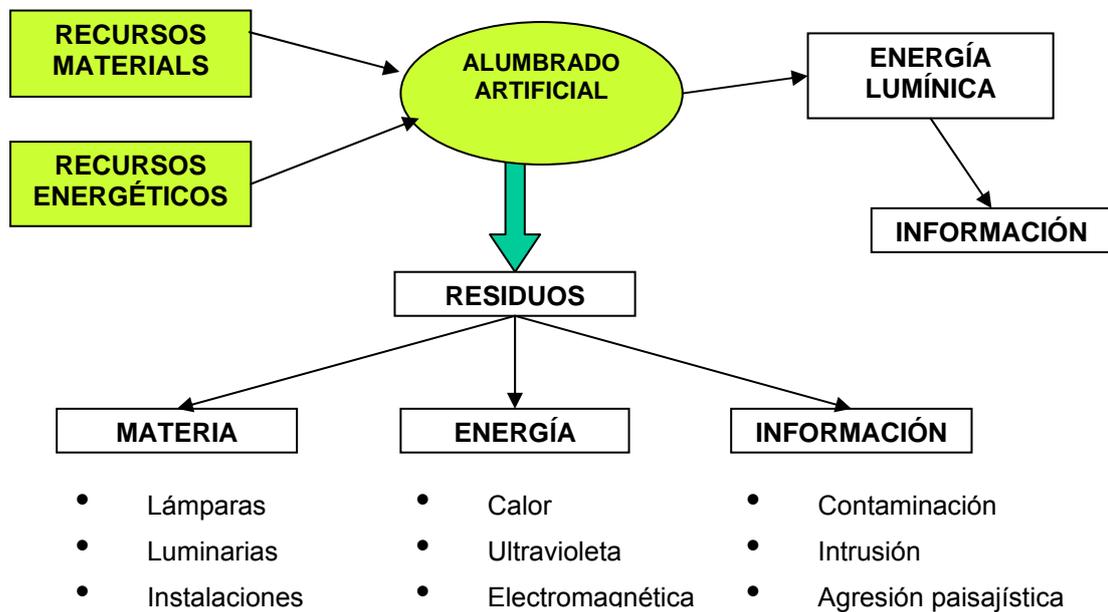
Diagrama de flujo de un equipo electrónico para lámpara de alta corriente de descarga



2.2.4. La cuestión ambiental.

La influencia de la distorsión del medio en las instalaciones de alumbrado, fundamentalmente se desprenden del cuadro adjunto.

- La contaminación de los materiales utilizados
- La contaminación por la degradación de la energía
- La contaminación informativa de la luz



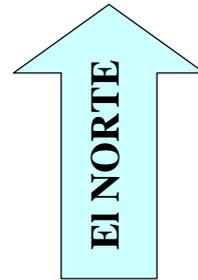
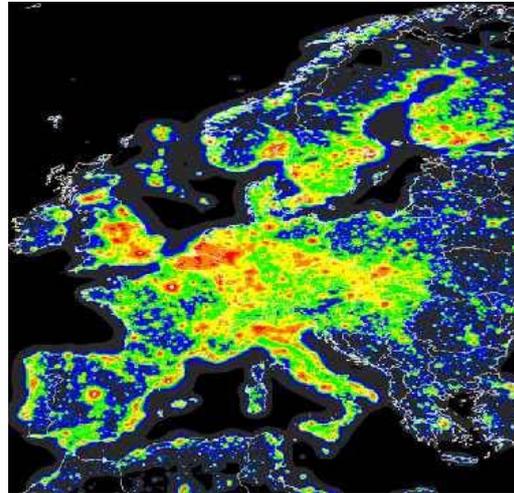
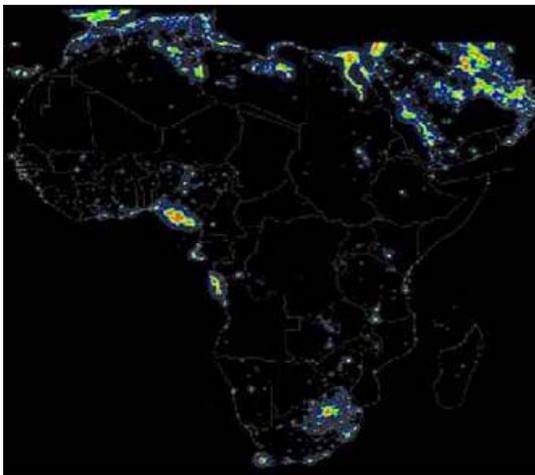
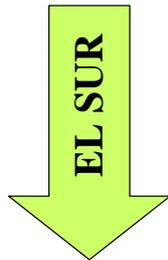
Como la ponencia a desarrollar, trata de los costes de la iluminación, nos centraremos en una descripción visual de los aspectos distorsionantes de la luz, su influencia negativa en el medio, así como el derroche energético que supone

Veamos de forma visual y grafica, la influencia de la iluminación exterior publica a nivel Global y Local.

La explosión del fenómeno del incremento de la iluminación en los últimos, la mala gestión de los recursos naturales, la falsa valoración de la calidad de vida, la teoría de Pareto que se justifica ampliamente con la discriminación Norte Sur, “brilla” de forma evidente en las fotos expuestas a continuación y que no necesitan ningún tipo de comentario.

Contaminación Lumínica en el ámbito Global:

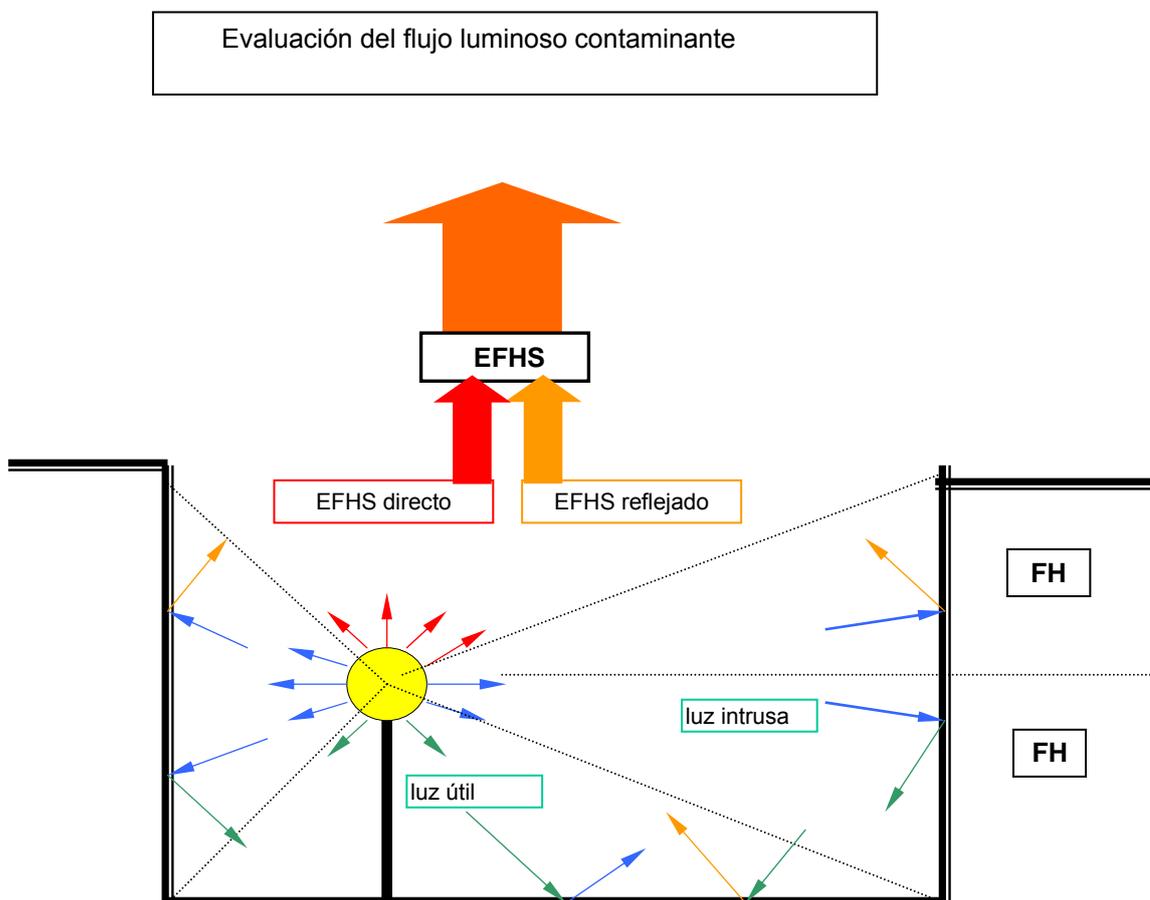
CL



Contaminación Lumínica en el ámbito Local



Valoración y evaluación de los parámetros de la Contaminación Lumínica Local



El flujo total emitido hacia el Hemisferio superior, es la suma del emitido directamente mas el reflejado por las paredes y el suelo

La luz intrusa, es el flujo emitido, por encima de 1,5 metros del suelo y debajo de la horizontal, y que invade espacios privados. Su reflejo también forma parte del flujo contaminante total hacia el HS

El flujo reflejado del suelo hacia el HS, forma parte del flujo total contaminante

El color de la luz, es función del tipo de lámparas (vapor de sodio o de mercurio) que contribuyen de forma distinta, debido a su composición espectral (GRE), a la contaminación según la relación

$$GRE = 0,66 \cdot EFS_{VS} + EFS_{VM}$$

2.2.5. Los costes de inversión.

Los valores actuales de inversión de las instalaciones de alumbrado se suelen simplificar al coste por punto de luz.

Este precio viene conformado por la suma proporcional de todos los costes, zanjas, cimentaciones registros, columnas de mayor o menor de 5 metros, cuadros de control y mando con o sin telegestión, (esta relación no es exhaustiva)

Se consideran básicamente dos situaciones, instalaciones totalmente subterráneas, aéreas con soterramiento de los pasos de calles o totalmente aéreas

Representamos estos costes en forma agrupada en la tabla siguiente

Costes de inversión en instalaciones de alumbrado exterior					
Tipo instalación	Tipo de soporte	Nº Puntos de luz (*)	Tipo de Control	Valor en Euros	Diferencia
Totalmente subterráneas	Columnas de < 5 m	100 puntos de luz	Con telegestión	5.000	2,4 %
	Columnas de > 5 m		Sin telegestión	4.880	
Aéreas con pasos subt.	Brazos 4÷5 m	100 puntos de luz	Con telegestión	2.500	4,8 %
			Sin telegestión	2.380	
Totalmente Aéreas	Brazos 4÷5 m	100 puntos de luz	Con telegestión	1.900	6,3 %
			Sin telegestión	1.780	

(*) Instalación típica de 7 kW con lámparas de 70 W VSAP

2.2.6. El mantenimiento, especificaciones y costes.

El mantenimiento es una de los factores que mejor inciden en la valoración de un buen servicio de alumbrado público

Su efectividad es enormemente positiva ya que en las instalaciones de alumbrado, es factible deducir por sus componentes, la actividad o necesidad, el funcionamiento y los ciclos de vida de sus componentes.

