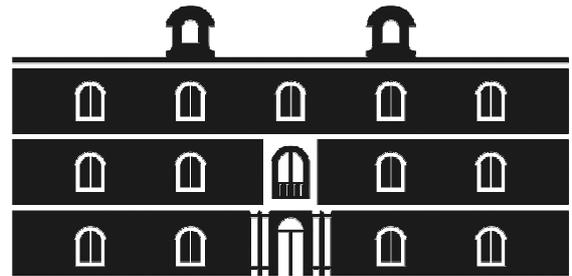


Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



**industriales**  
etsii UPCT

# PROYECTO FIN DE MÁSTER: ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ALUMBRADO EXTERIOR

**Titulación:** Máster Oficial en Ingeniería Ambiental  
y de Procesos Químicos y Biotecnológicos.

**Alumno/a:** Pilar Ponce Lara

**Director/a/s:** José Miguel Paredes  
José María Obón de Castro

Cartagena, 25 de septiembre de 2014

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	3
2	OBJETIVO.....	4
3	CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.ASPECTOS GENERALES.....	4
3.1	¿QUÉ ENTENDEMOS POR CONTAMINACIÓN LUMÍNICA? .....	4
3.1.1	LA LUZ.....	6
3.1.2	INCIDENCIA DE LA LUZ SOBRE LOS MATERIALES .....	8
3.1.3	MAGNITUDES LUMINOSAS .....	10
3.1.4	LEYES FUNDAMENTALES DE LA LUMINOTECNIA.....	12
3.1.5	EL COLOR .....	13
3.2	DIFUSIÓN DE LA LUZ EN LA ATMÓSFERA .....	16
3.3	TIPOS DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA .....	17
3.4	FUENTES DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA .....	21
3.4.1	PROCESOS GENERADORES DE LUZ ARTIFICIAL .....	21
3.4.2	CLASIFICACIÓN DE LAS LÁMPARAS .....	22
3.4.3	TIPOLOGÍA DE LUMINARIAS.....	27
3.4.4	PAVIMENTOS Y SUPERFICIES REFLECTANTES .....	30
3.5	CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA .....	31
3.6	MEDIDA DEL BRILLO ARTIFICIAL DEL CIELO NOCTURNO .....	37
3.7	COMPROBACIÓN DE NIVELES LUMINOTÉCNICOS EN EL ALUMBRADO EXTERIOR	38
3.7.1	NIVEL DE ILUMINANCIA.....	38
3.7.2	NIVEL DE LUMINANCIA.....	39
3.7.3	CÁLCULO APROXIMADO DEL $FHS_{INT}$ .....	39
4	MARCO LEGAL DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.....	40
4.1	Ley 31/1988- Real Decreto 243/1992 .....	42
4.2	REAL DECRETO 1890/2008 .....	43
4.2.1	INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-03. RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO Y LUZ INTRUSA Y MOLESTA. ....	44
4.3	LEGISLACIÓN AUTONÓMICA .....	46
5	IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA SOBRE EL MEDIO NATURAL...	47
5.1	PROYECTO ECOLIGHT .....	50
6	IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA SOBRE LA SALUD.....	52
6.1	LA CULTURA DE LA SOBREILUMINACIÓN .....	55

7	CERTIFICACIONES DE LA CALIDAD DEL CIELO .....	57
7.1	CERTIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL CIELO: INICIATIVA STARLIGHT .....	57
7.2	CERTIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL CIELO: ETIQUETA IDA .....	61
8	ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL ALUMBRADO EXTERIOR .....	62
8.1	REGLAMENTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR .....	63
8.1.1	INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-01. EFICIENCIA ENERGÉTICA.63	
8.1.2	INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-02. NIVELES DE ILUMINACIÓN.....	64
8.1.3	INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-03. RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO Y LUZ INTRUSA O MOLESTA.....	66
8.1.4	INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-04. COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES.....	66
8.1.5	INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-05. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA, VERIFICACIONES E INSPECCIONES.....	67
8.1.6	INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-06. MANTENIMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES.....	68
8.1.7	INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-07. MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO.....	70
8.2	EFICIENCIA ENERGÉTICA SOBRE INSTALACIONES EXISTENTES.....	70
8.2.1	EL CONTRATO DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO.....	71
8.2.2	SELECCIÓN DE EQUIPOS DE CONTROL DEL APAGADO Y ENCENDIDO DE LA INSTALACIÓN.....	71
8.2.3	SELECCIÓN DE EQUIPOS REGULADORES DE FLUJO .....	72
8.2.4	SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LAS LÁMPARAS .....	73
8.2.5	INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEGESTIÓN.....	73
8.2.6	EL MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN.....	74
9	CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA	74
10	CASO PRÁCTICO.....	76
10.1	RECOMENDACIONES PREVIAS.....	76
10.2	DATOS DE PARTIDA .....	78
10.3	INVENTARIO INICIAL .....	79
10.4	ACTUACIÓN PREVISTA .....	80
11	CONCLUSIONES .....	86
12	BIBLIOGRAFÍA.....	86

# 1 INTRODUCCIÓN

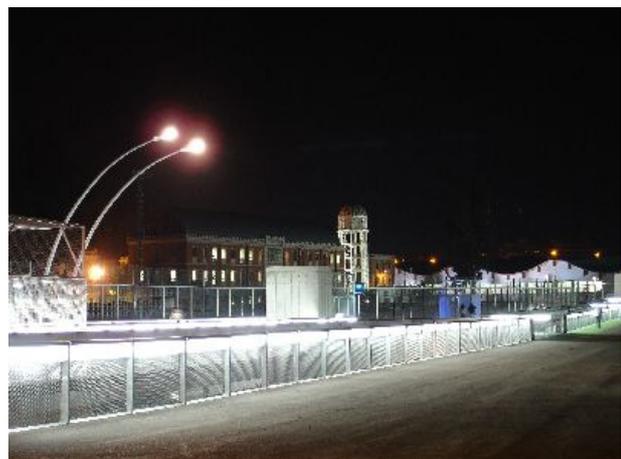
El control de la contaminación atmosférica, del agua, del suelo, de los niveles de ruido y la gestión de los residuos cuentan con una legislación ampliamente desarrollada tanto a nivel europeo como nacional, comunitario y municipal, lo que ha repercutido de manera significativa en la protección del medio ambiente.

En este intento de salvaguardar el medio ambiente y redirigir nuestro desarrollo con políticas más sostenibles no debemos dejar atrás la protección del cielo nocturno. La iluminación artificial de edificios, carreteras, monumentos, etc.. no solo supone una degradación del firmamento, dificultando considerablemente las investigaciones científicas, sino que repercute tanto en especies animales y vegetales de ciclo de vida nocturnos como en el propio descanso y salud de la población.

El astrofísico Fernando Jáuregui en su artículo “Las estrellas no tienen novio” publicado en la revista “Física y Sociedad” se lamenta de que: “Nunca ha habido tanta ciencia de las estrellas. Nunca hasta ahora hemos sabido mejor cómo funcionan, cómo evolucionan, cómo nacen y mueren. Sabemos describir con precisión matemática los procesos físicos que tienen lugar en su interior, la fuente de su energía, la forma que tiene el equilibrio que las mantiene estables durante eones, los procesos que transportan la energía desde su núcleo hasta el exterior, la forma en que esa energía se irradia al espacio y hasta detalles íntimos de los procesos violentos que se producen en sus capas más externas. Sí, sabemos de las estrellas mucho más que nunca, pero cada vez son menos los que las disfrutan”.

Quizás este sea uno de los motivos por los que son numerosos los esfuerzos dirigidos al desarrollo de nuevas tecnologías y diseños de alumbrados exteriores que protejan el cielo y a su vez posean una mayor eficiencia energética todo ello bajo un marco legislativo.

La prevención y reducción de la contaminación lumínica y la eficiencia energética son dos aspectos que deben ir de la mano en el diseño de nuestro alumbrado público. Aunque culturalmente asociemos la luz a seguridad y desarrollo, valorando de manera negativa la oscuridad, es posible para nuestras ciudades un alumbrado de calidad que tengan en cuenta estos dos aspectos, demandados por una sociedad cada vez más sensibilizada con la protección ambiental y el ahorro energético. Desde este punto de vista no parece muy lógico alumbrar el cielo en vez de iluminar las aceras o mantener hasta altas horas de



**Foto 1.** Iluminación Aparcamiento del Cuartel de Artillería. Murcia Capital.

la madrugada el alumbrado de fachadas. Véase a modo de ejemplo la iluminación del Aparcamiento del Cuartel de Artillería en Murcia Capital.

Los profesionales de la Astronomía muestran su preocupación por la iluminación de las grandes ciudades, hecho incompatible con el estudio de las estrellas. A modo de ejemplo tenemos Madrid Capital, cuya sobre iluminación se aprecia a más de 200 km de distancia, y produce un resplandor detectable por telescopios de mediano tamaño instalados en Santander.

A falta de una Ley Estatal sobre la protección del cielo nocturno, El Instituto de Astrofísica de Canarias es pionero en el estudio de la contaminación lumínica y Comunidades Autónomas como Cataluña y Andalucía han desarrollado leyes y reglamentos que la regulan en su territorio.

Con estas premisas se desarrolla el Proyecto Fin de Máster: “ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN LÚMINICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL ALUMBRADO EXTERIOR”, como aplicación a los conceptos estudiados en el Máster en Ingeniería Ambiental y de Procesos Químicos y Biotecnológicos.

## 2 OBJETIVO

Es objeto de este proyecto el desarrollo de conceptos claves y líneas de actuación dentro del ámbito de la contaminación lumínica y la eficiencia energética, teniendo como protagonista la iluminación exterior pública, sector sujeto a avances tecnológicos continuos y cambios significativos debido a la estructura del mercado.

El presente documento pretende profundizar en el origen y consecuencias en el entorno de una iluminación pública exterior inadecuada y en muchos casos excesiva. Es objeto resaltar los logros conseguidos para la protección del cielo nocturno, la salud y la fauna y la flora y plasmar todas aquellas buenas prácticas que potencien la protección de los cielos.

Este proyecto no deja atrás la sinergia entre protección de los cielos nocturnos y eficiencia energética y la aplicación de nuevas tecnologías dirigidas a potenciar estos dos aspectos tan íntimamente relacionados.

## 3 CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.ASPECTOS GENERALES

### 3.1 ¿QUÉ ENTENDEMOS POR CONTAMINACIÓN LUMÍNICA?

Son numerosas las definiciones que aclaran este concepto, quizás la más general fue la presentada en 1997 por el Comité Internacional de Iluminación (CIE) en su publicación CIE 126: Directrices para la minimización del brillo en el cielo, donde

argumentaba que “la polución de la luz es un término genérico que indica la suma total de todos los efectos adversos de la luz artificial”.

Desde el punto de vista legal el Decreto Andaluz 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética define la contaminación lumínica como “la emisión de flujo luminoso, por fuentes artificiales de luz constituyentes del alumbrado nocturno, con intensidades, direcciones o rangos espectrales inadecuados para la realización de las actividades previstas en la zona alumbrada”.

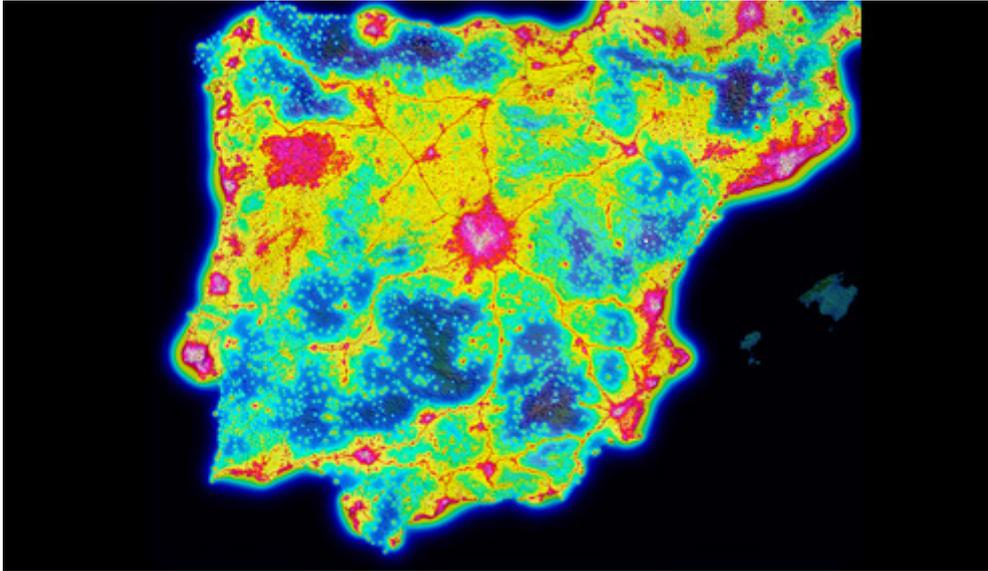
Para finalizar, tenemos la visión científica del término, expresada por Carlos Herranz Dorremocha (Responsable de Comunicación del Colegio Oficial de Físicos), el cuál entiende la contaminación lumínica como “la alteración de la oscuridad natural del medio nocturno producida por la emisión de luz artificial (cuya fuente son, fundamentalmente, instalaciones de alumbrado nocturno de exteriores)”.

Como se puede observar todas las definiciones tienen como nexo común la luz artificial y sus posibles impactos sobre el medio.

El resplandor difuso del fondo del cielo nocturno quizás sea 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 los estudios astronómicos y es el principal responsable de la degradación del cielo nocturno, considerado como parte integrante del paisaje natural.

La contaminación lumínica provoca un impacto negativo no solo por la emisión a la atmósfera de luz artificial y por su posterior difusión a través de las moléculas y de las partículas en suspensión de la atmósfera (ambas con un comportamiento como fuente secundaria de luz), sino por la iluminación o sobreiluminación de superficies, objetos o sujetos.

Conocer los efectos producidos por la emisión a la atmósfera de luz artificial y por su difusión a través de las moléculas y de los aerosoles, requiere profundizar sobre conceptos como la luz, el comportamiento de los materiales ante ella y las magnitudes luminosas fundamentales.



**Ilustración 1.** Carta de contaminación lumínica de la Península Ibérica 2007.  
Fuente: Frédéric Tapissier(Astrofotógrafo)/AVEX.

### 3.1.1 LA LUZ

La luz es una radiación que se propaga en forma de ondas electromagnéticas y es capaz de excitar la retina humana.

Las ondas electromagnéticas se producen cuando una carga eléctrica experimenta una aceleración. Esta se caracteriza por su amplitud (intensidad), longitud de onda (distancia entre crestas sucesivas) y velocidad. Asociada a la longitud de onda encontramos la frecuencia, entendida como el número de crestas que pasan por un lugar determinado cada segundo.

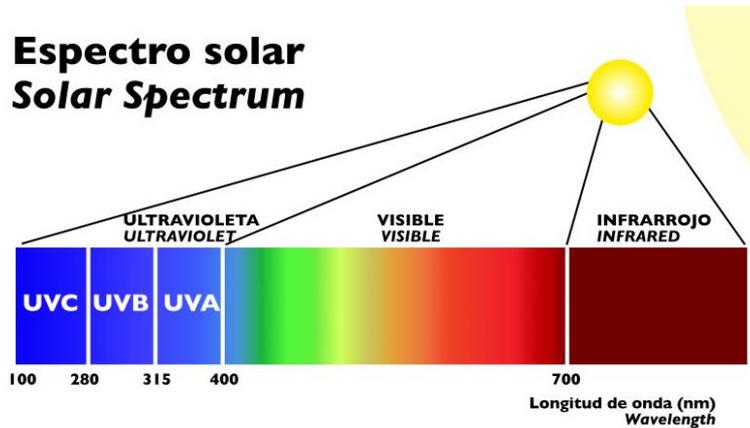
La fuente de energía natural es el sol, estrella de masa trescientas mil veces superior a la tierra. Parte de la energía liberada por el sol se emite en forma de radiación a través de la fotosfera solar (capa más superficial del sol que alcanza una temperatura aproximada de 5.500K), llegando a la tierra una cantidad media de energía por unidad de tiempo y superficie de  $1370 \text{ W/m}^2$  (constante solar). Sin esta energía sería inviable la vida en la tierra.

La absorción de la atmósfera varía la cantidad de esta radiación recibida desde la fotosfera constituyendo el denominado espectro electromagnético.

El espectro electromagnético lo podemos dividir en tres bandas o zonas (ver ilustración 2):

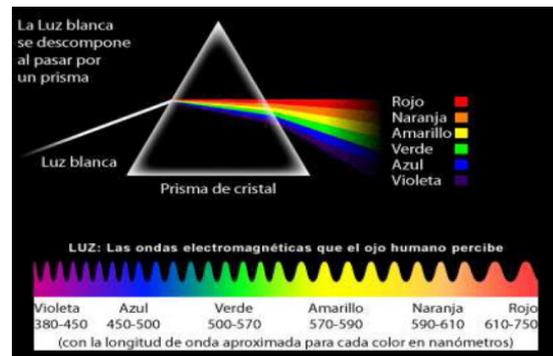
- Banda ultravioleta: Radiaciones con longitudes de onda inferiores a 380nm.
- Banda visible: Radiaciones con longitudes de onda correspondidas entre 380 y 780 nm.
- Banda infrarroja: Radiaciones con longitudes de onda superiores a los 780 nm.

Por tanto, lo que entendemos por **LUZ** es la radiación electromagnética visible por el ojo humano, con un rango de longitud de onda entre 380 y 780nm (espectro visible) y que producen sensaciones visuales.



**Ilustración 2.** Espectro electromagnético.

Esta banda de luz visible se divide en seis tramos, correspondientes a los colores (violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) en los que se descompone la luz blanca cuando atraviesa un medio transparente (por ejemplo un prisma).



**Ilustración 3.** Espectro visible.

Newton demostró que un haz de luz blanca podía dispersarse por medio de un prisma en forma de un espectro. Además, descubrió que las propiedades de las longitudes de onda no se alteraban por la reflexión o refracción (ver definición en el punto 3.1.2) y que las diferentes longitudes de onda podían combinarse para dar la luz blanca original. Finalmente, Newton llegó a la conclusión de que los colores producidos por la mezcla de las distintas longitudes de onda, daban el mismo efecto visual que una longitud de onda intermedia pero con composiciones espectrales diferentes.

Además, hay que tener en cuenta que una radiación monocromática se caracteriza por una única longitud de onda, pero en realidad no existe una radiación monocromática pura y sí una línea espectral muy fina, que se puede asimilar a una radiación monocromática. Por todo ello, los colores no tienen una definición lineal de longitud de onda, sino una estrecha banda que al irse desplazando, da lugar a los distintos matices del color. (Ver ilustración 3)

El que nuestro ojo no pueda ver directamente los componentes cromáticos de la luz blanca del día, es debido a que el cerebro humano no distingue cada uno por separado.

### 3.1.2 INCIDENCIA DE LA LUZ SOBRE LOS MATERIALES

La incidencia de la luz en la materia origina los fenómenos físicos de reflexión, refracción absorción, transmisión y polarización. El conocimiento de estos fenómenos físicos es fundamental tanto en el diseño de materiales en las luminarias exteriores como en el análisis de la emisión de la luz artificial (origen de la contaminación lumínica) hacia el cielo, ya que la reflexión y la refracción junto con la emisión directa, son las principales formas de difusión de la luz artificial hacia el cielo.

- **Reflexión.** La reflexión es el cambio de dirección que experimenta la luz al chocar con un cuerpo.

Si la superficie en la que se refleja la luz es perfectamente lisa y brillante o pulida, todos los rayos salen en la misma dirección produciéndose una reflexión especular. Esta forma de reflexión se produce en los espejos o en las superficies de agua totalmente lisas y en calma.

En luminotecnia para obtener una reflexión especular se utilizan luminarias de aluminio anodizado y plásticos o vidrios aluminizados o plateados y espejos.

La reflexión especular está regida por dos leyes fundamentales:

1ª. “El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano”.

2ª. “El ángulo de incidencia y reflexión son iguales”.

Si la superficie en la que se refleja la luz es rugosa y mate, la luz reflejada se dirige en todas direcciones. Las paredes de yeso o escayola y la nieve son ejemplos de superficies que producen reflexión difusa. En el diseño de luminarias se utilizan difusores de policarbonato que producen una reflexión difusa y evitan deslumbramientos.

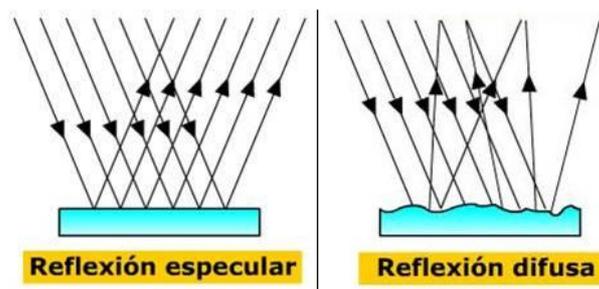


Ilustración 4. Diferencia entre la reflexión especular y difusa.

Finalmente, la reflexión será mixta cuando la luz incide en una superficie que no es ni especular ni difusa, sino una combinación de ambas. En iluminación la mayoría de los difusores son de reflexión mixta.

- **Refracción.** Definimos la refracción como el cambio de dirección que experimenta la luz, cuando pasa de un medio a otro, debido a la variación de la velocidad de la onda de un medio a otro (diferencia del índice de refracción).

Por tanto, a mayor índice de refracción menor velocidad de la luz en ese medio.

En la ilustración 5 se observa como al producirse un cambio de velocidad y dirección de la luz al pasar de un medio a otro, el lápiz presenta una apariencia distorsionada.

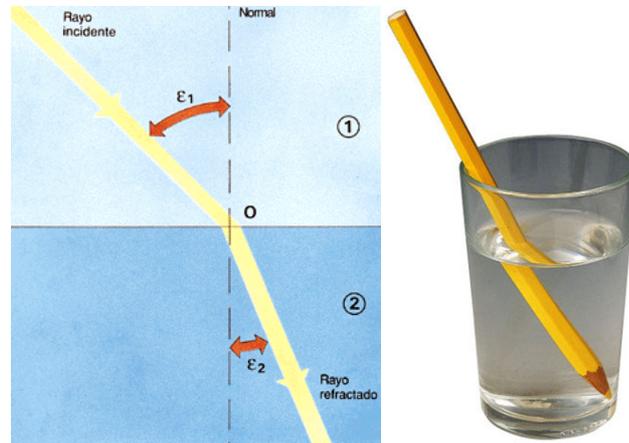


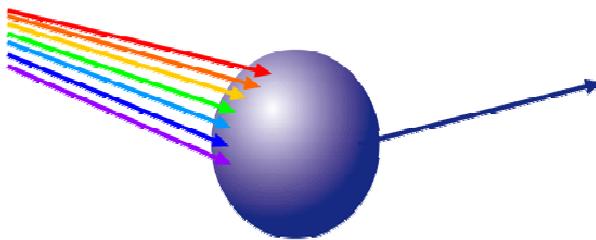
Ilustración 5. Fenómeno de refracción.

La refracción se rige por las Leyes de Snell, cuyos enunciados son:

1ª. “La razón del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refracción, es una constante, que depende de los dos medios pertinentes y de la longitud de onda de la luz incidente”.

2ª. “El ángulo incidente, el ángulo reflejado y la normal se encuentran en el mismo plano”.

- **Absorción.** La propiedad que poseen los cuerpos para absorber las radiaciones en mayor o menor proporción provocando una pérdida de luz se denomina absorción.



Por ejemplo, como se aprecia en la ilustración 6, un objeto azul absorbe todas las longitudes de onda de la luz del sol, excepto la que corresponde al color azul, que es reflejada por el objeto y capturada por nuestra retina.

Ilustración 6. Absorción de la luz.

Por otra parte, si tenemos un cuerpo capaz de reflejar todos los colores del espectro visible y se ilumina con una luz blanca, éste aparecerá de color blanco, pero si es iluminado con una luz monocromática amarilla, reflejará esta luz y lo veremos amarillo. Por el contrario, si el cuerpo tiene la propiedad de absorber todas las radiaciones que recibe, independientemente de la luz con la que lo iluminemos (luz blanca, monocromática amarilla, monocromática azul,...) lo veremos negro.

- **Transmisión.** La transmisión es la propagación a través de un medio, sin que se produzcan cambios ni alteraciones de la frecuencia de sus componentes monocromáticos ni en otras características. Este fenómeno está asociado a vidrios, cristales y algunos líquidos como el agua. Se puede considerar la transmisión como una doble refracción.

Dependiendo de la transparencia de los materiales distinguimos tres tipos de transmisión.

1. Transmisión regular. En este caso, la luz que incide sobre un medio, sale de él sin variar sus características. Este efecto se produce en los cuerpos transparentes, de modo que permiten ver los objetos colocados detrás de ellos con gran nitidez. Son ejemplos de cuerpos transparentes el cristal y el vidrio orgánico, utilizados en luminotecnia.
  2. Transmisión difusa. En la transmisión difusa el haz incidente se difunde por el medio, abandonando el mismo en múltiples direcciones. Estos medios se denominan traslúcidos y son utilizados en luminotecnia como difusores de la luz.
  3. Transmisión mixta. Nos encontramos ante el caso de una transmisión entre regular y difusa donde no se distingue con precisión los objetos colocados detrás de ellos aunque sí su posición.
- **Polarización.** La luz es una onda electromagnética transversal, es decir, la vibración (los campos eléctrico y magnético) es perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Si una onda luminosa que se propaga en la dirección z no está polarizada, el campo eléctrico puede tener cualquier dirección contenida en el plano perpendicular al eje z. Pero si la dirección del vector campo es siempre paralela a una línea fija del espacio, se dice que la onda está polarizada linealmente.

La polarización es muy importante en el diseño de las luminarias ya que se puede llegar a conseguir reducir los deslumbramientos.

### 3.1.3 MAGNITUDES LUMINOSAS

Teniendo en cuenta que la luz es una radiación que emite y transporta energía en forma de ondas electromagnética, es necesario conocer por un lado, las magnitudes radiométricas encargadas de la medida de las radiaciones electromagnéticas y por otro las magnitudes fotométricas encargadas de la cuantificación de la parte del espectro electromagnético que el ojo humano percibe como sensación luminosa.