Esta característica, hace muy simple la programación de las tareas del mantenimiento predictivo, por lo que los costes se pueden ajustar con mucha facilidad y concreción a las posibilidades económicas del ayuntamiento

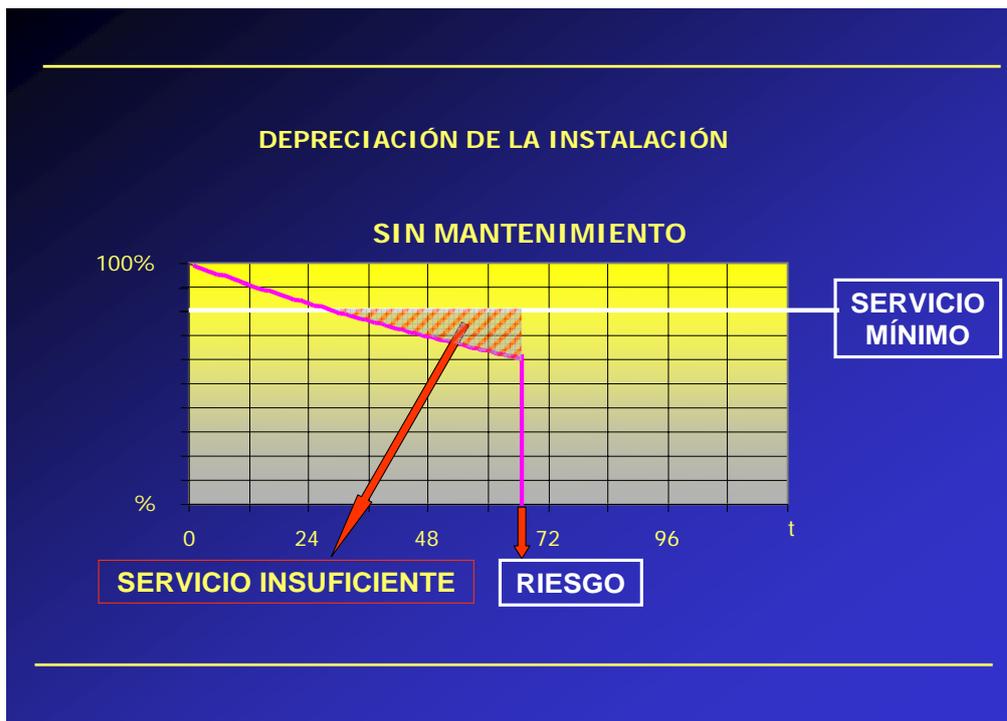
El mantenimiento de forma genérica actúa e incide de forma distinta en las instalaciones:

- Evita incidencias que repercuten en el número de reclamaciones
- Evitan desviaciones que pueden modificar al alza el consumo
- Una instalación mal mantenida

Necesita más potencia eléctrica para dar el mismo nivel de servicio
Puede llegar a disminuir su nivel de iluminación de forma geométrica

- Permite que el consumo se transforme en un servicio útil, no en pérdidas
- Mejora la seguridad y reduce el vandalismo
- Permite evaluar el nivel y la calidad de servicio

Una instalación de alumbrado público sin mantenimiento predictivo a los cinco años de su puesta en marcha, entra en una fase de riesgo técnico



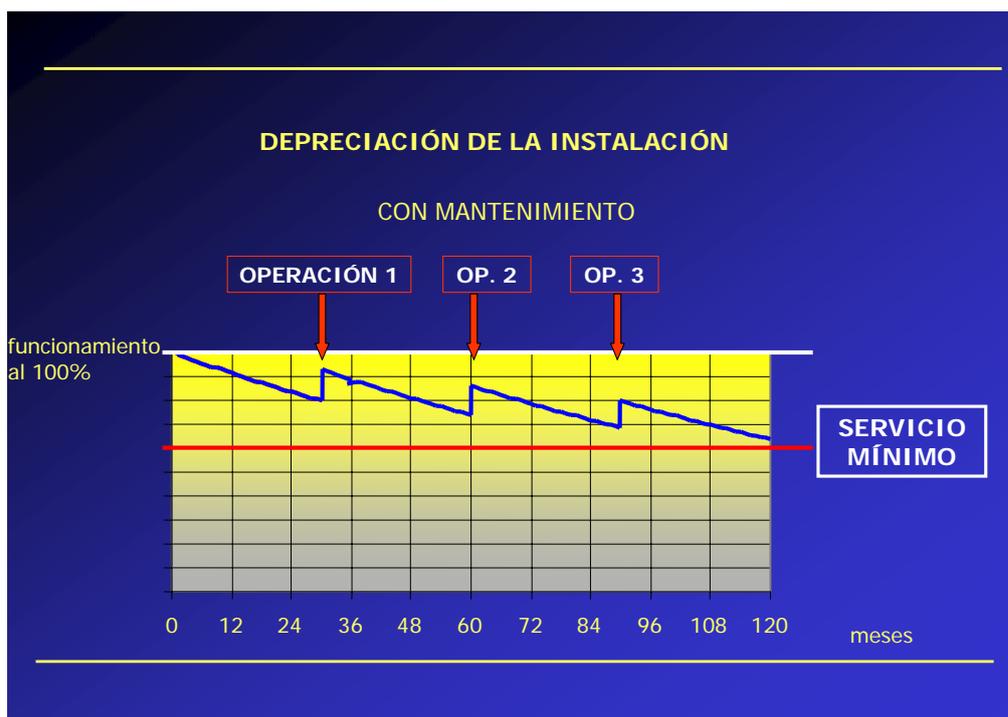
Para programar un mantenimiento coherente de las instalaciones, debemos en primer lugar realizar un análisis del déficit consistente en la comparación entre la situación actual y los objetivos de servicio y valorar los déficits de las instalaciones y los de mantenimiento

Así mismo realizar una planificación de actuaciones consistente en cuantificar de forma global necesidades tales como

- Nueva instalación
- Renovación
- Explotación
- Valoraciones económicas
- Políticas de actuación
- Definición de actuaciones concretas
- Planificación operativa y económica
- Ejecución
- Gestión, control y corrección

Introducir de inmediato, operaciones de mantenimiento predictivo o racional, hasta definir y obtener un conograma para

- Cambio de lámparas
- Limpieza de luminarias
- Rondas nocturnas para comprobar encendidos, averías puntuales, etc
- Limpieza y pintura de soportes
- Revisión de cuadros eléctricos, aspectos mecánicos y eléctricos
- Detección y reparación de averías.



Estas consideraciones, formulan de forma generalista los costos del mantenimiento de las instalaciones.

La mancomunación de servicios entre ayuntamientos, mejora los servicios finales y reduce de forma significativa los costes finales del mantenimiento

La introducción del mantenimiento preventivo y predictivo, incrementa la calidad, pero también los costes finales

El nº de puntos de luz y los metros lineales de iluminación, justifican un incremento de costos

Puntos de luz	Tipo de mantenimiento	Precio por Punto de luz	observaciones
0-100	correctivo	35 €	Mancomunar servicios, supone ahorros entre el 10 y 15 %
	predictivo	50 €	
100-500	correctivo	40 €	
	predictivo	55 €	
500 -1.000	correctivo	45 €	
	predictivo	60 €	
1.000-5.000	correctivo	--- (*)	
	predictivo	65 €	
Mas de 5.000	correctivo	--- (*)	
	predictivo	70 €	

(*) No es operativa ni real esta solución

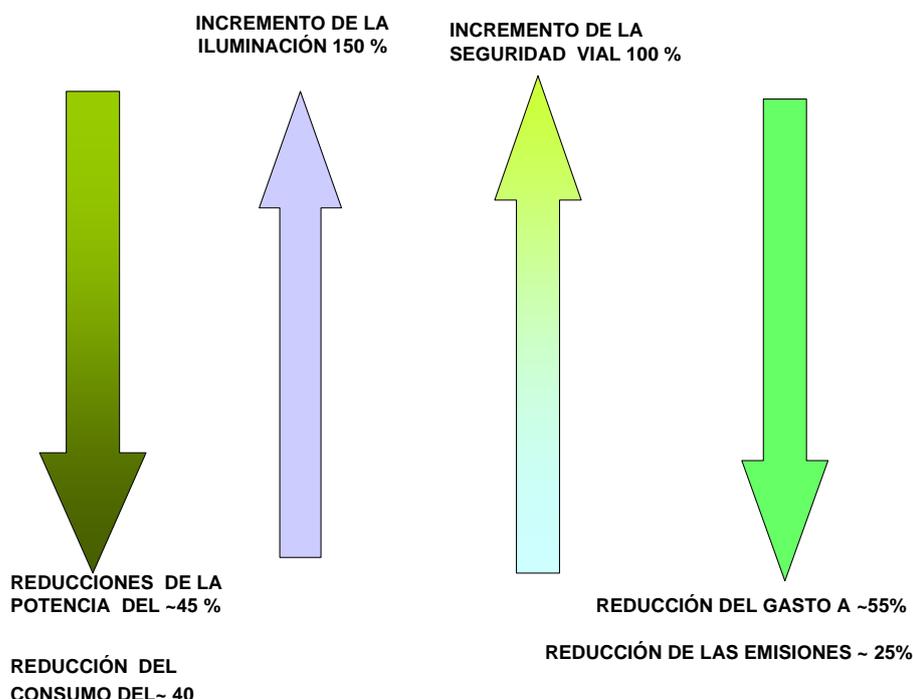
La relación entre costes de inversión, explotación y mantenimiento, siguen la siguiente línea de proporcionalidad y se apuntan los ratios óptimos

	Porcentajes	
	Actuales	Óptimos
Inversión	30	30
Explotación	50	30
Mantenimiento	20	40

2.2.7. Conclusiones sobre los costos de inversión y mantenimiento.

- La aplicación de técnicas eficientes, en los planteamientos iniciales de las instalaciones de alumbrado, suponen un incremento sustancial de la calidad hacia los usuarios, el medio ambiente y la calidad del servicio, pero en ningún caso suponen incrementos significativos de inversión.
- Los porcentajes de inversión de los ayuntamientos, en AE es el correcto, pero se deben prescribir en los pliegos de condiciones, elementos eficientes en todos los apartados susceptibles al respecto. Igualmente no adjudicar nunca las opciones de muy bajo coste (ligeramente por encima de las bajas temerarias) y que acostumbran a ser de baja eficiencia y en consecuencia corta vida de la instalación
- Los costos de explotación se desvían un 20 % al alza, debido a la falta de seguimiento y gestión continuada de las instalaciones. Este apartado, demuestra la necesidad de implantar la figura del gestor energético, para realizar el seguimiento de la energía en todo el ciclo de vida de las instalaciones, esta operación reducirá los costes de explotación en beneficio de los costes de mantenimiento

- Los costes de mantenimiento, siempre están valorados y presupuestados al 50 % de las necesidades reales de las instalaciones.
- Aplicando técnicas eficientes y reformando las instalaciones actuales se puede conseguir con suma facilidad, resultados combinados tales como



2.2.8. Bibliografía.

1. Primera aplicación en España de balastos electrónicos de alta corriente de descarga para alumbrado público en Caldes d'Estrac (Barcelona). Luis Ferrero (ACTECIR), José Tobajas (CEI), IV Congreso Latinoamericano de Ingeniería de la Iluminación. LUX AMERICA 97. 5,6,7 de Noviembre de 1.997. Viña del Mar. VALPARAISO.
2. Analysis of the Harmonic Distorsion of the Public lighting Network. R. San Martín, L. Ferrero.-UPC (ETSEIB- Departament de Projectes d'enginyeria), F. Pop, R. Chindris, J. Stefanescu, UTCN (Universitatea Tehnic_ Cluj-Napoca) Rumania, 8th European Lighting Conference, LUX EUROPA 1.997. 11-14 Maig 1.997 Amsterdam.
3. Modelo empírico para la aproximación al cumplimiento del tratado de kyoto de las instalaciones de alumbrado en Cataluña. Ramon San Martin, Luis Ferrero, I simposium internacional sobre la contaminación lumínica. Barcelona 17-19 de Noviembre de 2004
4. Els costos econòmics i ambientals del servei d'enllumenat públic. Lluís Ferrero i Andreu. <http://www.diba.cat/otc/butlletins/fitxers/butlleti1.pdf> Butlletí Territori i Ciutat, 1. Oficina Tècnica de Cooperació de la Diputació de Barcelona
5. ENLLUMENAT URBA I EFICIENCIA ENERGETICA. Govern de les Illes Balears Conselleria de Comerç, Industria i Energia.
6. PFC, Diagnosis del alumbrado exterior del Municipio de Calaf (Barcelona), Jordina Oller, dirigido por el DPE –UPC, Octubre 2008

2.3. Impacto de las adecuaciones de las instalaciones a la normativa, incidencia tanto en la contaminación lumínica como en la eficiencia de las mismas.

Lluís Gustems i Romeu. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya

2.3.1. La protección del medio ambiente frente a la contaminación luminosa en Cataluña.

Catalunya dispone desde el 2001 de una normativa específica sobre prevención de la contaminación luminosa en las instalaciones de iluminación artificial para proteger el medio ambiente durante la noche: Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno, desarrollada por el Decreto 82/2005, de 3 de mayo, por el cual se aprueba el reglamento de desarrollo de la Ley.

Esta normativa incorpora criterios para avanzar en iluminaciones más sostenibles y permite proteger los entornos naturales de la contaminación luminosa. El parlamento y el gobierno de Catalunya han dado la competencia, la confianza y la responsabilidad de impulsar y promover la aplicación de la normativa ambiental de iluminación al Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Catalunya.

La aplicación de esta normativa en Catalunya disminuye la contaminación luminosa y es una oportunidad también para disminuir el consumo de recursos naturales, aumentar la eficiencia energética y modernizar el sector de la iluminación, aplicando las mejores técnicas disponibles, y minimizar las presiones antropogénicas sobre el medio natural evitando emisiones de radiaciones electromagnéticas y gases de efecto invernadero.

El Departamento tiene el compromiso con la sociedad catalana de impulsar y favorecer la transición hacia un desarrollo sostenible y contribuir a mitigar los efectos del cambio climático. En el ámbito de la iluminación promueve la innovación tecnológica para mejorar los alumbrados e impulsa nuevos planteamientos para facilitar la integración de criterios ambientales teniendo en cuenta las experiencias que han dado buenos resultados a fin de mejorar los proyectos de iluminación en todas sus fases de: concepción, diseño, utilización y percepción ciudadana de la iluminación artificial.

En este trabajo presentamos los resultados obtenidos en tres de las acciones que realiza el Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Catalunya (DMAH) para modernizar la iluminación en nuestro país. Las tres acciones del Departamento que vamos a desarrollar son: mapa de protección del medio ambiente frente a la contaminación luminosa, acciones para efectuar actuaciones de adecuación a la normativa ambiental de iluminación: ayudas económicas a entidades locales y planes municipales de adecuación.