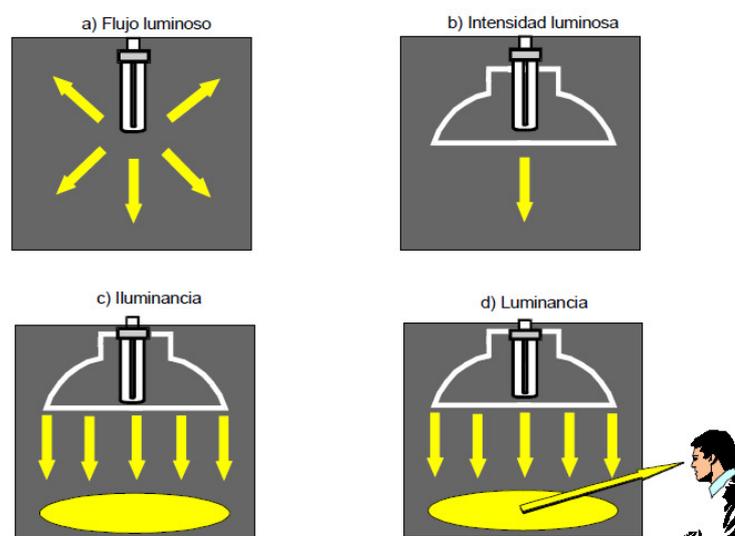
#### 3.1.3.1 MAGNITUDES RADIOMÉTRICAS

- **Energía radiante.** Es la energía emitida, transportada o recibida en forma de radiación. Su símbolo es  $Q_e$  y su unidad de medida es el julio (J).
- **Flujo radiante.** Es la energía emitida, transportada o recibida en forma de radiación por unidad de tiempo, cuya unidad de medida es el watio (w).

- **Irradianza.** Definimos la irradianza como el flujo radiante recibido por unidad de área ( $w/m^2$ ).
- **Intensidad radiante.** Es el flujo radiante emitido por un manantial puntiforme, en una dirección bajo un ángulo sólido, que contiene dicha dirección. Su unidad de medida es el watio partido por estereorradián ( $w/sr$ ).
- **Radiancia.** La radiancia es la relación entre la intensidad radiante de un emisor en una dirección determinada y la superficie del emisor, proyectada según dicha dirección. Su unidad de medida es el watio partido por metro cuadrado y estereorradián ( $w/m^2sr$ ).

### 3.1.3.2 MAGNITUDES FOTOMÉTRICAS

- **Flujo luminoso.** Entendemos flujo luminoso como la cantidad total de luz radiada en todas las direcciones por una fuente luminosa, durante la unidad de tiempo. El flujo luminoso se mide en lúmenes (lm).
- **Intensidad luminosa.** A diferencia del flujo luminoso, la intensidad luminosa es la cantidad de luz emitida por unidad de tiempo, pero en una única dirección. Su unidad de medida es la candela (cd).
- **Iluminancia.** La iluminancia es la cantidad de flujo luminoso incidente por unidad de superficie del objeto iluminado, siendo su unidad de medida el lux(lx).
- **Luminancia.** La definimos como la relación entre la intensidad luminosa procedente de una fuente de luz primaria (producen la luz que emiten) o secundaria (reflejan la luz de otra fuente) y la superficie aparente vista por el ojo en una determinada dirección. Su unidad de medida es la candela partido por el metro cuadrado ( $cd/m^2$ ).



**Ilustración 7.** Imágenes ilustrativas de los conceptos a) Flujo luminoso, b) Intensidad luminosa c) Iluminancia y d) luminancia.

### 3.1.4 LEYES FUNDAMENTALES DE LA LUMINOTECNIA

Las leyes que rigen la luminotecnica son fundamentales para la aplicación en los casos de iluminación, es decir es necesario un conocimiento de estas leyes para poder evaluar el problema de la contaminación lumínica y diseñar medidas preventivas y correctoras.

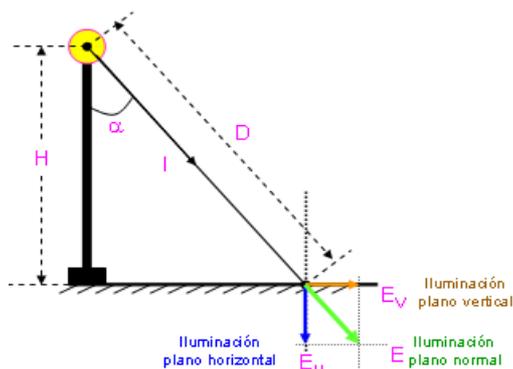
- **Ley fundamental.** “El nivel de iluminación de una superficie iluminada perpendicularmente, es directamente proporcional a la intensidad luminosa en esa misma dirección, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa a la fuente de luz, de dicha superficie”.

$$E = \frac{I}{d^2}$$

- **Ley de la inversa del cuadrado de la distancia.** Esta ley es consecuencia de la ley fundamental y dice: “Desde un mismo manantial de luz, los niveles de iluminación de distintas superficies, colocadas normalmente a la dirección de la luz, son directamente proporcionales a la intensidad luminosa en esa dirección, e inversamente proporcional al cuadrado de las distancias entre dicha fuente y cada una de las superficies”.
- **Ley del coseno.** En los casos donde la iluminación se realiza con la dirección de la luz oblicuamente y con cualquier ángulo de dirección “La iluminación de un punto cualquiera de una superficie, es directamente proporcional al coseno del ángulo de incidencia de los rayos luminosos en el punto iluminado”.

$$E = \frac{I_{\alpha}}{d^2} \cos \alpha$$

- **Ley del cubo del coseno.** En realidad, cuando se instala una fuente de luz interior o exterior, en vez de trabajar con la distancia “D” entre la fuente de luz y el punto a iluminar, se trabaja con la altura “H” entre el foco luminoso y la superficie a iluminar. De ahí la ley del cubo del coseno que dice así: “La iluminación de un punto de un plano horizontal, iluminado oblicuamente, es directamente proporcional a la intensidad luminosa emitida por el foco luminoso en esa dirección y al cubo del coseno del ángulo de incidencia, e inversamente proporcional a la altura entre el plano horizontal donde se encuentra situado el foco y el plano horizontal que contiene el punto”.



$$E_H = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{H^2}$$

- **Ley del seno. Iluminación vertical.** “La iluminación de un punto, situado en un plano vertical, iluminado por un foco luminoso bajo un determinado ángulo de incidencia es proporcional al seno del citado ángulo de incidencia”.

$$E_v = \frac{I_\infty}{D^2}$$

- **Ley de Lambert.** “La luminancia de una superficie luminosa considerada como un punto, es constante en cualquier dirección que se considere”.

### 3.1.5 EL COLOR

El color es una propiedad de la luz. La percepción del color de un objeto depende de la composición espectral de la luz y de las propiedades de absorción, reflexión y transmisión de los cuerpos. Es decir, el conjunto de sensaciones monocromáticas aditivas que nuestro cerebro interpreta como color de un objeto depende de la composición espectral de la luz con la que se ilumina y de las propiedades ópticas que posea el objeto para reflejarla, refractarla o absorberla.

Los agentes que intervienen en el proceso de percepción del color de los objetos son la fuente de luz, el objeto visualizado, el ojo y nuestro cerebro. Todos estos elementos intervienen en la sensación final de modo que variaciones de cada uno de los componentes influyen directamente en el resultado final.

En relación a la fuente de luz, el espectro que no presenta interrupción en su composición, es decir está constituido por todas las radiaciones del espectro electromagnético visible (rango de 380-780nm) es denominado continuo. Ejemplos de espectro continuo son la luz del día o las emitidas por las lámparas incandescentes. En estos casos, la sensación cromática de un cuerpo iluminado por un espectro continuo es de percepción del color verdadero.

Por el contrario, un espectro discontinuo, es aquel que muestra interrupciones en la composición de radiaciones del espectro visible. A modo de ejemplo tenemos las lámparas de descarga. La sensación cromática de un objeto iluminado por un espectro discontinuo es de percepción de color falseado. (Ver imagen 8)

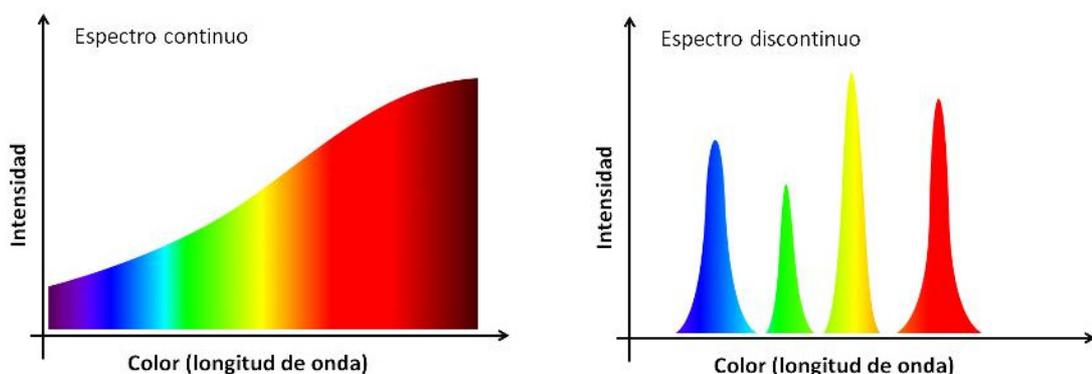


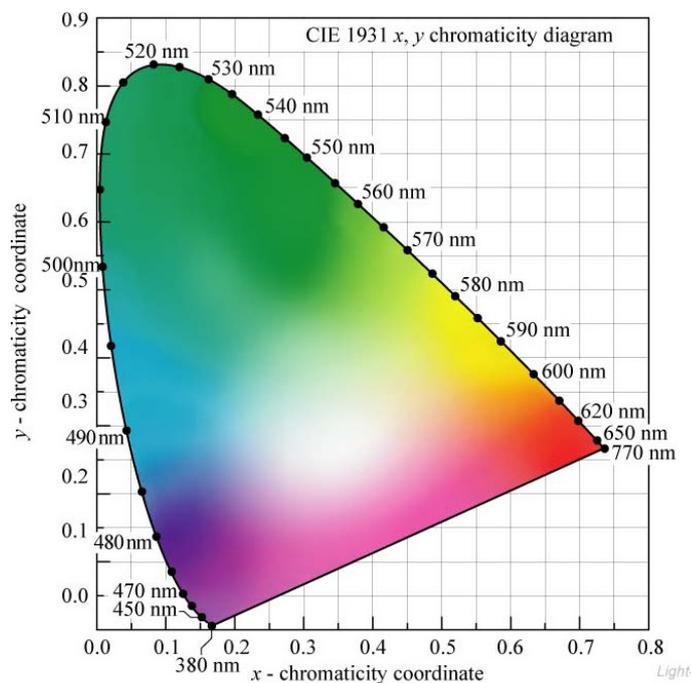
Ilustración 8. Espectro continuo y discontinuo.

La evaluación subjetiva de las superficies de los objetos, tal y como son percibidas por el ojo, se interpretan en función de los atributos o cualidades del color. Éstas son:

- **Claridad o esplendor.** Definida por la radiación luminosa que recibimos según la iluminancia que posea el objeto. Un objeto es más claro cuanto más se aleja su color del negro en la escala de grises. Hace referencia a la intensidad que emite la fuente de luz. Un mismo objeto puesto a la luz o la sombra solo se diferencia por su claridad.
- **Tono o matiz.** Nombre común del color (rojo, amarillo, verde, etc.). Hace referencia a la longitud de onda del color predominante.
- **Pureza o saturación.** La proporción en que un color está mezclado con el blanco. Hace referencia a la pureza espectral. Un color monocromático espectral tiene la mayor saturación, mientras la luz blanca es un color completamente no saturado.

Se estima que se pueden detectar unos diez millones de colores, por lo que se hace necesaria una organización lógica de los mismos. Para evitar la evaluación subjetiva del color el C.I.E (Comité Internacional de la Iluminación) aprobó un diagrama cromático, que se emplea para tratar cuantitativamente las fuentes de luz, las superficies coloreadas, las pinturas, los filtros luminosos, etc.

Este sistema define cualquier color según las coordenadas  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , denominadas "Coordenadas de cromaticidad" representados en un sistema denominado "Diagrama de cromaticidad". (Ver ilustración 9)



**Ilustración 9.** Diagrama cromático CIE.

Como parámetros que definen el color tenemos la temperatura de color y el índice de reproducción cromática:

- **Temperatura del color (Tc).** La temperatura de color es una expresión que se utiliza para indicar el color de una fuente de luz por comparación de ésta con el color del cuerpo negro, es decir, del “radiante perfecto teórico” (radia toda la energía que percibe). Como cualquier otro cuerpo incandescente, el cuerpo negro cambia de color a medida que aumenta su temperatura, adquiriendo al principio, el tono de un rojo sin brillo, para luego alcanzar el rojo claro, el naranja, el amarillo y finalmente el blanco, el blanco azulado y el azul.

El color, por ejemplo, de la llama de una vela, es similar al de un cuerpo negro calentado a unos 1800K, y la llama se dice entonces, que tiene una “temperatura de color” de 1800K.