2.3.2. Mapa de la protección del medio ambiente frente a la contaminación luminosa.

El Departamento de Medio Ambiente y Vivienda aprobó el mes de diciembre de 2007 el mapa de la protección del medio frente a la contaminación luminosa de Catalunya. El mapa refleja el grado de protección del territorio de Catalunya, con un nivel de protección máxima del 34,18 %, una protección alta del 60,25 %, una protección moderada del 5,54 % y sólo el 0,02 % con una protección menor.

El Departamento de Medio Ambiente y Vivienda ha elaborado el mapa aplicando los criterios establecidos por la normativa legal vigente ya citada y atendiendo las modificaciones razonadas presentadas por los ayuntamientos a la propuesta de mapa que se comunicó el año 2006.

La zona de protección máxima, E1, comprende el Plan de Espacios de Interés Natural (PEIN), espacios naturales de protección especial, espacios de la Red Natura 2000, el espacio correspondiente al punto de referencia del Observatorio Astronómico del Montsec y además todas aquellos espacios propuestos por ayuntamientos que su sensibilidad les ha llevado a proteger más allá de lo que exige la normativa. La zona aprobada con el grado de protección máxima es de 10.977 km².

La zona de protección alta, E2, comprende los espacios que la planificación urbanística considera como suelo no urbanizable, fuera de la zona de protección máxima, la cual se ve ampliada con los espacios propuestos por los ayuntamientos para una mayor protección. La zona aprobada con el grado de alta protección es de 19.349 km².

La zona de protección moderada, E3, corresponde al suelo urbano o urbanizable aprobado por la planificación urbanística. Si bien, a propuesta de los ayuntamientos, una parte del suelo urbanizable ha sido aprobado con una protección alta y una parte del suelo urbano ha sido aprobado con una protección menor. La zona aprobada con el grado de protección moderado es de 1.780 km².

La zona de protección menor, E4, corresponde a espacios urbanos de uso intensivo durante la noche por la alta movilidad de personas o por su actividad comercial, industrial o de servicios y que los ayuntamientos han propuesto con una protección menor y que el Departamento ha aprobado. La zona aprobada con el grado de protección menor es de 7 km².

El procedimiento para elaborar el mapa de protección frente a la contaminación luminosa ha seguido las siguientes pautas:

1. Durante el primer trimestre de 2006 el DMAH envió a cada uno de los 946 ayuntamientos de Catalunya la propuesta de zonificación de su término municipal en una escala 1:25.000, y se adjuntó una carta con la metodología utilizada en la elaboración de la propuesta de protección frente a la contaminación luminosa y las instrucciones para que los ayuntamientos pudieran proponer modificaciones.
2. El DMAH ha recibido 175 propuestas de modificación de los ayuntamientos, que han dispuesto de un año para proponer dichas modificaciones razonadas a la propuesta del DMAH.
3. Se ha dialogado con la mayoría de ayuntamientos que proponían zona de protección menor, a fin de reducir a casos excepcionales la consideración de este tipo de zona, y poder aplicar un criterio razonable para todo el territorio.
4. El DMAH ha evaluado las 175 alegaciones recibidas, se han informado favorablemente 111 de las alegaciones (63%), parcialmente favorables 33 alegaciones (19 %) y desfavorables 31 alegaciones (18%).

a. Se han aceptado las alegaciones que proponen:

- i. Una mayor protección.

- ii. Cambios de protección debido a una modificación y aprobación del Plan urbanístico.
- iii. Como zona de protección moderada, núcleos poblacionales consolidados.
- iv. Como zona de protección menor, aquellos espacios propuestos por el ayuntamiento y acordados con el DMAH.

b. No se han aceptado las alegaciones que proponen:

- i. Disminuir el nivel de protección.
- ii. Modificación de la zonificación, cuando aún está pendiente de aprobación su Plan Urbanístico
- iii. Núcleos poblacionales sin justificación.
- iv. Zonas de protección menor en espacios cercanos a zonas de protección máxima.

El mapa de la protección del medio frente a la contaminación luminosa en Catalunya es una herramienta muy útil para todos los ciudadanos. El mapa de Catalunya y los 946 mapas municipales son accesibles y consultables a través de la web del DMAH, http://mediambient.gencat.net/cat/el_medi/atmosfera/lluminosa/MapadeproteccionverslacontaminacionluminosaaCatalunya.jsp

El mapa se actualizará cada dos años.

2.3.3. Actuaciones de adecuación de la iluminación exterior a la normativa ambiental.

El Departamento de Medio Ambiente y Vivienda está realizando un esfuerzo importante para promover e incentivar a los ayuntamientos en la adecuación de la iluminación exterior, de acuerdo con la normativa de protección frente a la contaminación luminosa. En este sentido, la Dirección General de Calidad Ambiental, ha destinado más de 6.000.000 € en subvenciones dirigidas a entidades locales para que adecuen la iluminación exterior.

Se ha actuado principalmente en la concesión de ayudas económicas a los entes locales a fin de facilitar la redacción de planes municipales de adecuación y la ejecución de los proyectos de adecuación de iluminación pública.

Durante los años 2006 y 2007, unas 500 entidades locales han solicitado subvención para realizar actuaciones de ordenación ambiental de la iluminación exterior, de las cuales se han podido subvencionar 300 actuaciones (26 corresponden a Consejos Comarcales para la redacción de los planes municipales de adecuación de la iluminación exterior de su comarca y 274 ayuntamientos para la ejecución de los proyectos de adecuación de la iluminación exterior existente, en concreto se ha subvencionado la adquisición de lámparas, pantallas, reguladores horarios y reductores de flujo luminoso.

En marzo de 2008, el Departamento de Medio Ambiente y Vivienda ha publicado la convocatoria de subvenciones para la realización de actuaciones de ordenación ambiental de la iluminación exterior durante el año 2008; ha destinado a esta finalidad 1.200.000 €. El Departamento tiene la voluntad de incrementar, a lo largo de este año, esta cantidad.

Ayudas económicas a entes locales para la redacción de planes municipales de adecuación

Los ayuntamientos de Catalunya han de formular el Plan Municipal de Adecuación de la Iluminación Exterior de su municipio, de acuerdo con las prescripciones de la normativa ambiental de iluminación.

El Departamento ha subvencionado a 26 Consejos Comarcales para que redacten los planes municipales de adecuación de los municipios de su comarca. Estas subvenciones han facilitado la redacción de más de 500 planes municipales, los cuales permitirán proteger adecuadamente el 65% del territorio. Estas subvenciones han permitido que más de la mitad de ayuntamientos del país dispongan del documento técnico que les facilita formular el Plan Municipal de Adecuación.

Ayudas económicas a ayuntamientos para la ejecución de proyectos o actuaciones de adecuación de la iluminación pública

El Departamento de Medio Ambiente y Vivienda puede llegar a financiar hasta la mitad del coste de las actuaciones subvencionables, con un límite de 40.000 € por actuación.

Las subvenciones otorgadas durante los dos últimos años han permitido:

1. Sustituir 35.000 lámparas de mercurio por 35.000 lámparas de vapor de sodio, mucho más eficientes.
2. Sustituir 20.000 pantallas que no cumplían con la normativa, por 20.000 pantallas con un flujo al hemisferio superior instalado inferior al 1%.
3. Instalar 6.000 reductores de flujo luminoso de doble nivel.
4. Instalar 400 reductores del flujo luminoso en cabecera.
5. Instalar 600 reguladores horarios.

En definitiva, ambas administraciones, la autonómica y la local están realizando importantes esfuerzos económicos para prevenir la contaminación luminosa, y con su sensibilidad y compromiso en la prevención de la contaminación luminosa, contribuyen a mitigar los efectos negativos del cambio climático y a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y preservar la biodiversidad.

Las actuaciones subvencionadas en los dos últimos años han proporcionado unos beneficios económicos de 2 millones de euros en el gasto de la factura energética de los ayuntamientos y una disminución en el consumo eléctrico de 30 Gigavatios-hora.

Este ahorro de energía eléctrica puede comportar una disminución del consumo de recursos naturales equivalentes a 3.000 toneladas de petróleo y contribuye a mitigar el cambio climático, evitando la emisión de más de 10.000 toneladas de dióxido de carbono, 500 toneladas de dióxidos de nitrógeno y 200 toneladas de monóxido de carbono.

Los principales beneficios ambientales que aportan estas actuaciones son: la protección de los espacios naturales y los ecosistemas frente a la contaminación luminosa, el derecho de las personas a disfrutar del paisaje celeste y la conservación de los recursos naturales.

2.4. Metodología para realizar los planes de adaptación del alumbrado público a la normativa de contaminación luminosa de Cataluña.

Josep Manel Esteban Campo. Diputación de Barcelona

La luz acompaña al hombre en todas sus actividades, es sinónimo de vida y facilita la comunicación con su entorno inmediato.

El alumbrado artificial durante la noche es uno de los requisitos imprescindibles para la habitabilidad de las zonas urbanas modernas, de las zonas rurales y es también necesario para continuar la actividad productiva, comercial o lúdica de las personas.

No obstante, un diseño o un uso inadecuado de las instalaciones de alumbrado tienen consecuencias perjudiciales para la biodiversidad y el medio ambiente, en la medida que están alterando de una forma desordenada, las condiciones naturales de oscuridad que son propias de las horas nocturnas.

El alumbrado nocturno excesivo o defectuoso constituye una forma de contaminación porque afecta la visión del cielo el cual forma parte del paisaje natural y ha de estar protegido, tanto porque se trata de un patrimonio común de todos los ciudadanos como por la necesidad de facilitar el estudio científico del firmamento.

Un alumbrado nocturno ha de responder a criterios racionales y coherentes ya que tiene una incidencia directa e inmediata en el consumo de las fuentes de energía y hace posible conseguir un notable ahorro energético.

La Ley de Ordenación Ambiental del Alumbrado para la Protección del Medio Nocturno aprobada por el Parlament de Catalunya, divide el territorio en diversas zonas en función de las características de cada una en relación con la claridad luminosa que puede ser admisible, también regula los aspectos relativos a las intensidades de brillo permitidas, al diseño, a la instalación del alumbrado, al régimen estacional y al horario de usos.

En cualquier actuación que se haga sobre el alumbrado público se debe considerar también como factor muy importante la seguridad de las instalaciones para evitar accidentes y daños a las personas, por tanto es fundamental el cumplimiento del REBT (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión).

2.4.1. Plan de adaptación del alumbrado público a la ley de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno.

En Cataluña a partir de la aprobación de la Ley 6/2001, de 31 de Mayo, de Ordenación Ambiental del Alumbrado para la Protección del Medio Nocturno, se inicia un proceso de estudio y definición de las necesidades, condiciones y características de alumbrado público de un municipio para la regulación ambiental de la iluminación en la protección del medio ambiente nocturno, con la finalidad de mantener las condiciones naturales de estas horas en beneficio de las personas, de la fauna, de la flora y de los ecosistemas en general, evitar que la luz artificial no necesaria se introduzca en casas y equipamientos, corregir los efectos perturbadores de la contaminación luminosa en la visión del cielo así como promover la eficiencia energética de la iluminación exterior.

El Decreto 82/2005, de 3 de Mayo, desarrolla el reglamento de la Ley 6/2001, y regula los aspectos relativos a las instalaciones y a los equipos de iluminación exterior e interior en relación a la contaminación luminosa que pueden producir. Este Decreto regula los aspectos referentes a la zonificación de Cataluña según la protección que cada territorio ha de tener frente a la contaminación luminosa. Determina las características de las instalaciones y de los equipos de iluminación en función de las zonas de protección en que están ubicadas, y regula el funcionamiento del alumbrado en los aspectos:

- Estacional.
- Horario.
- Mantenimiento.
- Adecuación de la iluminación existente.

El alumbrado exterior existente, tanto público como privado, deberá cumplir las prescripciones de la Ley 6/2001 y de su Reglamento que la desarrolla no más allá del 31 de Agosto de 2009.

Los planes de alumbrado público no se basaran únicamente en su puesta en servicio. Su concepción debe basarse en consideraciones que incluyan todo el ciclo de vida, desde el periodo inicial de la instalación hasta que se retira y elimina, así como los efectos contaminantes que pueda tener sobre el medio ambiente. También se debe cumplir el REBT (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión) para proteger a las personas, las instalaciones y evitar accidentes.

Desde la punto de vista energético, las instalaciones de alumbrado deben ser muy eficientes para evitar el consumo de la energía que no sea necesaria y contribuir a la lucha contra el cambio climático, reduciendo al mínimo imprescindible la emisión de gases de efecto invernadero a la atmosfera.

2.4.2. Objetivos que se proponen en el Plan de Adaptación.

Para la aplicación de la Ley de Ordenación Ambiental del Alumbrado para la Protección del Medio Nocturno i el reglamento que la desarrolla, el territorio se ha de dividir en zonas, en función de la vulnerabilidad a la contaminación lumínica.

El Plan definirá para cada uno de los tipos de zona específicos en que se considere dividido el municipio, los niveles y las calidades de la iluminación a instalar.