Por ejemplo, las lámparas incandescentes tienen una temperatura de color comprendida entre los 2700 y 3200K.

Por lo tanto, la temperatura de color no es en realidad una medida de temperatura, define sólo color y sólo puede ser aplicada a fuentes de luz que tengan una gran semejanza de color con el cuerpo negro.

- **Índice de reproducción cromática (IRC).** El dato de temperatura de color se refiere únicamente al color de la luz, pero no a su composición espectral que resulta decisiva para la reproducción de colores.

Dos fuentes de luz pueden tener un color muy parecido pero tener propiedades de reproducción cromática muy diferentes.

El índice de reproducción cromática, caracteriza la capacidad de reproducción cromática de los objetos iluminados con una fuente de luz. El IRC ofrece una indicación de la capacidad de la fuente de la luz para reproducir colores normalizados, en comparación con la reproducción proporcionada por una luz patrón de referencia.

En la práctica se suelen utilizar tres rangos:

- **IRC** entre 90 y 100. Excelentes propiedades de reproducción cromática.
- **IRC** entre 80 y 90. Buenas propiedades de reproducción cromática.
- **IRC** por debajo de 80. Propiedades de reproducción cromáticas moderadas.

Para finalizar este punto, cabe reseñar los efectos psíquicos del color. Está comprobado que el color del medio ambiente produce en el observador reacciones psíquicas o emocionales. Por ello, el emplear los colores de forma adecuada es un tema del mayor interés para los psicólogos, arquitectos, luminotécnicos y decoradores.

Existen experiencias en las que se ha comprobado las sensaciones que producen en el individuo determinados colores. Una de las primeras sensaciones es la de calor o frío, de aquí que se hable de “colores cálidos” y “colores fríos”. Los colores cálidos son

los que en el espectro visible van desde el rojo al amarillo verdoso, y los fríos desde el verde al azul. Un color será más cálido o más frío según sea su tendencia hacia el rojo o hacia el azul, respectivamente. Los colores cálidos son dinámicos, excitantes y producen una sensación de proximidad, mientras que los colores fríos calman y descansan, produciendo una sensación de lejanía.

Por otra parte, los colores claros animan y dan sensación de ligereza, mientras que los colores oscuros deprimen y producen sensación de pesadez.

Cuando se combinan dos o más colores y producen un efecto agradable, se dice que armonizan.

## **3.2 DIFUSIÓN DE LA LUZ EN LA ATMÓSFERA**

Como comentábamos al inicio del capítulo, la luz visible es una onda electromagnética y como tal se produce cuando una carga eléctrica sufre una aceleración.

La atmósfera terrestre está compuesta por moléculas de gases y aerosoles (partículas en suspensión). La forma de propagación de la luz visible en la atmósfera dependerá si esta interacciona bien con una molécula de gas o bien con un aerosol.

Las moléculas de gases puros son de un tamaño muy inferior a la longitud de onda de la luz visible. De modo que, cuando la radiación electromagnética interacciona con estas partículas mucho más pequeñas que su longitud de onda, se produce la denominada “Teoría del Esparcimiento de Rayleigh” (en honor a Lord Rayleigh). Es decir, la luz incide sobre las moléculas y agita sus nubes electrónicas, de manera que se sustrae parte de la energía al rayo luminoso. La agitación de las cargas eléctricas de las cortezas y núcleos atómicos de la molécula del gas hace que se vuelva a emitir esa energía en forma de radiación electromagnética de nuevo, pero en una dirección aleatoria. El resultado neto es que la luz incidente puede ir rebotando de molécula en molécula y termina esparciéndose en el seno de toda la masa del gas. Este proceso se verifica incluso en el seno de gases puros, sin aerosoles ni contaminantes de ningún tipo.

La intensidad del esparcimiento es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda, por tanto cuanto más corta sea la longitud de onda, más se esparcirá la luz en el seno del gas. Este efecto alcanza una intensidad cuatro veces mayor para la luz azul que para la luz roja, y llega a ser trece veces mayor para la luz ultravioleta que para la roja. Este es el motivo por el cual vemos el cielo azul, ya que el mecanismo de interacción entre la luz y las moléculas del aire (independiente de su composición química) favorece mayoritariamente el esparcimiento de los tonos de longitud de onda corta, mientras que tiene poca intensidad para las longitudes de onda larga.

La difusión de la luz será diferente en el caso de interactuar con un aerosol. Recordemos que las partículas en suspensión o aerosol atmosférico, son una mezcla de sustancias en estado sólido y/o líquido suspendidas en el medio gaseoso atmosférico y

con origen diverso como la contaminación atmosférica, el mar, los volcanes o las nubes.

En este caso, el tamaño del aerosol atmosférico se asemeja a la longitud de onda de la luz visible y se debe aplicar la “Teoría del Esparcimiento de Mie”, encontrándonos que la luz incide en las partículas y estas la difunden en direcciones muy semejantes (no idénticas) a las de partida. El esparcimiento de Mie presenta una dependencia inversa lineal con la longitud de onda, de modo que la luz azul tiende a esparcirse un poco más que la roja por este efecto.

La luz de origen artificial, origen de la contaminación lumínica, se difunde en la atmósfera según las dos leyes físicas comentadas. Uno de los resultados de la introducción de luz artificial en la atmósfera consiste en el esparcimiento de parte de ella, lo que confiere al fondo de cielo un resplandor que interfiere de manera negativa en los estudios astronómicos y los ecosistemas.

Debemos tener en cuenta que la luz reflejada en pavimentos y fachadas también se esparce en la atmósfera. Esta emisión se puede regular ajustando los niveles de alumbrado a lo razonable, es decir iluminando solo lo necesario y haciéndolo en unos horarios coherentes.

Siguiendo la “Teoría del Esparcimiento de Rayleigh” se puede afirmar que la luz amarilla y anaranjada contamina menos porque se esparce mucho menos que la azul. La luz blanca (por su contenido en luz azul) es un recurso que debe administrarse con medida. Es decir, atendiendo a su espectro de radiación se puede clasificar las lámparas más utilizadas en el alumbrado exterior según su efecto contaminante. De este modo podemos afirmar que las lámparas menos contaminantes son las que emiten con mayor longitud de onda y dentro del espectro visible. De modo que, la luz de una lámpara de vapor de sodio a alta presión es preferible a otras, no por ser de sodio, sino por ser amarillenta.

### 3.3 TIPOS DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

La contaminación lumínica de manifiesta de diferentes maneras que se pasan a detallar a continuación:

- **Por luz intrusa.** Definimos luz intrusa como la invasión de luz artificial fuera del área de iluminación prevista, con las molestias que esto provoca en las zonas adyacentes.

En este caso el impacto es provocado cuando una instalación de alumbrado exterior emite luz en direcciones que exceden de la zona que se pretende iluminar.

En general, se debe al uso de luminarias con exceso de altura, que no sólo iluminan el área de calzada necesaria, sino que emiten luz que incide en los edificios y regiones cercanas. Es muy común en zonas urbanas, donde esta intrusión no se detiene en las fachadas de los edificios, sino que se penetra en las viviendas y modifica el entorno doméstico y las actividades humanas.

Otro ejemplo de luz intrusa la encontramos en la iluminación de playas y paseos marítimos donde son iluminadas extensiones de agua, que pueden provocar deslumbramientos por reflexión e impactos negativos sobre la fauna y flora de la costa.

- **Por difusión hacia el cielo (resplandor luminosos).** Como se ha comentado en el apartado anterior este fenómeno se debe a la interacción entre las moléculas del aire y los aerosoles con la luz, produciéndose lo que se conoce como difusión. Su resultado es que un haz luminoso que inicialmente tenía una dirección concreta, acaba siendo dispersado por estos agentes en múltiples direcciones, especialmente hacia el cielo. Cuanto menos orientado y concentrado esté el haz de una luminaria hacia el suelo (es decir, cuanta más luz desperdicie en horizontal o en vertical), más luz será difundida hacia el cielo. Un exceso de iluminación en el suelo, también implica una mayor difusión hacia el cielo.



**Ilustración 10.** Comparación de la oscuridad del cielo en función de la cercanía a centros urbanos. Fuente: modificado STELARIUM.

Esta forma de contaminación lumínica se evidencia en noches cubiertas donde las nubes resplandecen con intensidad por encima de las zonas urbanas.

En el resplandor luminoso nocturno existen dos componentes, por un lado el brillo natural del cielo, producido por la radiación de los astros (el cielo no es totalmente negro ni en las mejores condiciones de observación) y los procesos luminiscentes en zonas altas de la atmósfera y por otra, el brillo artificial del cielo ocasionado por la difusión de la luz artificial.

Este resplandor luminoso nocturno produce un velo en el campo de visión que dificulta las observaciones astronómicas nocturnas ya que, se realizan en las longitudes de ondas pertenecientes o próximas al espectro visible. Por tanto, ya que no se puede actuar sobre el brillo natural se hace necesario minimizar al máximo el brillo procedente de la difusión de la luz artificial.

Además, dado que la difusión de la luz se produce por la interacción del haz luminoso con las partículas presentes en la atmósfera, su efecto se verá influenciado por la humedad ambiental, las nubes, los aerosoles tanto de origen natural o antropogénico, etc...

A modo orientativo tenemos la tabla de niveles de iluminación publicada por la Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo (OTPC).

FUENTE	ILUMINACIÓN (lux)
Día soleado	103 000
Día parcialmente soleado	50 000
Quirófano	18 000
Día nublado	1000 - 10 000
Oficina	400 - 600
Vivienda	100 - 300
Autopistas y carreteras	10 - 30
Aparcamientos, andenes, vías peatonales y carriles bici	5 - 20
Luna llena	0,1 - 0,3
Cuarto creciente o menguante	0,01 - 0,03
Cielo nocturno urbano	0,05 - 0,1
Cielo estrellado natural	0,001
Cielo nocturno natural nublado	0,00003 - 0,0001

**Tabla 1.** Niveles de iluminación aproximados (modificado por RIVH 2006 y OTPC).

- **Deslumbramiento.** Definimos deslumbramiento como la incapacidad del ojo humano para adaptarse simultáneamente a grandes diferencias de luminancia.

El ojo humano tiene la capacidad de adaptarse al nivel medio de luminancia existente en un momento dado en su campo de visión. Cuando en ese campo el valor medio de la luminancia es excesivo y/o aparecen objetos excesivamente brillantes con relación al entorno se produce este fenómeno.

El deslumbramiento puede ser directo (es el caso de una luminaria brillante dentro del campo de visión) o reflejado (caso de espejos, superficies acristaladas, etc...)

También podemos diferenciar entre un deslumbramiento molesto que no impide la visión y uno perturbador que impide la percepción de los objetos. Además, el deslumbramiento se puede producir por la dispersión de la luz en el sistema óptico del ojo (deslumbramiento por velo), dando lugar a una reducción en el contraste de luminancias, o por una aparición o desaparición repentina de la fuente de luz que ocasiona un proceso de adaptación del ojo (deslumbramiento de adaptación) al nuevo entorno, que ocasiona una pérdida de percepción de los objetos durante ese periodo.

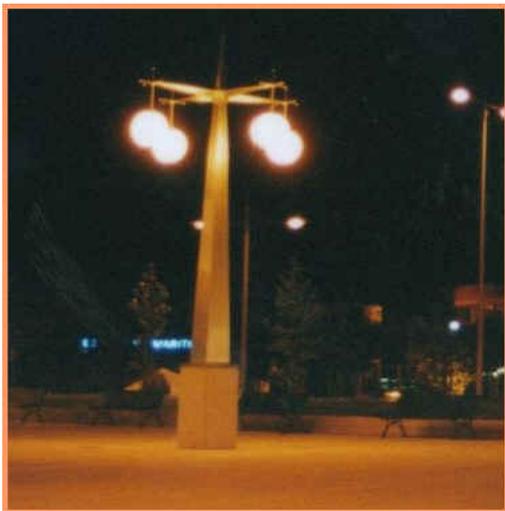
El deslumbramiento representa un factor peligroso para el tráfico rodado, en tanto que puede impedir ver a un conductor la aparición de un peatón o de otro coche, y para los ecosistemas de áreas naturales atravesadas por carreteras.

En el caso del alumbrado en las vías de tráfico rodado, un exceso de potencia instalada, la presencia de luminarias mal apantalladas, el paso brusco de zonas iluminadas a oscuras (y viceversa) e instalaciones con proyectores mal direccionados pueden provocar el deslumbramiento del conductor poniéndose en peligro la seguridad vial. Otros factores que pueden ocasionar un deslumbramiento en el conductor son: la distribución luminosa y la dirección de los haces (bloque óptico inadecuado), la altura de la luminaria y la luminancia del fondo.

A efectos de control, la medición de la pérdida de visibilidad producida por el deslumbramiento perturbador, ocasionado por las luminarias de la instalación de alumbrado público, se efectúa mediante el incremento del término denominado "umbral de contraste". Su símbolo TI, carece de unidades y su expresión, es función de la luminancia de velo  $L_v$  y la luminancia media de la calzada  $L_m$  (entre 0,05 y 5 cd/m<sup>2</sup>). Los valores de TI quedan regulados en el Reglamento de eficiencia energética para instalaciones de alumbrado exterior.

Finalmente debemos tener en cuenta el fenómeno del encandilamiento: se trata básicamente de un deslumbramiento, pero nos referimos a este cuando la luz mal dirigida provoca distracción en lugar de deslumbramiento.

Una de las consecuencias de los tipos de contaminación lumínica mencionados es el sobreconsumo. Este se produce cuando la emisión artificial de luz implica un consumo energético excesivo debido a la excesiva intensidad de la iluminación, al horario de funcionamiento del alumbrado, a la emisión de luz en direcciones en que no es necesario iluminar o a la distribución espectral de la lámpara, que no siempre restringe su emisión al rango de la luz visible.



**Foto 2.** Plaza de las Cachavas, Santander.

Este exceso de energía consumida ocasiona sobrecostes económicos reflejados en la facturas de la luz, un incremento del consumo de recursos naturales no renovables (caso de la energía procedente de centrales eléctricas abastecidas de combustibles fósiles). Son numerosos los ejemplos de sobreiluminación de nuestras ciudades. A modo de ejemplo tenemos los globos suspendidos de la Plaza de las Cachavas de Santander, que no solo contaminan el cielo nocturno por emitir su luz al hemisferio superior, sino por su excesivo número. (Ver foto 2)

Relacionada con los tipos de contaminación lumínica también encontramos la iluminación inhomogénea, consistente en tener zonas muy próximas iluminadas con intensidades muy diferentes. Aunque sólo las áreas iluminadas excesivamente suponen una contribución a la contaminación lumínica, una iluminación inhomogénea

provoca que el ojo humano no pueda acostumbrarse a las áreas oscuras con suficiente rapidez, dando lugar a situaciones innecesarias de peligro entre conductor y peatón. La solución a este problema no es una alta iluminación en toda la ciudad (sobre iluminación), sino una iluminación suficiente en intensidad y homogénea, de modo que el peatón y el conductor tengan la vista acomodada en todo el entorno.

No hay que dejar a un lado la contribución del exceso de iluminación a la contaminación atmosférica. Un estudio llevado a cabo por científicos de la agencia estadounidense NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y del Instituto CIRES (Cooperative Institute for research in Environmental Sciences), indica que el resplandor luminoso nocturno, generado por la luz artificial emitida por encima de la horizontal, interfiere en las reacciones químicas que de forma natural eliminan los contaminantes antropogénicos, tales como el ozono troposférico y el smog fotoquímico, que durante el día se generan principalmente provenientes del tráfico.

Durante las noches los compuestos de monóxido de nitrógeno (NO) reaccionan con radicales hidroxilos (OH) formando ácido nitroso (HONO), que resulta ser un compuesto estable durante la noche. Esta reacción hace que la cantidad de NO disponible sea menor a la mañana siguiente para la formación de smog fotoquímico, reacción que tiene lugar mediante la acción de la luz solar. Mediciones realizadas sobre la ciudad de Los Ángeles muestran que la luz de las ciudades durante las noches suprime los radicales de NO.

### 3.4 FUENTES DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Teniendo en cuenta que la contaminación lumínica es la suma de los efectos adversos provocados por una la luz artificial, el estudio de las fuentes se centra en el análisis de la propia generación de la luz artificial, el entorno donde se ubica y la propia utilización de la fuente. De este modo, como fuentes de contaminación lumínica no solo se deben entender las lámparas y luminarias generadoras de la luz artificial y su difusión directa al cielo nocturno, sino los pavimentos y superficies donde el haz de luz es reflejado.

En el estudio de las fuentes de contaminación lumínica es necesario el conocimiento de los procesos de generación de la luz artificial, la descripción de lámpara y luminarias existentes en el mercado y la reflexión en suelos y pavimentos.

#### 3.4.1 PROCESOS GENERADORES DE LUZ ARTIFICIAL

La luz artificial es consecuencia de la transformación de algún tipo de energía en energía radiante a través de un proceso que recibirá una denominación dependiendo de la energía inicial de partida.

Respondiendo a esta definición existen tres procesos fundamentales de generación de luz artificial:

- **Piroluminiscencia.** Es la obtención de luz por medio de la combustión de un material, generalmente un compuesto de carbono en el aire atmosférico. A

este procedimiento pertenecen las velas, antorchas, lámparas de aceite, lámparas de petróleo, etc.

La luz emitida en estos casos es una mezcla de radiación térmica, de las partículas de carbono y de la luminiscencia de los átomos ligeros presentes. En el caso de la presencia de átomos de sodio la llama será de color amarillento.

- **Incandescencia.** En este proceso la luz se obtiene por agitación térmica de los átomos del material con el que se ha hecho el filamento de la lámpara, que tiene un comportamiento similar a un radiador térmico, con una emisividad espectral próxima a la unidad.

El filamento debe estar en una atmósfera de vacío o bien en gases nobles (argón, nitrógeno, etc.), de no ser así se fundiría.

- **Luminiscencia.** Entendemos por luminiscencia como la radiación óptica producida por la excitación de átomos o moléculas de un material por diversas formas de energía, excluyendo la térmica.

Dentro de la luminiscencia, es la electroluminiscencia la tecnología que mayor campo de aplicación tiene en las fuentes artificiales de luz.

La electroluminiscencia es la luminiscencia (radiación) producida por el paso de una corriente eléctrica a través de una molécula de gas o material sólido.

La descarga en gases da lugar al estado de plasma. Este es el procedimiento utilizado en las denominadas lámparas de descargas.

La descarga en semi-conductores da lugar a diodos, emisores de luz. Los diodos son el alma de la tecnología LED.

Otro procedimiento utilizado en lámparas de alumbrado exterior es la fotoluminiscencia. Denominada como la luminiscencia producida por la absorción de la radiación óptica (fotones).

Distinguimos dos tipos de fotoluminiscencia: la fluorescencia y la fosforescencia.

La fluorescencia es una fotoluminiscencia, en la cual la emisión de radiación, resulta de transiciones directas de electrones entre el nivel de energía excitado y un nivel inferior.

La fosforescencia es una fotoluminiscencia retardada, como consecuencia del almacenamiento de energía, en un nivel intermedio.

### 3.4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS LÁMPARAS

Conocidos los procesos generadores de luz, es esencial estudiar las diferentes tecnologías de lámparas y luminarias utilizadas en el alumbrado exterior para poder analizar sus efectos sobre el cielo nocturno. No debemos olvidar que el porcentaje de difusión de la luz artificial depende de la tecnología de la lámpara y del diseño de la

luminaria empleada. Controlando estos dos aspectos minimizaremos los efectos de la luz artificial sobre el cielo nocturno.

Los principales parámetros de diseño de las lámparas son el flujo luminoso emitido (lúmenes), la potencia consumida (vatios), la eficiencia (lúmenes/watios), la temperatura de color (Kelvin), el índice de reproducción cromática y la vida útil.

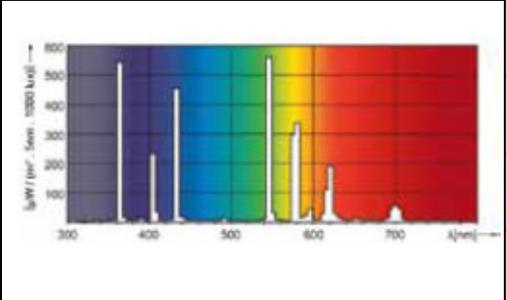
En este capítulo describiremos las familias de lámparas de descarga (vapor de mercurio, vapor de sodio: alta y baja presión, halogenuros metálicos: quemador cerámico o cuarzo, fluorescentes), de inducción y con tecnología LED por ser las que se comercializan en la actualidad, describiendo sus principales características, incluidas las relaciones con el espectro de emisión, parámetro estrechamente relacionado con la contaminación lumínica.

### 3.4.2.1 LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO

En las lámparas de vapor de mercurio, la luminiscencia se produce por una descarga eléctrica a través de una atmósfera de vapor de mercurio y un gas inerte (generalmente argón).

Este tipo de lámparas han sido las más utilizadas en el alumbrado exterior durante décadas para conseguir luz blanca pero en la actualidad está en extinción y prohibida en proyectos nuevos, por su reducida eficacia para la iluminación vial general (según real decreto 1890/2008, de 14 de noviembre). Además, el reglamento 245/2009, de 18 de marzo que traspone la directiva europea de diseño ecológico, prohíbe el uso de este tipo de lámparas 6 años después de la entrada en vigor de dicho reglamento.

Las características fundamentales de las lámparas de vapor de mercurio son:

Características		
Espectro azul-violeta. Temperatura de color 4000K.		
Baja reproducción cromática → IRC 40.		
Rendimiento lumínico entorno a los 60lm/W.		
Poco sensible a los cambios de tensión.		<b>% Emisión radiada</b>
Elevada intensidad de arranque (de 1,5 a 2 veces la nominal).		<440nm→25-50%
Tiempo de encendido entre 4 y 5 min.		<500nm→25-50%
Tiempo de reencendido entre 5 y 10 min.		>525nm→+50%

<sup>1</sup> Fuente: Guía técnica de adaptación de las instalaciones de alumbrado exterior al decreto 357/2010 de 3 de agosto.

### 3.4.2.2 LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO

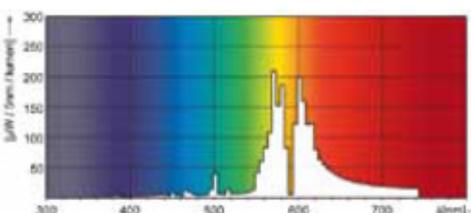
Las lámparas de descarga de vapor de sodio son similares en cuanto a funcionamiento a las lámparas de vapor de mercurio anteriormente descritas, diferenciándose en el gas presente en el interior del tubo de descarga, en este caso sodio y en las temperaturas de trabajo, superiores para las lámparas de vapor de sodio.

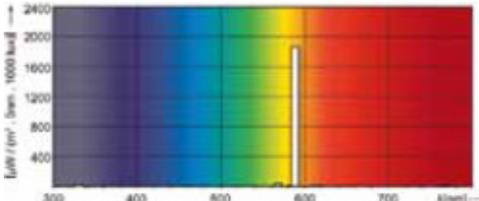
Las radiaciones producidas por este tipo de lámparas, se concentran en la zona central del espectro electromagnético visible, proporcionando tonalidades de luz amarillenta y altos rendimientos.

En base a la diferencia de la presión del sodio en el interior del tubo de descarga, obtenemos dos tipos de fuentes de luz y por tanto dos tipos diferentes de lámparas:

- Lámparas de vapor de sodio de alta presión.
- Lámparas de vapor de sodio de baja presión.

No se recomienda su uso en lugares donde se exijan niveles altos de reproducción cromática.

<b>LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN</b>		
<b>Características</b>		
Espectro amarillo dorado. Temperatura de color 2300K.		
Baja reproducción cromática → IRC 25.		
Rendimiento lumínico entorno a los 100lm/W.		
Intensidad de arranque (de 1,5 a 1,8 veces la nominal).		<440nm→0-5%
Tiempo de encendido entre 4 y 6 minutos.		<500nm→0-5%
Tiempo de reencendido entre 5 y 15 minutos.		>525nm→+50%

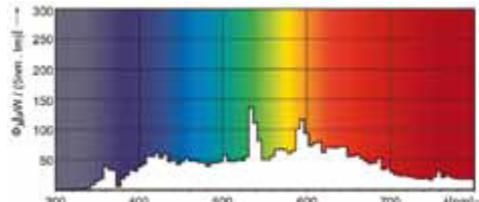
<b>LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO DE BAJA PRESIÓN</b>		
<b>Características</b>		
Espectro amarillo anaranjado. Temperatura de color 2000K.		
Nula reproducción cromática → IRC 0.		
Rendimiento lumínico entorno a los 180lm/W.		
Poco sensible a las variaciones de tensión.		<440nm→0-5%
Tiempo de encendido entre 3 y 7 minutos.		<500nm→0-5%
Tiempo de reencendido entre 7 y 12 minutos.		>525nm→+50%

### 3.4.2.3 LÁMPARAS DE HALOGENURO METÁLICO

Las lámparas de halogenuro metálico son similares a las de vapor de mercurio. La diferencia principal entre estos dos tipos, es que el tubo de descarga de la primera, contiene una cantidad de haluros metálicos (talio, indio, tulio, etc.,) además del mercurio, aportando nuevas líneas al espectro luminoso. Estos haluros son en parte vaporizados cuando la lámpara alcanza su temperatura normal operativa.

Se conocen dos grandes familias, según la construcción del quemador: cuarzo o cerámicos.

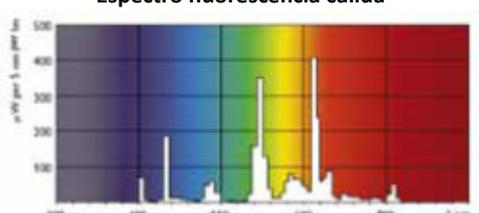
Su uso es indicado en aquellas zonas donde se quiera tener una iluminación de alto rendimiento cromático para actividades de ocio y comerciales, siempre y cuando estén en zonas urbanas alejadas de lugares con alta sensibilidad a la contaminación lumínica.