El objetivo es la identificación de todas aquellas zonas en las que los parámetros luminotécnicos superen los límites establecidos en la normativa actual de protección del territorio en relación a la contaminación luminosa y de los niveles correctos de iluminación.

La visualización de la situación actual de un municipio, se realiza a partir de la elaboración de un Mapa de Flujo del Hemisferio Superior donde se representan las zonas con contaminación luminosa, juntamente con un Mapa de Luminosidad en el que se clasifican las distintas zonas según su nivel de Lux provenientes del alumbrado público.

El estudio incluye una visión de conjunto del estado actual del alumbrado público del municipio, a partir del inventario detallado de todos los puntos de luz y de los cuadros

correspondientes a cada línea, así como el diagnóstico de cumplimiento de los indicadores de Eficiencia en Alumbrado Público.

Finalmente se realizan una serie de propuestas de mejora para el cumplimiento de la Normativa de la Contaminación Lumínica y el R.E.B.T. así como otras propuestas de ahorro y eficiencia energética. El seguimiento de estas propuestas permitirá al municipio:

- Eliminar la contaminación luminosa.
- Mejorar la eficiencia en la iluminación.
- Conseguir un ahorro energético y económico con la reducción del consumo de energía.
- Disminuir la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEH) asociada a la producción de energía eléctrica.
- Tener un alumbrado con todas las garantías de seguridad

2.4.3. Calidad del servicio.

La calidad del servicio está definida tanto por los niveles y calidad de la iluminación instalada como por el correcto funcionamiento y operación del servicio. Esta calidad de iluminación no es función solamente de la cantidad de iluminación sino que depende del adecuado equilibrio entre diversos factores que enumeramos a continuación. Es necesario incorporar el concepto de “calidad de iluminación” frente al utilizado hasta ahora de “cantidad de iluminación”.

2.4.3.1. Nivel medio de iluminancia

Se denomina iluminancia la intensidad luminosa que una superficie refleja desde el punto de vista del observador. Viene determinada por:

- La iluminación recibida por la superficie.
- La posición relativa entre: punto de luz – zona iluminada – observador.
- Las características de reflexión de la superficie.

2.4.3.2. Nivel medio de iluminación

Se denomina nivel de iluminación a la densidad de flujo lumínico incidente en un área determinada.

Este nivel de iluminación ha de hacer referencia a los valores mantenidos en servicio, es decir a los valores que se obtienen durante la vida de servicio, teniendo en cuenta aspectos de depreciación y mantenimiento.

2.4.3.3. Uniformidad

Indica la distribución de los valores puntuales de iluminación en el conjunto de la escena visual.

La correcta uniformidad en la iluminación urbana, nos permitirá una agradable sensación de confort y evitará la creación de zonas oscuras, en las cuales se hace difícil apreciar detalles de interés o riesgo, además de producir fatiga.

2.4.3.4. Color

Las características de color de la luz se basan en tres conceptos:

- Tono: Color básico de la luz. En alumbrado urbano aparecen dos alternativas: amarillo y blanco.
- Reproducción: Fidelidad con la que la luz utilizada reproduce el color de los objetos, tomando como referencia unas determinadas condiciones de luz natural. Se expresa mediante un índice de reproducción de color y el valor máximo se obtiene de las fuentes incandescentes.
- Temperatura: Apreciación de la cualidad de calor o frío psicológica del alumbrado:
 - Calida para tonos amarillos, alrededor de 3.000 K.
 - Fría, Tonos blancos similares a luz solar, entre 5.000 y 6.000 K.
 - Neutra para tonalidades intermedias, cercanas a los 4.000 K.

2.4.3.5. Limitación del deslumbramiento

Esta limitación pretende evitar o disminuir las molestias que ocasionan las intensidades de luz superiores a la media y que inciden directamente al observador.

2.4.3.6. Contaminación luminosa

Se entiende por contaminación luminosa la emisión de flujo luminoso hacia zonas o direcciones que no corresponden a las áreas que se han de iluminar, se tiene en cuenta especialmente el flujo luminoso en dirección al cielo.

2.4.4. Descripción de la metodología que se propone.

En la metodología que se propone las actuaciones que se han de realizar para obtener los objetivos marcados, son:

- Diagnóstico de la situación inicial.
- Análisis de los puntos de luz para adecuarlos a los requerimientos de contaminación lumínica.
- Plan de acción.
- Valoración económica de la adecuación.

2.4.4.1. Diagnóstico de la situación inicial.

2.4.4.1.1. Inventario de las instalaciones

En el alumbrado público, para realizar un buen diagnóstico del estado en que tenemos las instalaciones, es necesario disponer de un inventario de instalaciones que recoja y ordene los datos relativos al alumbrado existente.

La realización y el mantenimiento de un inventario de alumbrado público no es fácil ya que:

- Existe una gran dispersión geográfica de los elementos a inventariar.
- Los elementos son bastante complejos.
- Suele haber una gran variedad de tipologías diferenciadas.
- La evolución es altamente dinámica, con frecuentes cambios de ubicación, crecimientos, incidencias, etc.

A pesar que el inventario es básicamente cuantitativo, es decir que indica el número de elementos existentes, es recomendable ampliarlo con datos cualitativos relativos al estado y adecuación de estos elementos y con datos operativos relativos a su funcionamiento como horas de servicio, incidencias, consumo energético, etc.

El punto clave del inventario es su actualización permanente para evitar que en un corto periodo de tiempo quede obsoleto. Todo planteamiento de inventario ha de prever el proceso de actualización de forma continua.

2.4.4.1.2. Cuadros de maniobra del alumbrado

El cuadro de maniobra constituye una unidad muy adecuada para establecer la ordenación y la clasificación del inventario de puntos de luz.

El cuadro de maniobra es el primer elemento que ha de recoger el inventario de instalaciones. La información registrada puede ser la siguiente:

- Situación. Numeración. Codificación.
- Datos técnicos y constructivos: Tipo de armario, modalidad de construcción, sistemas integrados, componentes...
- Datos de contratación: Compañía suministradora, número de póliza, tarifa contratada, modalidad de discriminación...
- Maniobra: sistemas de encendido, régimen horario...
- Estado cualitativo de conservación.

Ejemplo de cuadros eléctricos de un estudio realizado en un municipio de Barcelona

Codi	Adreça	Pòlissa	Pot Contr [kW]	Tarifa	Consum [kWh]	Cost [€]	nº punts llum	Sistema d'Encesa	Regul. de Flujo
EP01	E.P. ALFONS I	13515887	30	3.0.2	94.460	9.428	236	rellotge programable	no
EP02	E.P. C. BARCELONA	13525518	10	203DH	38.557	3.228	51	cèl·lula fotoelèctrica	no
EP03	E.P. C. SANT ANTONI	13520429	10	203DH	36.675	3.012	76	cèl·lula fotoelèctrica	no
EP04	E.P. CAN MIRET	12495956	25	3.0.2	110.303	9.913	96	rellotge astronòmic	no
EP05	E.P. CAN SAULEDA	12117570	12	3.0.1	22.246	3.038	36	cèl·lula fotoelèctrica	no
EP06	E.P. CAN SAULEDA	12703635	10	203DH	50.445	4.113	113	cèl·lula fotoelèctrica	no

Codi	Adreça	Pòlissa	Pot Contr [kW]	Tarifa	Consum [kWh]	Cost [€]	nº punts llum	Sistema d'Encesa	Regul. de Flujo
EP07	E.P. CAN VILA	11750747	12	3.0.1	37.241	3.319	51	cèl·lula fotoelèctrica	no
EP08	E.P. CASAS y AMIGÓ	13745253	8	203DH	15.550	1.378	30	cèl·lula fotoelèctrica	no
EP09	E.P. CTRA. C-251	405424803	8	203DH	21.442	1.788	31	rellotge astronòmic	Regulador capçalera
EP10	E.P. E. GRANADOS	12342408	5,196	203DH	25.681	2.130	40	cèl·lula fotoelèctrica	no
EP11	E.P. GIRONA	14074006	8	203DH	49.681	4.148	80	cèl·lula fotoelèctrica	Regulador capçalera
EP12	E.P. P-3.2	403765669	12,50	301DH	21.083	2.013	36	cèl·lula fotoelèctrica	Regulador capçalera
EP13	E.P. SANT JAUME	401791747	8	203DH	16.719	1.463	23	rellotge astronòmic	Regulador capçalera
EP15	E.P. UA-16	432865341	3,464	202DH	1.062	263	30	rellotge programable	no

Tabla 1. Inventario de cuadros de alumbrado. (Valores año 2007)

2.4.4.1.3. Puntos de luz

Se realizará una ficha individualizada para cada punto de luz existente con la información siguiente:

- Situación. Numeración. Codificación (es conveniente que el código esté relacionado con el cuadro de maniobra).
- Componentes:
 - Soporte: Tipo, dimensiones, material.
 - Luminaria: Tipo, modelo, características, fotografía
 - Lámparas: Tipo y potencia.
 - Situación del equipo auxiliar.
 - Anchura de la calle.
 - Distancia entre puntos de luz.
 - Tipo de instalación interior.
 - Tipo de alimentación eléctrica
- Historial: Fecha de instalación, mantenimiento preventivo, averías, estadísticas de servicio.
- Análisis para determinar si la luminaria emite más flujo al hemisferio superior que el autorizado por el Reglamento de la Ley de Contaminación Lumínica, lo cual comportará su sustitución.

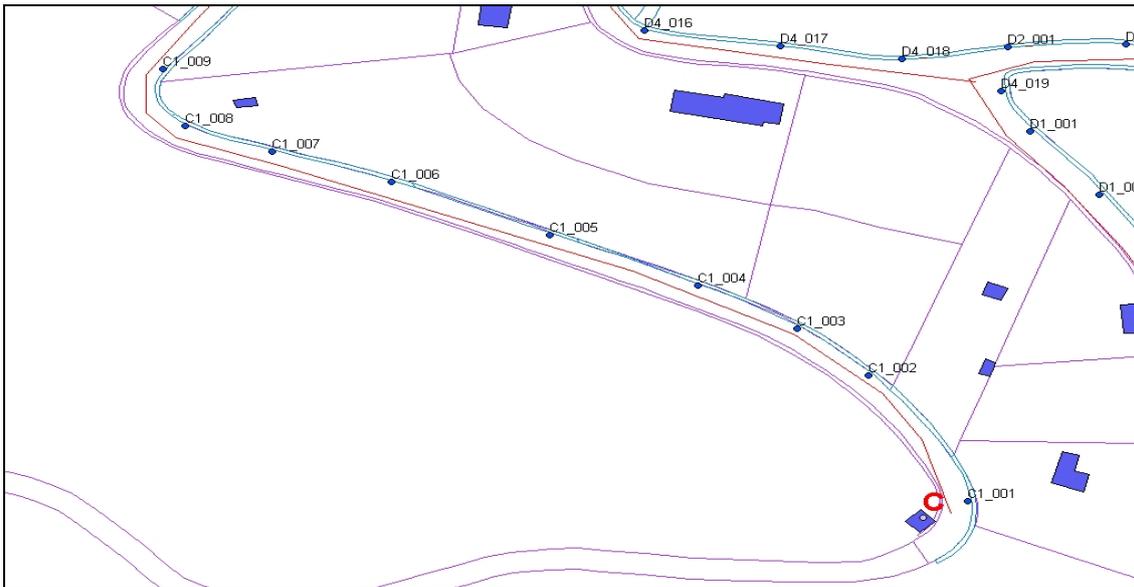


Figura 1. Ejemplo de plano en el que se aprecia ve el cuadro C1 y los puntos de luz que dependen de el.

2.4.4.1.4. Sistemas de encendido

Se analiza el sistema de encendido utilizado por los cuadros en el municipio.

Básicamente encontramos células fotoeléctricas, relojes astronómicos y en menor cantidad relojes mecánicos programables. El sistema óptimo son los relojes astronómicos.

2.4.4.1.5. Sistemas de regulación de flujo

Son sistemas de ahorro de energía por regulación de flujo, es decir, sistemas de disminución de la potencia de las lámparas durante parte de la noche. Esta reducción de potencia se realiza mediante reguladores de flujo en cabecera de distintos modelos.

2.4.4.1.6. Inventario de prestaciones y condiciones de servicio

También es útil completar el inventario de las instalaciones con datos relativos al servicio y prestaciones. El tipo de información que es necesario registrar puede ser:

- Niveles de iluminación
- Horas de servicio.
- Consumo de energía
- Operaciones de mantenimiento

2.4.4.1.7. Listados, resúmenes y estadísticas

La información del inventario, además de su formato individual por elemento inventariado debe ser objeto de un tratamiento que permita agrupar los datos de interés por:

- Acometida.
- Zona, sector o calle.

Tipología.

Estos listados, además de su utilidad para el conocimiento de las instalaciones, permiten la elaboración de gráficos y estadísticas que mostrarán:

- La composición del parque de alumbrado.
- La distribución zonal o por tipologías.
- La evolución en el tiempo.
- Datos económicos, de consumo o prestación...