<b>Características</b>		
Espectro blanco. Temperatura de color 2800-5000K.		
Buena reproducción cromática → IRC 70-90.		
Rendimiento lumínico entorno a los 80lm/W.		
Sensible a las variaciones de tensión.	<p><b>Espectro halogenuro metálico cerámico cálido</b></p> 	<440nm→5-15%
Tiempo de encendido entre 3 y 5 minutos.		<500nm→5-15%
Tiempo de reencendido entre 4 y 15 minutos.		>525nm→+50%

### 3.4.2.4 LÁMPARAS FLUORESCENTES

El origen de las lámparas fluorescentes es la fotoluminiscencia. Es una lámpara a baja presión (de mercurio), en la cual se produce una radiación ultravioleta por efecto de dicha descarga, que activa unos polvos fluorescentes (recubriendo el tubo exterior), que transforman dicha radiación en luz visible.

En este tipo de lámparas, la mayoría de las radiaciones son ultravioletas y en menor proporción luz visible. Se recomienda su uso en lugares donde se requiera un índice de reproducción cromática alto, aunque tenga en contrapartida bajos niveles de iluminación.

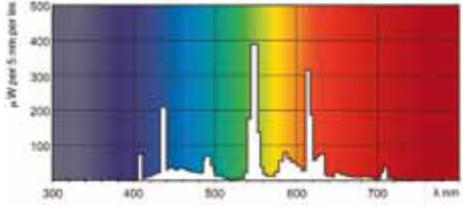
Características		
Espectro blanco. Temperatura de color 2700-5000K.		
Buena reproducción cromática → IRC 80.		
Rendimiento lumínico entorno a los 80lm/W.		
Baja luminancia.		<440nm→5-15%
Tiempo de encendido casi inmediato.		<500nm→15-25%
Tiempo de reencendido casi inmediato.		>525nm→+50%

### 3.4.2.5 LÁMPARAS DE INDUCCIÓN

Las lámparas de inducción funcionan por el principio de luminiscencia inducida a través de un campo electromagnético.

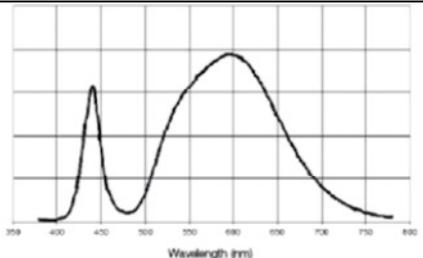
Podemos considerar a este tipo de lámpara como mixta entre una fluorescente y de vapor de mercurio, pero que tiene como singularidad su principio de funcionamiento, es decir la inducción que se produce en un circuito secundario, cuando pasa corriente por el primario.

Al igual que la lámpara fluorescente, la lámpara de inducción presenta un alto índice de reproducción cromática y un bajo nivel de iluminación.

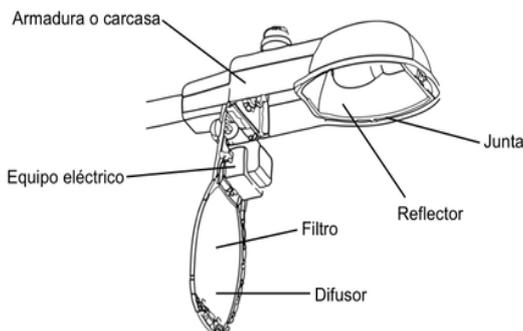
Características		
Espectro blanco. Temperatura de color 3000-5000K.		
Buena reproducción cromática → IRC 80.		
Rendimiento lumínico entorno a los 80lm/W.		
Baja luminancia.		<440nm→5-25%
Tiempo de encendido casi inmediato.		<500nm→25-50%
Tiempo de reencendido casi inmediato.		>525nm→+50%

### 3.4.2.6 LED

Los LEDs (Light Emitting Diode) son diodos emisores de luz, formados por varias capas de material semiconductor, que producen luz por electroluminiscencia, cuando se aplica la tensión adecuada, en corriente continua, a un diodo que contiene una unión p-n. Su aplicación en la iluminación tanto exterior como interior es relativamente nueva y está en constante desarrollo.

Características		
Espectro blanco. Temperatura de color 3000-5000K.		
Buena reproducción cromática → IRC 90.		
Rendimiento lumínico entorno a los 80lm/W.		
Bajo consumo.		<440nm→5-15%
Tiempo de encendido casi inmediato.		<500nm→15-25%
Tiempo de reencendido casi inmediato.		>525nm→+50%

### 3.4.3 TIPOLOGÍA DE LUMINARIAS



La norma UNE-EN-60598-1 define la luminaria como “aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma, la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende, todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas, y en caso necesario, los circuitos auxiliares, en combinación con

los medios de conexión con la red de alimentación”.

Los elementos básicos de una luminaria son la armadura, el reflector, el equipo auxiliar, el difusor y los filtros.

- **La armadura.** Es la carcasa de la luminaria y es donde se integran todos los componentes de la luminaria. Los materiales utilizados para su construcción son ligeros, resistentes y duraderos, siendo los materiales más utilizados para su construcción la chapa de acero, la chapa de aluminio y materiales plásticos.

Las armaduras de las luminarias destinadas al alumbrado exterior se construyen para soportar la lluvia y los rayos solares.

- **El reflector.** Es una superficie especular diseñada para reflejar la máxima cantidad de luz en las direcciones deseadas. Debe tener la forma adecuada a la distribución de iluminación requerida, ser resistente a la corrosión y debe estar alojado en una ubicación con la máxima estanqueidad y de fácil acceso para su limpieza. Los últimos avances en reflectores permiten reducir la potencia de las lámparas y mejorar la uniformidad de la luz.

Los reflectores están compuestos de una fina capa de acero esmaltado, de aluminio anodizado o de vidrio azogado.

- **Equipos auxiliares.** Los equipos auxiliares lo constituyen el portalámparas y el resto de equipos necesarios para el funcionamiento de la lámpara, tales como arrancadores, condensadores, balastos, cableado,....
- **Difusor.** Es el cierre de la luminaria y la parte principal por donde sale el flujo luminoso, teniendo como misión difundir la radiación para evitar deslumbramientos. Suelen ser de vidrio plano, metacrilato o policarbonato. Las superficies a su vez son lisas o granuladas.
- **Filtros.** Los filtros se acoplan con los difusores con la misión de potenciar o mitigar algunas de las características de la radiación. Sirven para evitar la radiación ultravioleta o infrarroja y polarizar la luz en un determinado plano.

Desde el punto de vista de la contaminación lumínica, podemos caracterizar las luminarias según 3 grados, de forma que se pueda considerar una u otra luminaria en función de su uso y el grado de afección a esta problemática.

- **Grado1:** Según el uso que le demos tenemos las luminarias funcionales, ambientales o específicas.
- **Grado2:** Este grado corresponde al lugar de implantación y sus necesidades estéticas.
- **Grado3:** Se diferencia según la distribución fotométrica de la luminaria.

Además, es de gran importancia cuantificar el flujo emitido al hemisferio superior ( $FHS_{INT}$ ), según la tipología y fotometría de las luminarias.

Por tanto, la caracterización de las luminarias según estos 3 grados y el  $FHS_{INT}$  quedaría resumida en la Tabla 2. Tipologías de luminarias y distinción según fotometría.

TIPOLOGÍA		DISTINCIÓN SEGÚN FOTOMETRÍA	$FHS_{INT}$
GRADO 1	GRADO 2	GRADO 3	
FUNCIONAL	VIAL	Cierre plano.	1%
		Cierre curvo grabado o traslúcido.	10%
		Sin cierre.	10%
	ESTILO	Cierre plano.	1%
		Cierre curvo grabado o traslúcido.	5%
AMBIENTAL	URBANO	Con grupo óptico integrado en cuerpo y cierre plano.	1%
		Con grupo óptico integrado en cuerpo y cierre curvo grabado o traslúcido.	5%
		Con protección física superior considerable.	15%
		Con protección física superior considerable y cierre transparente con lamas ópticas.	10%
		Sin protección superior. Emisión en todas direcciones.	50%
		Sin protección superior. Emisión en todas direcciones con lamas ópticas.	30%
	JARDÍN	Con grupo óptico integrado en cuerpo y cierre plano.	1%
		Con protección física superior considerable. Lámparas ubicadas en parte central.	30%
		Con protección física superior considerable. Lámparas ubicadas en parte central con lamas ópticas.	20%
	ÉPOCA	Con grupo óptico integrado en cuerpo y cierre plano.	5%
		Con protección física superior considerable. Lámparas ubicadas en parte central.	35%
		Con protección física superior considerable. Lámparas ubicadas en parte central con lamas ópticas.	20%
ESPECÍFICO	PROYECTOR	----	---
	BALIZA	----	---
	SINGULAR Y OTROS	----	---

Tabla 2. Tipologías de luminarias y distinción según fotometrías.

Además de esta clasificación, cada luminaria está identificada por:

- **Su grado de protección eléctrica.** Clase 0, Clase I, Clase II y Clase III.
- **Su grado de protección contra el polvo y la humedad.** Este grado de protección se define con las siglas IP seguido de 2 cifras (en algunos países 3).

La primera cifra representa el grado de protección contra el polvo y la segunda marca el grado de protección al agua.

- **Su grado de protección contra impactos.** Caracterizado por las siglas IK y dos cifras que van del 00 al 10. Este código representa la resistencia al choque que produce el impacto de una masa que golpea desde una determinada altura, expresando su energía en julios.
- **Su grado de inflamabilidad de la superficie de montaje.** En este caso se clasifican las superficies de montaje en tres categorías, superficies no combustibles, superficies normalmente inflamables y superficies no inflamables.



Ilustración 11. Ejemplo luminarias.

### 3.4.4 PAVIMENTOS Y SUPERFICIES REFLECTANTES

La reflexión es otro factor condicionante en el estudio de la contaminación lumínica.

La luminosidad en pavimentos y superficies reflectantes está relacionada con las propiedades fotométricas de las mismas. De modo que, la cantidad de luz reflejada así como su distribución espacial y espectral depende del tipo, color y estado superficial del pavimento/superficie reflectante, así como de la propia instalación de alumbrado.

En las instalaciones de alumbrado exterior nos encontramos múltiples obstáculos que provocan reflexiones en todas las direcciones. Para minimizar sus efectos, es necesario limitar los niveles de iluminación a lo estrictamente necesario. Una uniformidad en la iluminación supone niveles luminotécnicos inferiores y por tanto una menor reflexión.

Aunque la gran diversidad de tipos de pavimentos/superficies reflectantes existentes en el ambiente urbano: calzadas, aceras, pinturas, fachadas, mobiliario urbano, etc. así como su estado superficial: desgaste, aceite, polvo, etc. dificulta el

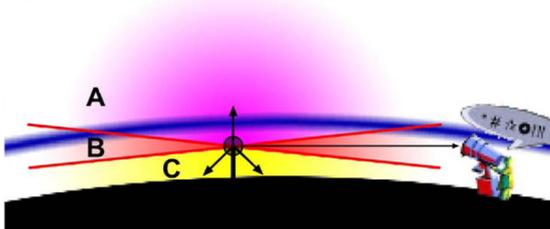
estudio en profundidad del fenómeno de la reflexión, se deben tener en cuenta en el diseño de vías y construcciones, las propiedades reflexivas de los materiales utilizados, con el fin de obtener la máxima luminancia y uniformidad en la iluminación y una menor reflexión.

De forma simplificada, los parámetros fotométricos que determinan la reflexión de la luz son el coeficiente de luminancia media y el factor especular de los materiales que conforman las superficies. Para una misma iluminancia, cuanto mayor es el coeficiente de luminancia media del pavimento, mayor resulta la luminancia de la calzada y menor el deslumbramiento perturbador. Además, cuanto menor es el factor especular, mayor es la uniformidad que se consigue en el alumbrado.

### 3.5 CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

No toda la luz generada por una luminaria se transmite en línea recta o hacia la zona que queremos iluminar, sino que parte de la misma se esparce, propagándose en todas direcciones (ver ilustración 12). Concretamente en relación al resplandor nocturno (ver capítulo 3.3), la emisión de luz contaminante procedente del conjunto de luminaria y lámpara es debida a la emisión directa al hemisferio superior, al difusor que dirige parte del haz luminoso en esas direcciones o a la reflexión en las superficies/pavimentos.

- A Emisión hacia arriba: se desaprovecha por completo y contamina localmente
- B Emisión en la horizontal: no se aprovecha, es deslumbrante y contamina a larga distancia
- C Emisión hacia abajo: luz aprovechada



**Ilustración 12.** Esquema general de las distintas direcciones de emisión en la generación de contaminación lumínica. Fuente: Fernando Jaúregui y Cielo Buiro.

En el caso de la luz intrusa, tiene su origen en la emisión de luz en direcciones inadecuadas, que no tienen por qué estar en el hemisferio superior.