2.4.4.1.8. Indicadores de eficiencia

Los indicadores de eficiencia energética que se presentan, han estado elaborados por el Institut Català d'Energia (ICAEN) y son una referencia para identificar el estado energético de los cuadros de alumbrado y priorizar las medidas.

Es fundamental que los datos utilizados para el cálculo de los indicadores sean lo más reales posibles, de todos es conocida la dificultad de obtener la cantidad de energía utilizada en el alumbrado público, ya como base se utilizan las facturas mensuales de las compañías eléctricas y presentan algunas deficiencias. En algunos municipios las facturas de energía eléctrica se transfieren automáticamente vía internet lo cual facilita mucho el trabajo y su veracidad.

Para facilitar la comprensión de los indicadores, se ha utilizado un Plan de Adaptación del Alumbrado Público a la Normativa de Contaminación Luminosa que se realizó en el año 2007 en un municipio de Catalunya. Debido a los cambios que se han producido en las tarifas eléctricas, modificadas posteriormente a la realización del estudio, es posible que algún dato no sea vigente.

PC / PTI. Relación entre la Potencia Contratada y la Potencia Total Instalada

Este indicador da la relación entre la Potencia Contratada y la Potencia Total Instalada.

Los valores deberían oscilar entre 1,2 y 1,8.

A continuación se muestra una tabla con los resultados de unas líneas de alumbrado eléctrico de un municipio.

El ratio medio del municipio estudiado es de 1,72 y se encuentra dentro de los límites establecidos.

Pese a tener tres cuadros eléctricos con unos valores muy superiores al límite óptimo superior, quedan compensados por el resto que tienen unos valores muy favorables con relación a los recomendados.

¡Error! Vínculo no válido.

Figura 2 Gráfico de barras Indicador PC/PTI

A continuación se muestra la clasificación según este criterio.

CODI quadre	Adreça	Pòlissa	PC/PTI	Valoració PC/PTI
EP01	E.P. ALFONS I	13515887	1,01	Baix

CODI quadre	Adreça	Pòlissa	PC/PTI	Valoració PC/PTI
EP02	E.P. C. BARCELONA	13525518	1,18	Baix
EP03	E.P. C. SANT ANTONI	13520429	0,90	Baix
EP04	E.P. CAN MIRET	12495956	0,92	Baix
EP05	E.P. CAN SAULEDA	12117570	1,74	Bo
EP06	E.P. CAN SAULEDA	12703635	0,74	Baix
EP07	E.P. CAN VILA	11750747	1,65	Bo
EP08	E.P. CASAS y AMIGÓ	13745253	2,32	Alt
EP09	E.P. CTRA. C-251	405424803	1,50	Bo
EP10	E.P. E. GRANADOS	12342408	1,13	Baix
EP11	E.P. GIRONA	14074006	0,60	Molt Baix
EP12	E.P. P-3.2	403765669	2,01	Alt
EP13	E.P. SANT JAIME	401791747	3,02	Molt Alt
EP15	E.P. UA-16	432865341	1,18	Baix
EP16	E.P. UA-21	430951934	4,52	Molt Alt
EP17	EP. P-5	427095456	3,11	Molt Alt

En los cuadros donde el ratio PC/PTI es superior a 1,8 sería necesario revisar la potencia contratada y disminuirla ya que las pólizas incluyen el termino de potencia y eso encarece la factura.

En los cuadros con valores inferiores a 1,2 se debería aumentar la potencia contratada o revisar la instalación. Siempre que sea posible se recomienda la redistribución de algunas líneas en aquellos cuadros que están menos cargados.

Los cuadros más grandes correspondían a nueva construcción, de manera que es posible que se hubieran sobredimensionado previendo un aumento de la potencia instalada.

Los cuadros con valor bajo, deben ser tenidos en cuenta, ya que si se opta por una facturación con modo de Maxímetro las penalizaciones pueden ser muy elevadas.

CONSUMO / PTI. Relación entre el Consumo anual y la Potencia Total Instalada

Este índice indica las horas teóricas de funcionamiento de la instalación entre 4.000 y 4.3000 horas para una instalación a pleno régimen y entre 2.900 y 3.200 horas en aquellos cuadros que tienen instalado un sistema de disminución de flujo entre el 50% y el 60% a partir de media noche.

¡Error! Vínculo no válido.

Figura 3. Gráfico de barras Indicador Consumo / PTI

La media se encuentra por debajo de la recomendada con un valor de 4.207 h equivalentes. Hay 3 cuadros de alumbrado con unas horas equivalentes de uso que están encima de las previstas. El listado de cuadros con un valor superior o inferior al recomendado se muestra a continuación.

CODI quadre	Adreça	Pòlissa	Consum/PTI	Regulador	Sistema d'Encesa	Valoració Consum/PTI
EP01	E.P. ALFONS I	13515887	3.189	no	rellotge programable	Baix
EP02	E.P. C. BARCELONA	13525518	4.531	no	cèl·lula fotoelèctrica	Alt
EP03	E.P. C. SANT ANTONI	13520429	3.301	no	cèl·lula fotoelèctrica	Baix
EP04	E.P. CAN MIRET	12495956	4.060	no	rellotge astronòmic	Bo
EP05	E.P. CAN SAULEDA	12117570	3.224	no	cèl·lula fotoelèctrica	Baix
EP06	E.P. CAN SAULEDA	12703635	3.743	no	cèl·lula fotoelèctrica	Baix
EP07	E.P. CAN VILA	11750747	5.120	no	cèl·lula fotoelèctrica	Molt Alt
EP08	E.P. CASAS y AMIGÓ	13745253	4.507	no	cèl·lula fotoelèctrica	Alt
EP09	E.P. CTRA. C-251	405424803	4.010	Regulador en capçelera	rellotge astronòmic	Alt
EP10	E.P. E. GRANADOS	12342408	5.583	no	cèl·lula fotoelèctrica	Molt Alt
EP11	E.P. GIRONA	14074006	3.708	Regulador en capçelera	cèl·lula fotoelèctrica	Alt
EP12	E.P. P-3.2	403765669	3.395	Regulador en capçelera	cèl·lula fotoelèctrica	Alt
EP13	E.P. SANT JAUME	401791747	6.321	Regulador en capçelera	rellotge astronòmic	Molt Alt
EP15	E.P. UA-16	432865341		no	rellotge programable	-
EP16	E.P. UA-21	430951934		Regulador en capçelera	rellotge astronòmic	-
EP17	EP. P-5	427095456		no	rellotge astronòmic	-

Tabla 3. Indicadores consumo / PTI

Los cuadros marcados con el criterio “**Molt Alt**” deberían ser revisados rigurosamente en sus sistemas de encendido y apagado y en los sistemas de regulación de flujo. Se trata de cuadros en los que posiblemente el sistema d'encendido no funciona correctamente, o bien los equipos auxiliares están envejecidos y tienen muchas pérdidas, o el regulador de flujo no funciona correctamente.

En los cuadros marcados con criterio “**Alt**” se ha de revisar el encendido, que probablemente se encuentra envejecido, a pesar que el problema puede considerarse menor. En los cuadros con criterio “**Bo**” el número de horas se encuentra ligeramente por

debajo del recomendado, por tanto solamente se debe revisar que el encendido sea correcto y que no esté tardando demasiado en el mismo.

En los cuadros marcados con “Baix” se debe revisar la potencia instalada, debido a que el ratio es demasiado bajo, o el sistema de encendido no funciona y las horas de encendido son incorrectas, o han habido periodos muy prolongados en que no ha funcionado la instalación de alumbrado durante el tiempo en que se ha realizado el estudio.

COSTE / CONSUMO. Relaciona el coste con el Consumo

El ratio entre el coste (en céntimos d'€) y el Consumo anual nos proporciona el precio medio del kW-h durante el período del 2006 ya que los datos que se tenían disponibles correspondían a ese año. Un valor correcto de este parámetro oscilaría entre 6,6 y 7,3 céntimos d'€/kWh aproximadamente.

¡Error! Vínculo no válido.

Figura 4. Gráfico de barras Indicador coste / Consumo

La media del municipio es de 9,11céntimos de €/kWh, bastante superior al valor recomendado. Así y todo, hay que tener en cuenta que los valores de referencia propuestos por el ICAEN ya se encuentran obsoletos al haberse realizado una modificación del sistema de tarificación durante el año 2007. También hay un factor que influye y es que la potencia contratada también es elevada tal como se ha observado en la gráfica de PC/PTI. Los cuadros con mayor relación de coste/consumo son:

CODI quadre	Adreça	Pòlissa	Cost/consum [cent €/kWh]	Valoració Cost/Consum
EP01	E.P. ALFONS I	13515887	9,981	Alt
EP02	E.P. C. BARCELONA	13525518	8,372	Alt
EP03	E.P. C. SANT ANTONI	13520429	8,214	Alt
EP04	E.P. CAN MIRET	12495956	8,987	Alt
EP05	E.P. CAN SAULEDA	12117570	13,659	Molt Alt
EP06	E.P. CAN SAULEDA	12703635	8,155	Alt
EP07	E.P. CAN VILA	11750747	8,913	Alt
EP08	E.P. CASAS y AMIGÓ	13745253	8,868	Alt
EP09	E.P. CTRA. C-251	405424803	8,341	Alt
EP10	E.P. E. GRANADOS	12342408	8,296	Alt
EP11	E.P. GIRONA	14074006	8,350	Alt
EP12	E.P. P-3.2	403765669	9,550	Alt
EP13	E.P. SANT JAUME	401791747	8,751	Alt
EP15	E.P. UA-16	432865341		-

CODI quadre	Adreça	Pòlissa	Cost/consum [cent €/kWh]	Valoració Cost/Consum
EP16	E.P. UA-21	430951934		-
EP17	EP. P-5	427095456		-

Tabla 4. Indicador coste / Consumo

Los suministros se pueden optimizar desde muchos aspectos que hay que analizar detenidamente, como serian la tarifa, la potencia contratada o el factor de potencia. Se puede observar como en el municipio no hay ningún cuadro que entre dentro de las recomendaciones de coste por potencia.

COSTE / PIL. Relaciona el coste y la potencia instalada de lámparas

La relación entre el coste anual y la Potencia Instalada en Lámparas nos da una visión preliminar del estado del suministro. Se consideran aceptables los valores situados por debajo de 360 €/kW.

¡Error! Vínculo no válido.

Figura 5. Gráfico de barras Indicador coste / PIL

Tal como se observa, la media del municipio se encuentra 435 €/kW, muy por encima del valor recomendado. La clasificación de los cuadros a partir de este criterio se muestra a continuación:

CODI quadre	Adreça	Pòlissa	Cost/PIL	Valoració COST/PIL
EP01	E.P. ALFONS I	13515887	366	Bo
EP02	E.P. C. BARCELONA	13525518	436	Alt
EP03	E.P. C. SANT ANTONI	13520429	312	Baix
EP04	E.P. CAN MIRET	12495956	420	Bo
EP05	E.P. CAN SAULEDA	12117570	506	Alt
EP06	E.P. CAN SAULEDA	12703635	351	Baix
EP07	E.P. CAN VILA	11750747	525	Alt
EP08	E.P. CASAS y AMIGÓ	13745253	460	Alt
EP09	E.P. CTRA. C-251	405424803	385	Bo
EP10	E.P. E. GRANADOS	12342408	533	Alt
EP11	E.P. GIRONA	14074006	356	Baix
EP12	E.P. P-3.2	403765669	373	Bo
EP13	E.P. SANT JAUME	401791747	636	Molt Alt
EP15	E.P. UA-16	432865341		-
EP16	E.P. UA-21	430951934		-
EP17	EP. P-5	427095456		-

Tabla 5. Indicador Coste / PIL

Solamente hay tres cuadros que puedan considerarse aceptables. Aun así se destaca el cuadro con indicador considerado “**Molt Alt**”, ya que dobla el coste recomendado. Actualmente, con la desaparición de la tarifa B.0 se ha realizado la nueva contratación de tarifas, la recomendación de compañía es la instalación de máxímetros, pero por el momento se están renovando de distintas maneras. Hay que esperar la resolución de la compañía en relación a la lectura de los máxímetros el nuevo funcionamiento.

CONCLUSIONES DE LOS INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

A continuación se muestra una tabla que combina la valoración de cada uno de los criterios.

CODI Quadre	Adreça	Pòlissa	Valoració COST/PIL	Valoració Consum/PTI	Valoració Cost/Consum	Valoració PC/PTI	Prioritat revisió
EP01	E.P. ALFONS I	13515887	Baix	Baix	Alt	Bo	
EP02	E.P. C. BARCELONA	13525518	Baix	Alt	Alt	Alt	
EP03	E.P. C. SANT ANTONI	13520429	Baix	Baix	Alt	Baix	
EP04	E.P. CAN MIRET	12495956	Baix	Bo	Alt	Bo	
EP05	E.P. CAN SAULEDA	12117570	Bo	Baix	Molt Alt	Alt	**
EP06	E.P. CAN SAULEDA	12703635	Baix	Baix	Alt	Baix	
EP07	E.P. CAN VILA	11750747	Bo	Molt Alt	Alt	Alt	**
EP08	E.P. CASAS y AMIGÓ	13745253	Alt	Alt	Alt	Alt	
EP09	E.P. CTRA. C-251	405424803	Bo	Alt	Alt	Bo	
EP10	E.P. E. GRANADOS	12342408	Baix	Molt Alt	Alt	Alt	**
EP11	E.P. GIRONA	14074006	Molt Baix	Alt	Alt	Baix	**
EP12	E.P. P-3.2	403765669	Alt	Alt	Alt	Bo	
EP13	E.P. SANT JAUME	401791747	Molt Alt	Molt Alt	Alt	Molt Alt	***
EP15	E.P. UA-16	432865341	Baix	-	-	-	
EP16	E.P. UA-21	430951934	Molt Alt	-	-	-	*
EP17	EP. P-5	427095456	Molt Alt	-	-	-	*

Tabla 6. Conclusiones Indicadores d'Eficiència en Cuadros de Alumbrado

Se resaltan como cuadros en peores condiciones de eficiencia:

CODI	Direcció	Pòlissa
EP13	E.P. SANT JAUME	401791747

Tabla 7. Cuadros con prioridad de revisión MUY ALTA

CODI	Direcció	Pòlissa
EP05	E.P. CAN SAULEDA	12117570
EP07	E.P. CAN VILA	11750747
EP10	E.P. E. GRANADOS	12342408
EP11	E.P. GIRONA	14074006

Tabla 8. Cuadros con prioridad de revisión ALTA

La revisión del resto de cuadros, de los sistemas de Regulación de Flujo y de Relojes de encendido y apagado se deberá realizar por las empresas responsables del mantenimiento, se les hará llegar la relación de indicadores para que revisen en cada uno de los casos las posibles causas del funcionamiento defectuoso.

2.4.4.1.9. Seguridad

Durante el proceso de revisión de los cuadros de alumbrado, se ha de elaborar una ficha en la que se resalta el cumplimiento de las exigencias básicas del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT, REAL DECRETO 842/2002). Entre ellas destacan el correcto aislamiento del cuadro de alumbrado y el estado de las protecciones magnetotérmicas y diferenciales.

Quadre	Carer				Número pòlissa	
EP12	E.P. P-3.2				403765669	
ENVOLVENT		PROTECCIONS			COMPTADORS	
Tipus	acer inox	IGA [A]	25	nº Sèrie	2127319	
Estat Conservació	correcte	ICP [A]	-	Activa	X	
IP55	correcte	LINES	3	Reactiva	X	
Tancaments	correcte	NOM	DIF [A/mA]	Magnet. [A]	Estat	Discr. Horaria X
Doble envoltent	si					Maxímetre X
Alçada (min 0,3m)	correcte		40/300	16		Digital X
Derivació a Terra	correcte		40/300	16		ZIV 5CTD-E1C-061402UA
Presa de Corrent	si		40/300	16		Escomesa III+N 380V
Llum	si					P. Contr. [kW] 12,5
By-pass encesa	si					Tarifa 301DH
By-pass Reg. Flux	no					
Espai disponible:		Sistema d'encesa	cèl·lula fotoelèctrica		CONDICIONS DE SEGURETAT	
exterior	si -	Regulació de Flux	Regulador en capçelera		CORRECTE	
interior	si -	Telegestió	no			
OBSERVACIONS:						
No s'ha identificat un commutador de by-pass del regulador flux, però sí que hio ha proteccions tèrmica i diferencial per apagar-lo. No es pot accedir al regulador per comprovar el model.						

A continuación se destacan aquellos, que más allá de sus condiciones de eficiencia energética, pueden representar riesgos para la población, debido en la mayor parte de los casos, a que no disponen o tienen pondeadas las protecciones diferenciales.

Se recomienda que la seguridad sea una de las prioridades dentro de los procesos de adaptación del alumbrado público a la normativa de Contaminación Luminosa, ya que promover la seguridad es fundamental.

ESTAT	CODI	ADREÇA	PÒLISSA
MOLT DEFICIENT	EP07	E.P. CAN VILA	11750747
DEFICIENT	EP05	E.P. CAN SAULEDA	12117570
	EP06	E.P. CAN SAULEDA	12703635
	EP10	E.P. E. GRANADOS	12342408
NECESSITA MILLORES	EP01	E.P. ALFONS I	13515887
	EP02	E.P. C. BARCELONA	13525518
	EP03	E.P. C. SANT ANTONI	13520429
	EP04	E.P. CAN MIRET	12495956
	EP11	E.P. GIRONA	14074006
	EP13	E.P. SANT JAUME	401791747

Tabla 9. Estado de los cuadros de alumbrado

2.4.5. Líneas luminotécnicas

Para hacer el análisis luminotécnico del municipio, se realiza una clasificación según características luminotécnicas, agrupando en una misma línea aquellas calles que, siendo del mismo cuadro de alumbrado, tienen las mismas características de Puntos de Luz:

- lámpara,
- potencia,
- luminaria,
- soporte,
- altura
- Interdistancia.

Estas características hacen que su nivel de iluminación, que es función de los Lúmenes, el Fu (Factor de Utilización) y la Depreciación por el área iluminada (anchura x interdistancia) sea el mismo. También podemos asegurar que para una línea luminotécnica hay un mismo nivel de FHS. (Flujo Hemisferio Superior)

2.4.5.1. Clasificación de las zonas y vías.

De acuerdo con la Normativa Luminotécnica vigente en Catalunya, en el municipio se deben distinguir distintos tipos de zonas y vías teniendo en cuenta sus características luminotécnicas. Eso determina una clasificación según el grado de contaminación luminosa permitido y otra en la que se define el nivel de iluminación que se quiere conseguir.

2.4.5.1.1. Nivel de FHS

La división del territorio en zonas de restricción de contaminación luminosa se ha de establecer por vía reglamentaria y se ha de ajustar a la zonificación siguiente:

- **Zona E1:** Áreas incluidas en el Plan de espacios de interés natural o en ámbitos territoriales que deban ser objeto de una protección especial, por razón de sus características naturales o de su valor astronómico especial, en las cuales solamente se puede admitir una brillantez mínima.
- **Zona E2:** Áreas incluidas en ámbitos territoriales que solamente admiten una brillantez reducida.
- **Zona E3:** Áreas incluidas en ámbitos territoriales que admiten una brillantez mediana.
- **Zona E4:** Áreas incluidas en ámbitos territoriales que admiten una brillantez alta.
- **Punts de referència:** Puntos próximos a las áreas de valor astronómico o natural especial incluidas en la zona E1, para cada uno de los cuales se debe establecer una regulación específica en función de la distancia en que se encuentre el área en cuestión..

Classificació de Zones	FHS màx (%)
E ₁	0%
E ₂	≤5%
E ₃	≤15%
E ₄	≤25%

Tabla 10. Clasificación de Zonas Lumínicas

La Direcció General de Qualitat Ambiental de la Generalitat de Catalunya, propone una primera clasificación al Ayuntamiento para ser aceptada. Esta clasificación podrá ser modificada en función de los criterios del Ayuntamiento, siempre y cuando se pase a una restricción de FHS mayor. La parte urbanizada del municipio se encuentra clasificada en Zona E3 y el resto de zonas están clasificadas como Zona E2.

2.4.5.1.2. Nivel de LUX

El nivel de Lux, se clasifica según el tránsito de vehículos en cada zona. Esta clasificación consensuada con el Ayuntamiento marcará el grado de intervención en las propuestas realizadas en el Plan de Adaptación del alumbrado público.

La tabla de referencia fijada por la Ley 6/2001 es la siguiente:

Tipus	Il·luminació en zona de vehicles [Lux]	Il·luminació en zona de vianants* [Lux]
Trànsit elevat	35	20
Trànsit moderat	25	10
Trànsit baix	15	6
Trànsit escàs	10	5

Tabla 11. Il·luminació en zones de vehicles y de vianants

El Ayuntamiento determina las zonas en función del tránsito. El equipo que realiza el Plan se pondrá en contacto con el personal técnico del Ayuntamiento y determinaran las zonas en función del tránsito.

2.4.6. Análisis de resultados.

2.4.6.1. Iluminación media

2.4.6.1.1. Cálculo de emisiones (LUX)

Se realiza el cálculo teórico de la iluminación media, Em en Lux, de cada una de las líneas luminotécnicas del municipio. Este cálculo se realiza según fórmula:

$$Em = \frac{Fu \times Fd \times Flux}{h \times I}$$

Fu – Factor de Utilización. (en función de la h de lámpara y la anchura de la calle. Fuente: IDAE-CEI)

Fd – Factor de Depreciación. (bibliografía CEI y clasificación según inventario realizado – validándolo con las medidas reales)

Flujo – Flujo luminoso en Lumens. Tablas del IAC. Instituto de Astrofísica de Canarias [lm]

Hh – Altura de la lámpara [m]

I – Interdistancia [m]

2.4.6.1.2. Medidas empíricas

Los datos obtenidos por el sistema de cálculo anterior se han de validar mediante las Medidas Reales de Lux. Se utiliza un aparato con luxómetro y un software de tratamiento de datos.

El luxómetro es fija a una altura de 1,60 m sobre el capó de un coche, y las medidas de Lux se realizan desde la zona intermedia de la calzada. La medida se inicia justo antes del punto de luz y se avanza sin superar una velocidad de 10km/h hasta el siguiente punto de luz. La medida se repetirá entre dos o tres puntos de luz distintos, procurando no medir en aquellos puntos donde la vegetación o las señales de tránsito puedan obstaculizar el paso de la luz.

Una vez obtenidos los datos en pantalla, se realiza el cálculo de la iluminación media entre todos los valores de la muestra, y después se grafía la evolución de Lux y la media obtenida.

Los datos empíricos se han de contrastar con los obtenidos mediante los cálculos para calibrar el factor de depreciación y afinar los resultados finales.

2.4.6.1.3. Cálculo del índice de deslumbramiento

Para determinar el índice de deslumbramiento de las calles se realiza el cálculo con una herramienta de simulación a partir de los datos de altura de la luminaria y del tipo lámpara instalada. También en las visitas a campo se destacan aquellos puntos en los que se detecte deslumbramiento.

2.4.6.1.4. Cálculo de la iluminación intrusa

Tras haber realizado consultas en la “ l’Oficina de Prevenció de la Contaminació Llumínosa de la Generalitat de Catalunya” y en la bibliografía del CEI, no se ha obtenido una forma fiable de cálculo de la iluminación intrusa. Se puede recomendar estudiar aquellos puntos de las calles en los que hay alguna queja vecinal, o que el Ayuntamiento tenga detectado un deslumbramiento dentro de las viviendas. Juntamente con el cálculo del índice de deslumbramiento se valorará con la empresa que realiza el mantenimiento la posibilidad de instalar pantallas protectoras en aquellos puntos.

2.4.6.1.5. Mapas de LUX

Según la clasificación de Zonas viarias realizadas según el apartado 5.1.2, se remarcan aquellas calles en que se detecta un exceso de Lux.

Las zonas con exceso significativo de Lux y que por tanto requieren una intervención, se pueden destacar con un círculo de color azul o de otro color.

2.4.6.2 Contaminación luminosa

2.4.6.2.1. Metodología

No existe una metodología aplicable para la medida empírica de FHS (Flujo Hemisferio Superior) en los puntos de luz. Los porcentajes de FHS se obtienen en pruebas de laboratorio realizadas por los fabricantes de luminarias.

Así, aquellas luminarias que se disponen en catálogo con el FHS se utilizará el índice de catálogo. En los modelos obsoletos, de los cuales no hay medidas, se realizará una asimilación a lámparas de las que sí se dispone de datos, de esta forma se clasificará el FHS de cada una de las líneas luminotécnicas.

2.4.6.2.2. Mapas de FHS

A continuación se realizan los mapas de emisión de FHS para al municipio. Primero se observa una visión de los niveles de emisión de FHS en todo el municipio y después se detallan todas las zonas.

2.4.6.3. Propuestas de mejora

A continuación se presentaran las propuestas que se realizaran para adecuar el Municipio al Plan de adaptación a la Normativa de Contaminación Luminosa. Estas propuestas se tendrán que consensuar con el equipo técnico municipal y formaran parte del Plan d'Acció.

Les principales propuestas que se suelen presentar son:

- Sustitución de lámparas de VM por VSAP
- Cambios en Luminarias
- Encendido por relojes astronómicos
- Reducción de potencia
- Reguladores de Flujo

Cada propuesta va acompañada de:

- Una descripción técnica de la medida
- Una evaluación energética
- Un análisis económico

2.4.6.3.1. Sustitución de lámparas de VM por lámparas VSAP

2.4.6.3.1.1. Descripción técnica

Las lámparas de VSAP se caracterizan por tener un rendimiento (lm/W) superior a las de VM. En consecuencia, para un mismo nivel de iluminación conseguimos un ahorro de potencia. Además la vida útil de les lámparas de Sodio es superior al de las de Mercurio, refiriéndonos como vida útil, al tiempo medio en horas que tarda en disminuir su intensidad luminosa en un 20%, momento en el que se deberían sustituir por nuevas lámparas.