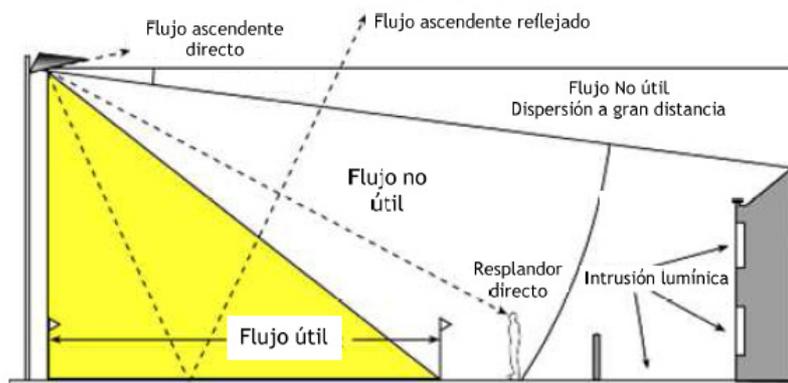
La dirección del flujo luminoso está estrechamente relacionada con el diseño de la luminaria e influye directamente sobre los niveles de contaminación lumínica. En una luminaria podemos distinguir distintos tipos de flujo en función de su dirección (ver ilustración 13):

- **Flujo útil.** Se define como la luz enviada a la zona objeto de ser iluminada.
- **Flujo ascendente directo,** definido como la proporción de flujo luminoso emitido sobre el plano horizontal de la luminaria respecto del flujo total emitido. Se conoce también como Flujo Hemisférico Superior y es un parámetro utilizado al seleccionar el tipo de luminaria para minimizar la contaminación lumínica y el cumplimiento de la normativa vigente. Como más adelante se comentará, el uso de este parámetro debe realizarse con ciertas reservas.
- **Flujo ascendente reflejado.** Es el flujo luminoso proyectado por encima de la horizontal y reflejado por el pavimento u otros obstáculos. La contribución al

resplandor luminoso nocturno es aproximadamente 10 veces inferior a la contribución que supone el flujo ascendente directo.

- **Flujo no útil.** Es la luz desaprovechada que ilumina las zonas no establecidas en el diseño inicial de la instalación.

En función de la luminaria seleccionada, los flujos emitidos por la fuente de luz variarán, haciendo que la contaminación lumínica se manifieste de formas diferentes aumentando o minimizando efectos adversos como el resplandor luminoso, el deslumbramiento y la intrusión de luz en viviendas.



**Ilustración 13.** Clasificación del flujo de luz en función de la dirección de emisión desde la luminaria. Fuente: The Institution of Lighting Engineers, modificado.

Por tanto, un control en la elección de las lámparas y de las luminarias a instalar en el alumbrado exterior, supone una menor difusión de la luz artificial hacia el cielo, un mayor control de la reflexión en pavimentos/superficies reflectantes, un menor deslumbramiento e índices de luz intrusa, obteniendo como resultado una menor incidencia de la contaminación lumínica.

En cuanto a las lámparas, el análisis del esparcimiento de la luz comentado en el capítulo 3.2, arroja que existe una mayor difusión en la atmósfera en el caso de luces artificiales que emiten radiaciones en longitudes de onda corta. Por ejemplo, las lámparas de vapor de mercurio emiten más proporción de luz azul produciendo mayor resplandor luminoso que las lámparas de vapor de sodio que emiten en longitudes de onda más largas (banda del rojo).

Como ya reflejamos al inicio del capítulo, los efectos de la luz artificial sobre el cielo nocturno y nuestro entorno, no solo está determinado por la cantidad sino por la dirección de la emisión. Por este motivo, para su control es necesario contar con parámetros que tengan en cuenta esa dirección. Aunque el parámetro más utilizado en el ámbito luminotécnico (y que se ha incorporado a las normativas en vigor), es el flujo hemisférico superior instalado o  $FHS_{INT}$  de una luminaria (proporción en tanto por ciento, del flujo luminoso radiado por encima del plano horizontal, respecto al flujo total, por un dispositivo luminotécnico de alumbrado exterior instalado en su posición normal de diseño), este no resulta del todo adecuado. 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.

Para entender la relativa eficacia de los distintos límites permitidos de  $FHS_{INT}$  regulados en la normativa vigente, vamos a analizar sus valores. Si consideramos que la fracción de flujo reflejada por el suelo es aproximadamente el 10% del flujo total emitido por una luminaria, tenemos que por cada 100 lm emitidos desde una luminaria, 10 lm son reflejados irremediamente hacia arriba. Si se permite, por ejemplo, que otros 3 lm sean emitidos directamente hacia el cielo desde la luminaria ( $FHS_{INT}=3\%$ ), el flujo hemisférico superior del conjunto sería unos 13 lm, lo que supone un aumento de contaminación lumínica debida al  $FHS_{INT}$  de aproximadamente el 30% sobre lo ya inevitable por la reflexión del suelo. La tabla 3 elaborada por el grupo de trabajo GT-LUZ del 9º Congreso Nacional de Medio Ambiente muestra con más detalle el drástico aumento de la contaminación lumínica con valores crecientes de  $FHS_{INT}$  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

Tabla 3. Análisis  $FHS_{INT}$ .

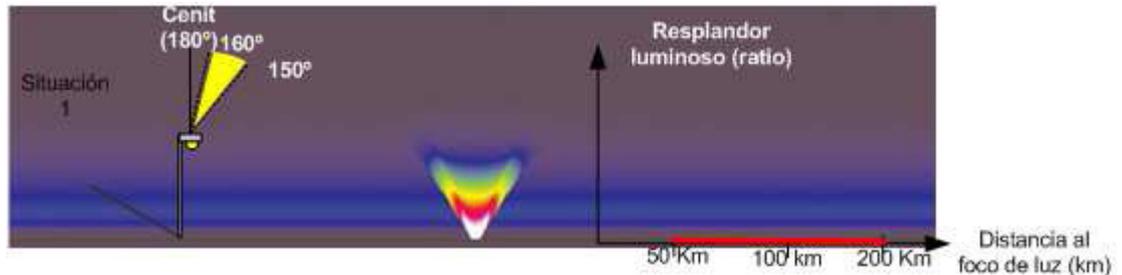
Vemos que un  $FHS_{INT}$  del 25% como el que permiten las leyes en vigor, supone triplicar (333%) la contaminación lumínica con respecto a la inevitable reflexión del suelo. Podríamos, no obstante, pensar que un incremento del 5-10% se considera admisible y, por tanto admitir que un  $FHS_{INT}$  entre 0,5 y 1% puede ser razonable. Pero, avances científicos en la modelización del resplandor luminoso concluyen que no todas las direcciones de la luz artificial contribuyen de la misma forma al resplandor luminoso nocturno. Un estudio publicado por el American Institute of Physics<sup>2</sup>, concluye que:

- Dependiendo del ángulo de emisión de la luz, la distancia de dispersión variará desde unos metros hasta cientos de kilómetros, tanto si la luz se emite al Hemisferio Superior como al Hemisferio Inferior.
- El resplandor luminoso nocturno aumenta con la cantidad de luz que se emite al Hemisferio Superior, pero no de forma proporcional.

Además el estudio destaca que:

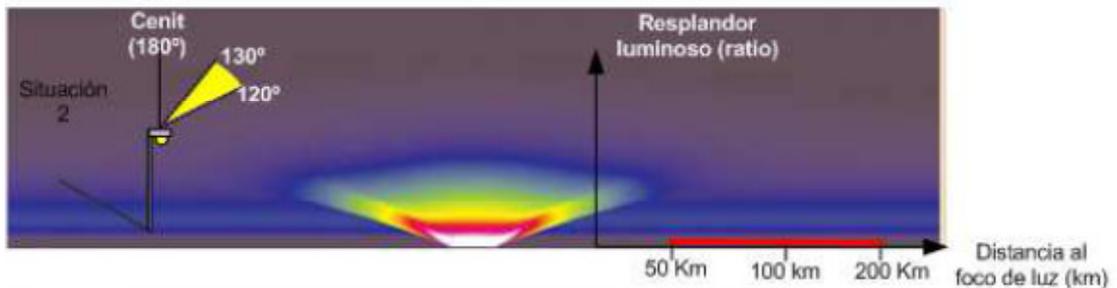
<sup>2</sup> Luginbuhl C.B. Walter C.E and Wainscoat R.J. Lighting and astronomy. 2009 American Institute of Physics, S-0031-9228-0912-010-0.

- Cuando el ángulo de emisión es cercano al cenit, la distancia a la que se propaga la luz es menor. En la ilustración 14, se aprecia que el cono es muy pronunciado cuando la luz se emite en un ángulo entre 160-150°. A medida que la luz se emite más cerca de la horizontal el cono es más abierto y la luz se dispersa a distancias mayores.



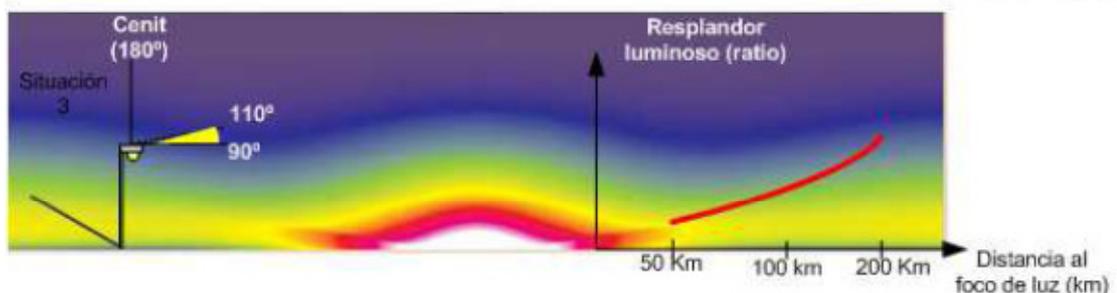
**Ilustración 14.** Relación de la distancia a la que se dispersa la luz con ángulos cercanos al cenit. Fuente: American Institute of Physics.

- Para un ángulo de emisión entre 120° y 130°, el efecto del resplandor luminoso no se aprecia a 50 Km de distancia del foco de luz. Es a partir de un ángulo de 110° cuando el resplandor luminoso nocturno se aprecia a distancias de cientos de kilómetros. (Ver ilustración 15).



**Ilustración 15.** Relación de la distancia a la que se dispersa la luz con ángulos cercanos al cenit. Fuente: American Institute of Physics.

- Para ángulos de emisión de flujo cercanos a la horizontal, la dispersión de la luz alcanza distancias de cientos de kilómetros, suponiendo una afección de alcance global. (Ver ilustración 16).



**Ilustración 16.** Relación de la distancia a la que se dispersa la luz con ángulos cercanos al cenit. Fuente: American Institute of Physics.

Como conclusión tenemos que la luz emitida 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 y aumentando los niveles 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. Por tanto, aunque las luminarias eficientes presentan valores de  $FHS_{INT}$  pequeños (menos del 5% del total del flujo emitido), este exceso, tiende a emitir en ángulos pequeños en torno a la horizontal y según lo expuesto más contaminantes.

En definitiva, un criterio fundamental en el control de la contaminación lumínica 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 (candelas por 1000 lúmenes) a 90° en su curva de distribución polar (es decir, la representación del flujo recibido por la superficie a iluminar directamente desde la luminaria en función del ángulo) o más sobre el plano horizontal (con una tolerancia de 0,5 cd/klm) para cualquier luminaria pública o privada (salvo excepciones fuertemente justificadas).

En el caso del impacto sobre superficies, objetos o sujetos que no es necesario iluminar (reflexión), 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.

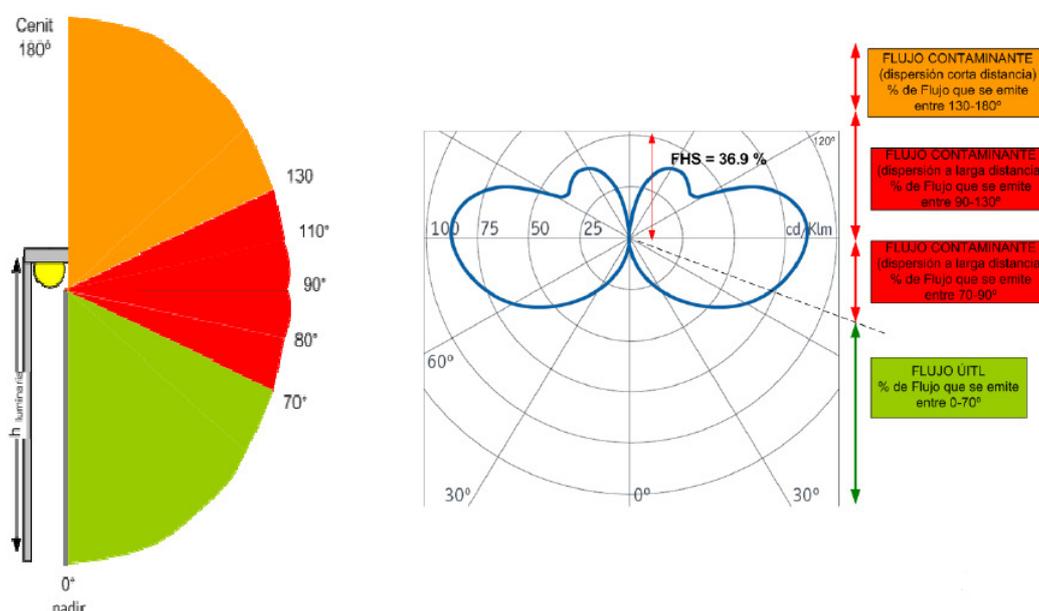
Además, el ángulo con el que se emita la luz hacia el suelo (hemisferio inferior), influirá en la distancia a la que se propaga la luz, igual que ocurre con la luz que se emite hacia el hemisferio superior. Esta se incrementa, cuanto mayor es el ángulo de emisión del flujo desde la luminaria. A su vez, la distancia de propagación es proporcional a la altura de la farola. Cuando el ángulo de emisión es cercano a 90°, la luz se propaga hasta el infinito, en línea recta a partir de la horizontal de la luminaria.