Para la realización del cambio de lámparas también se deben tener en cuenta los equipos auxiliares. Las lámparas de VM utilizan un balasto y un condensador. En el caso de las lámparas de VSAP se debe añadir también el uso de otro elemento auxiliar, el arrancador. Por tanto para cambiar la lámpara se deberá cambiar también el equipo auxiliar.

2.4.6.3.1.2. Evaluación Energética

Mediante el inventario realizado, se han identificado las lámparas de VM existentes. Se propone sustituir las lámparas de VM de potencias pequeñas, como las de 125 W, dejando la valoración de lámparas con mayor potencia a consideración del Ayuntamiento, ya que se trata de proyectores de iluminación ornamental o de zonas deportivas.

Los cambios propuestos son los que recomiendan los fabricantes de lámparas, las lámparas de VM de 125 W pueden ser sustituidas por VSAP de 70 W o VSAP de 100W. En los casos en los que el soporte tenga una altura inferior a 4 metros, se recomienda que se utilicen lámparas de VSAP de 70 W, y en el resto de casos se sustituirán por VSAP de 100 W. Las lámparas de VM de 80 W serán sustituidas por VSAP de 70 W.

A partir de esta propuesta y con los datos que se obtengan durante el análisis de los cuadros de alumbrado que determinaran el número de lámparas a sustituir, se calculará el ahorro energético anual que se puede conseguir en cada cuadro. Este estudio nos ayudará a priorizar los trabajos.

2.4.6.3.1.3. Análisis económico

Con los datos reales de coste/kWh calculados en el análisis de los cuadros de alumbrado se puede obtener el ahorro económico que se generará con la sustitución de las lámparas de VM por las de VSAP. Así por ejemplo:

Suponemos un municipio en el que estudiamos tres cuadros con las características de la tabla siguiente:

QUADRO	SITUACIÓN	Potencia Actual [kW]	nº lámparas VM125W a VSAP 70W	nº lámparas VM125W a VSAP100W	Régimen de Funcionamiento [h/any]	Coste/Consumo [cent €/kWh]	Ahorro Anual [€/any]
EP01	E.P. ALFONS I	29,62	2	19	3.189	9,98	186,19
EP04	E.P. CN MIRET	27,17	3	0	4.060	8,99	60,20
EP07	E.P. CAN VILA	7,27	49	0	5.120	8,91	1.229,83
TOTALS			54	19			1.476,23

Tabla 12. Ahorro económico conseguido con el cambio de lámparas

A partir de una hipótesis de Vida Útil de las lámparas de VSAP de 3 años, y de sus equipos auxiliares de 12 años, se calcula el coste de la instalación de las nuevas

lámparas, teniendo en cuenta la reposición que se debería hacer de las lámparas de VM sustituidas durante todo el periodo de estudio.

Considerando que en la instalación no hay lámparas de VM de 80 W, el coste de las lámparas sería:

Lámpara	Precio Unitario [€]	nº lámparas	Total [€]
VM 80 W	8	0	0
VM 125 W	8	73	584
TOTAL			584

Tabla 2. Coste de las lámparas de VM (año 2007)

Làmpada	Preu Unitari [€]	nº làmpades	Total [€]
VSAP 70 W	26	54	1.404
VSAP 100 W	28	19	532
TOTAL			1.936

Tabla 34. Coste de las lámparas de VSAP (año 2007)

Por tanto, la inversión en lámparas durante su periodo de vida útil es la diferencia entre el coste de las de VSAP y el coste de las de VM que se hubieran comprado para hacer la reposición de lámparas durante el periodo de vida útil que se está calculando, el total es de 1.352 €.

El coste medio del equipo balasto-condensador-arrancador es de unos 60 €, este coste referido a la vida útil de la lámpara es de 20€ (triple de vida útil, se reparte el coste entre 3), para un total de 73 lámparas a sustituir significaría: 1.460 €.

Asumiendo un coste de mano de obra de 22 € por la sustitución de la lámpara y el equipo auxiliar, el coste total de sustitución es de 1.606 €

Así pues, podemos encontrar el coste total de la inversión referida a la vida útil de la lámpara por la sustitución de les 73 lámparas de VM con potencia inferior a 250 W. existentes en el municipio:

Element	Cost Total [€]
Làmpades	1.352
Equips	1.460
Instal·lació	1.606
TOTAL	4.418

Tabla 45. Coste de la inversión

El periodo de recuperación de la inversión es de:

$$\frac{4.418\text{€}}{1.476,23\text{€/any}} = 2,99 \text{ años; } 36 \text{ meses}$$

En el resto de propuestas haríamos un análisis similar siempre que sea posible.

2.4.6.3.2. Cambios de luminarias

2.4.6.3.2.1. Descripción técnica

Las luminarias que con mas prioridad se deben modificar, son aquellas que nos provocan un elevado Índice de FHS, también se deben tener en cuenta aquellas que se encuentran obsoletas o con un Factor de depreciación elevado.

Las situaciones más frecuentes que nos vamos a encontrar son las siguientes:

- Sustituir Globos sin reflector por otros con cobertura.
- Modificar ópticas o sustituirlas por otras luminarias
- Sustituir Proyectoras por otros asimétricos o corregir inclinación
- Sustituir las típicas Cazoletas por luminarias nuevas

2.4.6.3.2.2. Evaluación Energética

El ahorro energético que se puede obtener con el cambio de luminarias no es directo.

Hay que tener en cuenta que con el cambio con luminarias de cualidad y con una correcta proyección del eje luminoso, el Flujo lumínico es mejor, y así se puede disminuir la potencia de las lámparas.

La energía que no se pierde en contaminación luminosa es energía aprovechada y por tanto también representa un ahorro.

Así mismo, se ha de destacar que con el cambio de las cazoletas y sustitución por luminarias con una IP de protección elevada, la vida útil de la lámpara también se alarga.

2.4.6.3.2.3. Análisis económico

Este análisis se realizará una vez se concrete el plan d'acció y los modelos de luminaria.

Económicamente puede resultar interesante iniciar un criterio de **COMPRA EFICIENTE**, es decir, que las reposiciones de luminarias se realicen únicamente con modelos que cumplan la normativa, de esta manera se puede ir corrigiendo la situación de manera escalonada.

2.4.6.4.4. Encendido por reloj astronómico.

2.4.6.3.3.1. Descripción técnica

Los relojes astronómicos efectúan la conexión y desconexión general del alumbrado en función del horario de la puesta y salida del sol, adaptándose a cada longitud y latitud dependiendo de la ubicación del municipio.

Estos instrumentos normalmente disponen de un circuito adicional programable, totalmente independiente, para poder efectuar apagados o encendidos parciales, o bien reducciones de consumo.

A diferencia de los Relojes Programables o Interruptores Horarios, los Relojes Astronómicos no necesitan un mantenimiento para modificar las horas de encendido y apagada a medida que el horario solar se modifica a lo largo de todo el año.

En el municipio que nos ha servido de ejemplo en la sustitución de las lámparas de VM por lámparas VSAP, tan solo 5 cuadros disponen de un sistema de encendido mediante Reloj Astronómico. El resto de cuadros utilizan el sistema de célula fotoeléctrica, donde el impulso de maniobra es emitido en función de la iluminación ambiental, con lo cual se adapta a las variaciones estacionales y meteorológicas, pero con el grave inconveniente de una cierta depreciación debido a la acumulación de polvo o al crecimiento de vegetación que provoca avances en el encendido y retardos en el apagado.

En aquellos cuadros en los que se instalen nuevos relojes astronómicos, se deberá tener en cuenta la incorporación de sistemas de telegestión. La telegestión permite realizar las siguientes operaciones:

- Programación de encendido y apagado mediante SMS o GPRS
- Medidas continuadas del funcionamiento de cada una de las líneas. Sistema de alarmas.
- Monitorage y validación del funcionamiento de los sistemas de reducción de Flujo
- Supervisión del aislamiento de la instalación
- Enviado de alarmas y consulta del estado del cuadro por SMS
- Control de las protecciones. Gestión y telereset de diferenciales rearmables
- Auditorias energéticas permanentes y supervisión de los contadores d'energia
- Supervisión del estado de la instalación mediante acceso on-line.

La propuesta de incorporar Relojes Astronómicos se prioriza en función de las horas equivalentes de uso obtenidas en el estudio del Indicador Consumo/ PTI.

2.4.6.3.3.2. Evaluación Energética

Una primera priorización es realizar según aquellos cuadros que han estado funcionando durante más horas (indicador Consumo/PTI Muy Elevado) siguiendo después por los cuadros con mayor consumo y por tanto, una mejor regulación supondrá más ahorro.

Con la incorporación de un reloj astronómico en los cuadros que no disponen se garantiza una reducción del periodo de encendido/apagado del alumbrado al menos 30 minutos diarios de media (183 horas/año). En los cuadros en los que ya hay instalado un regulador de Flujo, es recomendable instalar relojes astronómicos que incorporen Telegestión.

Los cuadros marcados con un * se encuentran con condiciones deficientes de seguridad y que sería necesario que fueran remodelados íntegramente con la correspondiente instalación del control de encendido por reloj astronómico.

codi	Adreça	Consum [kWh]	CONSUM /PTI	PROPOSTA	Estalvi [kWh]
EP08	E.P. CASAS y AMIGÓ	15.550	4.507	Relotge Astronòmic	622
EP15	E.P. UA-16	1.062	362	Relotge Astronòmic	42
EP06	E.P. CAN SAULEDA	50.445	3.743	Relotge Astronòmic	2.018

EP06	E.P. CAN SAULEDA	50.445	3.743	Rellotge Astronòmic	2.018
EP01	E.P. ALFONS I	94.460	3.189	Rellotge Astronòmic	3.778
EP11	E.P. GIRONA	49.681	3.708	RA + Telegestió	1.987
EP12	E.P. P-3.2	21.083	3.395	RA + Telegestió	843
EP07*	E.P. CAN VILA	37.241	5.120	Rellotge Astronòmic	1.490
EP10*	E.P. E. GRANADOS	25.681	5.583	Rellotge Astronòmic	1.027
EP02*	E.P. C. BARCELONA	38.557	4.531	Rellotge Astronòmic	1.542
EP05*	E.P. CAN SAULEDA	22.246	3.224	Rellotge Astronòmic	890
TOTAL					16.258

Tabla 56. Ahorro energético con la instalación de Relojes Astronómicos

El ahorro de energía anual es de 16.258 kWh/año que equivalen a 1,40 TEP/año (Toneladas Equivalentes de Petroleoi)

El ahorro conseguido será en función de en que cuadros se empiecen a instalar y a partir de qué momento se haga, un criterio es realizar las instalaciones a medida que se inicien los trabajos de reparación de los cuadros.

2.4.6.3.3.3, Análisis Económico

El coste de inversión en relojes es en función del modelo escogido. En caso de no necesitar gran detalle en la programación (p. ej. los días de fiestas mayores, o de celebraciones, en los que queremos más horas de alumbrado,..) se pueden instalar Relojes Astronómicos simples. Se deberá tener en cuenta el coste de la instalación, pero si se realiza durante los trabajos de mantenimiento, irá incluida en el servicio.

El cálculo se realiza con la misma metodología que antes, aplicando el precio kWh obtenido en el análisis de los cuadros.

codi	Adreça	Cost [€]	Cost/Consum [cent €/kWh]	Cost unitari RELLOTG ASTRONOMI C [€]	Estalvi [€]
EP08	E.P. CASAS y AMIGÓ	1.378,90	8,87	139	55
EP15	E.P. UA-16	263,10	9,11 (mitjana preu)	139	4
EP06	E.P. CAN SAULEDA	4.113,75	8,15	139	165
EP06	E.P. CAN SAULEDA	4.113,75	8,15	139	165
EP01	E.P. ALFONS I	9.428,22	9,98	139	377

EP11	E.P. GIRONA	4.148,24	8,35	1.200	166
EP12	E.P. P-3.2	2.013,51	9,55	1.200	81
EP07*	E.P. CAN VILA	3.319,29	8,91	139	133
EP10*	E.P. E. GRANADOS	2.130,37	8,30	139	85
EP02*	E.P. BARCELONA C.	3.228,15	8,37	139	129
EP05*	E.P. CAN SAULEDA	3.038,52	13,66	139	122
				3.651	1.480

Tabla 67. Ahorro económico por la instalación de Relojes Astronómicos

El coste de la medida es bajo y fácilmente amortizable. Se debe tener en cuenta que se ha escogido una versión de contrato más económica para los sistemas de Telegestión.

El periodo de recuperación de la inversión es de:

$$\frac{3.651\text{€}}{1.480\text{€/any}} = \mathbf{2,46 \text{ años; 29 meses}}$$

2.4.6.4. Plan de Acción.

El Plan de Acción se puede concretar según este orden de prioridades que coinciden con el orden en el que se han presentado las propuestas:

1. SUSTITUCIÓN DE LÁMPARAS DE VM PER VSAP
2. CAMBIOS EN LUMINARIAS
3. ENCENDIDO POR RELOJ ASTRONÓMICO
4. REDUCCIÓN DE POTENCIA
5. REGULADORES DE FLUJO

La repercusión sobre el coste de la explotación se realizará a partir de la priorización de medidas que haya definido el equipo técnico municipal, y es variable en función de los costes que determine la empresa de mantenimiento para la adquisición y la instalación de los equipos.

El Plan de Acción se habrá de decidir aplicando el criterio de priorizar el conjunto de medidas contra la contaminación luminosa, substituyendo la iluminación excesiva causada por las lámparas de VM en primer lugar para después pasar a eliminar el Flujo de emisión al Hemisferio Superior en una segunda etapa. Posteriormente se realizaran una serie de medidas de eficiencia energética y gestión del alumbrado.

En relación al calendario de actuaciones, la propuesta sería realizarlas en dos o tres años, de todas formas se habrá de estudiar para cada caso.

2.4.6.5. Sistema de seguimiento de la implantación del Plan de Adaptación.

De acuerdo con los Órganos de Gobierno y los Servicios Técnicos del Ayuntamiento, el equipo redactor del Plan y con las conversaciones mantenidas con la empresa de

mantenimiento, a continuación se muestran los dos protocolos que se consideran necesarios:

2.4.6.5.1 Control de Lecturas Reales

Con el control de lecturas reales se pretende poder controlar el consumo real de los equipos municipales para poder llevar una gestión energética eficaz.

Mediante este control se realizarán acciones en aquellas pólizas en donde la diferencia entre el consumo facturado y el consumo real sea superior al 10%. Así mismo, se deberán confeccionar las gráficas de consumo facturado como las de consumo real, de manera que se podrá analizar mucho más exhaustivamente la evolución de consumos y sus causas, sin tener que padecer los errores y estimaciones de la compañía distribuidora.

2.4.6.5.2. Actualización del inventario

Una vez al año como mínimo, o cuando se realicen cambios significativos, la empresa de mantenimiento suministrará unos mapas d'Autocad, así como el listado de las modificaciones que se hayan realizado en el inventario. Se consideran cambios de inventario aquellos cambios en los que se sustituye un elemento por otro diferente, no se consideran los cambios de mantenimiento por reparaciones sobre el mismo elemento.

2.4.6.5.3. Actualización de los indicadores de eficiencia

A partir de los datos obtenidos estacionalmente, se realizará un seguimiento y actualización de los indicadores de Eficiencia analizados. Así mismo también se actualizarán los mapas lumínicos (LUX y FHS) a medida que se inician las actuaciones para evaluar el cumplimiento de la normativa sobre contaminación luminosa.

Se realizará un seguimiento de los niveles lumínicos y consumos para analizar la repercusión de las medidas aplicadas.

2.4.6.5.4. Seguimiento del Plan de Acción propuesto para la completa adaptación a la Normativa.

A partir de las medidas propuestas en el Plan de Adecuación a la Normativa de Contaminación Luminosa elaborado por el municipio, se realizará un seguimiento del proceso de implantación, respetando las prioridades definidas conjuntamente con el equipo técnico del Ayuntamiento y la empresa que realiza el mantenimiento, por tal de conseguir la adaptación completa a la Normativa.

La empresa que realiza el mantenimiento, se supone que es especialista en alumbrado, revisará los proyectos técnicos, dará apoyo para la elaboración de los Pliegos de Condiciones que sean necesarios para modificar el alumbrado, también realizará un asesoramiento en la compra de nuevos equipos, así como trabajos de ayuda en la cuantificación y ubicación de los elementos sobre los que hay que incidir.

Bibliografia

- Auditoria energètica i Enllumenat públic. Colecció Manuals del Server de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. Redactat per S.E.A.E. S.A. sota la direcció del Ramon San Martín Paramo. Any 1985
- Guia per a l'elaboració de plans directors d'enllumenat públic. Colecció Espai Públic Urbà, Àrea de Cooperació de la Diputació de Barcelona. Autor: Ramon San Martín Paramo. Any 2001.
- Pla Director d'Enllumenat Públic. Curs organitzat per la Federació de Municipis de Catalunya amb la col·laboració de l'Associació Electrotècnica Espanyola. Any 2002.
- Auditories energètiques i Plans d'Adequació a la Llei 6/2001, de 31 de maig, d'Ordenació Ambiental de l'Enllumenat per a la protecció del Medi Nocturn, realitzades en diferents municipis de la província de Barcelona per la Gerència de Serveis de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona.
- Catálogos de distintos fabricantes de lámparas y luminarias para alumbrado.

2.5. El plan de adecuación del alumbrado público de Barcelona para la protección del medio nocturno.

Josep M^a Berenguers i Palau. Cap del Departament d'Enllumenat i Energia. Ajuntament de Barcelona

2.5.1. La Ley y el Reglamento que la regula

El Parlamento de Catalunya aprobó en fecha del 31 de Mayo del 2001 la Ley 6/2001 de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno, y el 3 de Mayo del 2005 el Reglamento que la desarrolla mediante el Decreto 82/2005.

Tanto la Ley como el Reglamento obligan a los ayuntamientos a la adecuación de los alumbrados públicos, tanto los de tipo viario como los de las actividades comercial, deportiva y recreativa. También la iluminación suntuaria de monumentos y entornos de valor estético y artístico.

El Plan que se expone está referido a las instalaciones de alumbrado viario

2.5.2. Plazos

Mapa de zonas de protección. A acordar con Generalitat de Catalunya antes 30 de noviembre de 2007.

Presentación Plan Adecuación del alumbrado Antes de 31 de diciembre de 2007.

Adecuación del alumbrado antes del 31 de agosto de 2009

2.5.3. Premisas para elaborar el Plan de Adecuación

El Plan de Adecuación es uno de los tres bloques de actuaciones a realizar para la completa puesta al día de las instalaciones de alumbrado de la ciudad, complementando al Plan de Renovación y al Plan de Soterramiento de instalaciones aéreas.

Para elaborar el Plan hay que conocer los parámetros de referencia para adecuar el alumbrado. O sea donde estamos y a donde hay que llegar.

Dichos parámetros están contenidos en la Ley y el Reglamento, y básicamente son función de la **zonificación del territorio** y de los **usos prioritarios de las vías públicas**

2.5.4. Parámetros función de la zonificación Tabla comparativa entre zonas E2, E3 y E4

Tipos de lámparas permitidas

El porcentaje de FHS emitido por la luminària

La luminància media de fachadas y monumentos

El límite de luminancia de ventanas, aparadores, etc

Los valores de iluminancia vertical en les fachadas de edificios a partir de los 4,50 m. de altura.

El limite de luminancia de rótulos (cd/m²)

2.5.5. Parámetros función del tipo y uso de la via (No quedan afectados por la zonificación)

El nivel lumínico de diseño.

El tipo de lámpara (el vapor de mercurio queda excluido).

2.5.6. Ordenanza: Nivel lumínico de la red viaria (iluminancia media máxima)

Tabla 6. Iluminación media máxima en zonas destinadas a tránsito de vehículos i/o al paso de peatones, expresado en lux. Las instalaciones dispondrán de sistema de regulación del flujo luminoso.

	Calzada	Acera
Tránsito elevado	35	20
Tránsito moderado	25	10
Tránsito bajo	15	6
Tránsito escaso	10	5

En base a estos parámetros se ha establecido el mapa de niveles lumínicos de la red viaria, tal como se muestra a continuación

2.5.7. Plan de Adecuación de las instalaciones para minimizar la contaminación lumínica

- El Plan contiene:
 - El análisis de la iluminación exterior por zonas de protección a la contaminación luminosa del municipio.
 - Las actuaciones priorizadas.
 - El calendario de ejecución de la adaptación.
- Propuesta de priorización, según los criterios de la Disposición Transitoria Segunda de la Llei 6/2001:
 - Los usos del alumbrado.
 - La clasificación de la zona en que se emplaza el alumbrado.
 - Los perjuicios que causa el alumbrado en el medio o para la ciudadanía.
 - La magnitud de las reformas que haya que realizar.
 - La eficiencia energética del alumbrado.
 - Los costes económicos de la adaptación.

2.5.8. Líneas de trabajo que contiene el Plan de Adecuación

- 1 Sustitución de las lámparas de VM por VSAP o HM
 - 2 Renovación/modificación de luminarias con FHS fuera de normativa
 - 3 Adecuación de las instalaciones para reducir la intrusión lumínica
 - Sustitución de luminarias o implantación de paralúmenes
 - Reorientación de proyectores
 - Modificación de la instalación con otro tipo de implantación
 - 4 Adecuación de los niveles lumínicos de funcionamiento
 - Actuaciones a realizar prioritariamente en contrata de conservación
 - 5 Implantación de reguladores de flujo
 - Solo previsto en cuadros de gran potencia o en arterias importantes
- Por último y como actuación más completa y que comprendía todas las demás
- 6 Renovación total de las instalaciones para cumplir con normativa en materia de seguridad

2.5.9. Soluciones lumínicas. Criterios de elección de luminarias

- Donde exista luminarias de tipo clásico se mantiene la tipología, adecuada a normativa mediante la incorporación de grupo óptico o lamas de control.
- Las instalaciones con bolas se transforman en:
 - En parques, luminarias con distribución simétrica (p.e. bolas no contaminantes)
 - En calles, luminarias con distribución asimétrica
- En una calle tipología rambla se usan luminarias con grupo óptico y gran rendimiento o sin grupo óptico y control del FHS mediante lamas? La iluminancia vertical es un factor a priorizar
- En todo caso la potencia instalada se reduce en función de la fuente de luz existente, en:
 - De VM a VSAP o HM red del 60%-75%
 - De VSAP a VSAP o HM, del 30% al 50%
- Las luminarias tipo cilindro lumínico, hay que transformarlas mediante lamas con la consiguiente pérdida de rendimiento o hay que implantar una nueva fuente lumínica?

2.5.10. Color de la luz (tipo de lámpara)

En todo momento, se plantea una duda: ¿Qué espacio han de ocupar la luz blanca de halogenuros metálicos?

Según la legislación catalana su espacio es mínimo, y una interpretación maximalista puede conducir a una negación de la luz blanca.

Dentro de Barcelona su espacio se circunscribe a todo el casco antiguo dentro del distrito de Ciutat Vella y a las ramblas y vías peatonales más emblemáticas en el resto de la ciudad. Los parques y jardines urbanos se iluminan, ahora, con lámparas de VSAP

Y otra gran cuestión se plantea con los LEDs que en el momento de redactar el Plan no estaban todavía en fase comercial, pero que a lo largo del desarrollo del Plan, entre finales del 2008 y 2011 van a irrumpir con fuerza en el universo lumínico viario.

2.5.11. ¿Dónde se sitúa el LED en este momento?

¿En qué punto está esta tecnología, cuál será el momento de su entrada masiva, cuál será el espacio que quedará por las fuentes de luz de descarga?.

Para dar respuesta a estas cuestiones el Departamento de Alumbrado del Ayuntamiento de Barcelona, con la colaboración de la ingeniería FLUXUS, ha preparado un INFORME TÉCNICO sobre la VIABILIDAD DE USO DEL LED EN ALUMBRADO PÚBLICO.

En solo dos años hemos pasado de no pensar en absoluto en el LED para alumbrado exterior, a considerarlo una opción de interés. Pero en los próximos dos años el cambio será mucho mayor, estamos en plena irrupción del fenómeno.

2.5.12. Situación del mercado de iluminación pública con LEDS

En el 2008 ya se obtienen instalaciones optimizadas, a causa de la mejora de rendimiento de los leds de alta potencia, y sus buenas características de temperatura de color y rendimiento cromático.

Actualidad, mayo de 2008: Algunos grandes fabricantes ofrecen como novedad luminarias con leds para alumbrado exterior, pero todavía disponen de muy pocos datos fiables de las mismas.

Periodo de transición 2008-2009: El 50% de los fabricantes entrará en este mercado. Los años 2010-2012 serán de consolidación: Se calcula que el 80% de los fabricantes ofrecerá una solución propia.

2012: Los expertos del sector vaticinan que el LED se impondrá como una solución muy viable en la mayoría de instalaciones a nivel mundial, a causa de sus buenas prestaciones y su precio más ajustado. El mercado del "lighting led" será el que experimentará mayor crecimiento entre los semiconductores.

2.5.13. La intrusión lumínica

La intrusión lumínica ha pasado a ser uno de los factores mas destacados en la percepción de la contaminación por parte de los usuarios. En parte se explica por el hecho de que la luz que va hacia el cielo no se percibe como molestia. En cambio la que entra por la ventana si lo es.

¿Como se corrige la intrusión?:

Redireccionando los puntos de luz, especialmente en el caso de proyectores

Aplicando paralumenes o apantallamiento en las luminarias existentes.

Sustituyendo la luminaria por otro modelo con ópticas específicamente diseñadas

Modificando la implantación de los puntos de luz

Se presentan pruebas para corregir intrusión lumínica