El diseño de luminarias está en continuo avance, estudios recientes destacan que las luminarias con cerramientos de vidrio curvo transparente proporcionan una mejor distribución del flujo luminoso que el plano, ya que optimizan la relación entre el flujo directo y el reflejado al hemisferio superior. En cuanto a la emisión del haz luminoso hacia el hemisferio inferior, unas de las medidas tomadas en el diseño del alumbrado exterior es la de reducir la altura de las luminarias de 10-12 metros de altura a 4 metros, con el objeto de conseguir un mayor control sobre el flujo y uniformidad.

Por todo lo anteriormente expuesto, se puede utilizar la siguiente clasificación de ángulos de emisión de las luminarias, publicada por la Asociación de Ingenieros en iluminación de Norte América (IESNA) en la norma IESNA TM 15-11 (Luminaire

Classification System for Outdoor Luminaries), para el diseño e instalación del alumbrado exterior (ver ilustración 17):

- **Ángulos [0 -70°]:** Es el ángulo para el que la distribución de la luz es ideal.
- **Ángulos [70 o -130°]:** Este rango contribuye al resplandor luminoso a escala global (propagación de la luz a gran distancia). Estos ángulos de emisión provocan intrusión lumínica en viviendas o espacios que no son objeto de ser iluminados.
- **Ángulos [130 o -180°]:** Contribución al resplandor luminoso a escala local (propagación de la luz a corta distancia).



**Ilustración 17.** Clasificación de los ángulos de emisión de las luminarias en función del efecto contaminante que causan. Fuente: Gestión pública del alumbrado exterior para la minimización de la contaminación lumínica. Instituto para la sostenibilidad de BIKAIA.

A grandes rasgos, en el diseño de toda instalación de alumbrado exterior que pretenda minimizar los efectos de la contaminación lumínica provocados por la luz artificial se debe tener en cuenta (ver recomendaciones caso práctico capítulo 10):

- No emitir luz por encima del plano horizontal (es decir, el Flujo hacia el Hemisferio Superior instalado de la luminaria debe ser nulo) y preferiblemente con ángulos comprendidos entre 0 y 70°, de modo que se limite la emisión directa de luz al cielo y hacia los lados.
- No sobreiluminar el suelo, considerando como máximos los niveles recomendados en el Real Decreto 1890/2008, limitándose la emisión indirecta de luz hacia arriba por reflexión.
- No usar luz blanco-azulada, limitando el espectro de emisión de tal forma que se evite una intensidad en longitudes de onda inferiores a 540 nanómetros de

modo que las afecciones a la salud no se incrementen respecto a la situación de partida actual y se minimice el esparcimiento en la atmósfera. Se aconseja instalar luminarias de VSAP y LED (con temperatura de color blanco cálido) en zonas próximas a áreas de especial protección.

### 3.6 MEDIDA DEL BRILLO ARTIFICIAL DEL CIELO NOCTURNO

El brillo del fondo del cielo constituye la manifestación más conocida de la contaminación lumínica. Aunque como hemos ido desarrollando en el presente documento, este no se trate del único aspecto importante del problema, sí es el que más afecta a la astronomía (a nivel profesional y amateur), destacando como el principal responsable de la degradación del cielo nocturno, considerado como parte integrante del paisaje natural.

En astronomía se utiliza las magnitudes estelares para determinar el brillo aparente de un astro. La rama de la astronomía que nos permite cuantificar el brillo de los astros se denomina fotometría astronómica.

Para determinar el brillo de un astro es imprescindible conocer y medir el brillo del fondo del cielo y por este motivo, se hace necesario conocer el brillo artificial del cielo ocasionado por la difusión de la luz artificial.

En la medición del brillo aparente de una fuente hay que elegir la región del espectro en la que se pretende efectuar la medida, especificando un intervalo de longitudes de onda sin límites bruscos, es decir, eligiendo 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. La fotometría astronómica determina la energía que se recibe de un astro puntual dentro del intervalo de longitudes de onda definido, de manera que, cuanto más brillante es un objeto menor resulta su magnitud estelar. 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.



**Foto 3.** Instrumental básico para la medida del fondo del cielo. Fuente: Revista Astronomía.

La selección que el ojo humano realiza de manera natural (efectúa 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 es menos eficaz hacia ondas menores y mayores, de modo que la sensibilidad decae a la mitad para 510 nm y para 600 nm, y es prácticamente cero en 420 nm y 700 nm) se puede emular de modo artificial por medio de filtros, y así se hace en astronomía: si se desea medir el brillo de un astro en las longitudes de onda azules, 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.

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. De modo que, 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 (están centradas en el espectro visible). La aproximación más razonable al problema consiste en emplear las mismas técnicas y unidades que se manejan en fotometría astronómica y no en luminotécnica. 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.

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 dirigir el aparato de medida (telescopio equipado de un detector de algún tipo, como película fotográfica, fotómetro fotoeléctrico, cámara CCD u otros. Ver foto 3) 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.

Para determinar el brillo del fondo del cielo, se considera el propio fondo como el objeto problema cuyo brillo hay que cuantificar. Se trataría de seguir de manera muy esquemática los siguientes pasos:

- 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.
- 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.
- La señal de la estrella estándar se deduce tomando la medida del paso 1 sustrayéndole la medida del paso 2. La medida del fondo de cielo es el resultado del paso 2.
- 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.

## **3.7 COMPROBACIÓN DE NIVELES LUMINOTÉCNICOS EN EL ALUMBRADO EXTERIOR**

### **3.7.1 NIVEL DE ILUMINANCIA**

Generalmente se realiza la comprobación de los niveles de iluminancia con un luxómetro en los puntos de una cuadrícula regular que cubra toda la zona de estudio. La medida es más exacta cuanto más densa es la cuadrícula.

Una distancia entre puntos de medida igual a la interdistancia de puntos de luz/5 acostumbra a ser suficiente para una buena aproximación.

Como método simplificado de medida de la iluminancia se utiliza el denominado “sistema de los nueve puntos”, donde a partir de la medición de la iluminancia en quince puntos de la calzada, se determina la iluminancia media horizontal ( $E_m$ ) mediante una media ponderada.

### 3.7.2 NIVEL DE LUMINANCIA

Hay casos en los que la reglamentación fija el nivel de luminancia como criterio (señales y rótulos, fachadas, etc.). En este caso, la práctica de medición es menos conocida y los instrumentos necesarios no suelen ser asequibles.

La comprobación se efectúa por medidas, mediante lecturas de luminancímetro.

El uso de este método solo está recomendado para superficies verticales como fachadas, y no para vías de circulación, aceras, etc.

Se sitúa el instrumento a una distancia de la superficie a medir que sea como mínimo superior a la mitad de su altura ( $H/2$ ) y se enfoca a puntos de la misma que formen aproximadamente una cuadrícula regular de como mínimo 25 puntos. El promedio de las medidas efectuadas debe cumplir los valores indicados en la reglamentación vigente para dicho caso.

Si no se dispone de un luminancímetro, las medidas en los puntos a estudiar se pueden tomar con un luxómetro, con la célula apoyada en la superficie vertical y dirigida hacia el exterior. Para llegar a los puntos altos, será necesaria una plataforma elevadora. La lectura media de los valores de iluminación, se debe multiplicar por un factor R correspondiente al tipo de superficie objeto de estudio según lo establecido en la reglamentación vigente.

### 3.7.3 CÁLCULO APROXIMADO DEL $FHS_{INT}$

Aunque la medición exacta de este parámetro debe realizarse en un laboratorio debidamente certificado, se puede conocer un valor aproximado del  $FHS_{INT}$  de una luminaria, para ello se debe efectuar algunas medidas representativas ( $S_n$ ) de nivel de iluminación en el hemisferio superior al plano horizontal que cruza la luminaria, y asimismo medidas ( $I_n$ ) en el hemisferio inferior, con un luxómetro. A partir de estas medidas se puede determinar:

$$FHS_{INT} = \frac{\sum S_n}{(\sum S_n + \sum I_n)}$$

$\sum S_n$  = Proporcional a Flujo hemisférico superior

$\sum I_n$  = Proporcional a Flujo hemisférico inferior

Flujo total luminaria= Flujo hemisférico superior+Flujo hemisférico inferior

Las medidas deben tomarse a cierta distancia de la luminaria (un valor de 3 metros sería óptimo) y a intervalos angulares regulares, por ejemplo de 30°. Esto proporciona 3 mediciones Sn y 3 mediciones In.

Los puntos de medición se alcanzan mediante escalera o plataforma. La célula del luxómetro debe colocarse perpendicular a la luz incidente; ello puede comprobarse orientando lentamente la célula: el valor máximo obtenido es el que debe ser tenido en cuenta.

## 4 MARCO LEGAL DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

El marco legal que regula la contaminación lumínica en España, al contrario de lo que podía pensarse no se desarrolla como el control de otros aspectos ambientales, donde las instituciones de un grado competencial superior, establecen unos mínimos a seguir, y las instituciones con competencias locales trasponen y aplican la normativa de rango superior a los ámbitos territoriales dentro de sus competencias.

En el caso de la contaminación lumínica la regulación se inicia a nivel local (Ley de Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias y las Ordenanzas Municipales de Tárrega, Santander, Castro Urdiales, Córdoba, Burgos y Andoain) y es en 2008 cuando se aprueba a nivel estatal el Reglamento de Eficiencia energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior.

A modo de resumen, actualmente el mapa del marco legislativo en esta materia sería el siguiente:

### ***Ámbito Estatal:***

- Ley 31/1988, de 31 de octubre, sobre Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias.
  - Real Decreto 243/1992, de 13 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley 31/1988, de 31 de octubre, sobre protección de la calidad astronómica de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias.
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- 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 técnica complementarias EA-01 a EA-07.

## Ámbito Autonómico:

### CATALUÑA

- Ley 6/2001, de 31 de mayo, de Ordenación Ambiental del Alumbrado para la Protección del Medio Nocturno. Nótese que el Real Decreto 82/2005 que desarrollaba esta ley fue derogada en 2011.

### BALEARES

- Ley 3/2005, de 20 de abril, de protección del cielo nocturno de las Illes Balears.

### NAVARRA

- Ley 10/2005, de 9 de noviembre, de ordenación del alumbrado para la protección del medio nocturno.
  - Decreto 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 6/2006, de 9 de junio, de prevención de la Contaminación Lumínica.
  - Decreto 48/2010, de 11 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento por el que se desarrolla parcialmente la 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
  - Decreto 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética.

### CASTILLA Y LEÓN

- Ley 15/2010, de 10 de diciembre, de prevención de la contaminación lumínica y del fomento del ahorro y eficiencia energéticos derivados de instalaciones de iluminación.

## Ámbito Local:

- Ayuntamiento Tarrega (Cataluña, 1998).
- Ayuntamiento de Córdoba (Andalucía, 1999).
- Ayuntamiento de Burgos (Castilla y León, 2000).
- Ayuntamiento de Castro Urdiales (Cantabria, 2003).
- Ayuntamiento de Santander (Cantabria, 2004).
- Ayuntamiento de Andoain (País Vasco, 2007).
- Ayuntamiento de Valencia-Parque natural de la Albufera (Comunidad Valenciana, 2007).
- Ayuntamiento de Murcia. (Región de Murcia, 2011).

### 4.1 Ley 31/1988- Real Decreto 243/1992

La calidad del cielo de La Palma, referente mundial para la observación del cielo nocturno, se debe a la aplicación de la Ley 31/1988 sobre protección de la calidad astronómica de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias, más conocida como “La ley del cielo”.

Esta ley nació con el fin de garantizar la actividad investigadora y preservar la calidad astronómica de las observaciones realizadas en los Observatorios del Instituto Astrofísico de Canarias (IAC).

Esta ley fue pionera en la protección integral ante la contaminación lumínica, radioeléctrica y atmosférica, otorgando al IAC la potestad para emitir un informe preceptivo en todos los expedientes de solicitud de licencia de:

- Instalaciones de alumbrado exterior.
- Emisoras radioeléctricas con potencia emisora superior a 250 vatios.
- Establecimiento de industrias, actividades o servicios que hayan de situarse por encima de 1.500 metros de altitud.

Respecto al alumbrado exterior, la mencionada ley limita la emisión de flujo al hemisferio superior declarando en su artículo 2 que “la iluminación de exteriores, excluidas las precisas para garantizar la navegación aérea, deberán evitar la emisión de luz por encima del horizonte y habrán de realizarse de forma que produzcan la mínima perturbación de las observaciones astronómicas conforme se determine reglamentariamente”.

En 1992 se aprobó el reglamento que desarrollaba la Ley del cielo, dedicando el capítulo primero a regular el alumbrado exterior. De este reglamento cabe destacar los siguientes artículos, referentes para el resto de normativas tanto a nivel local, autonómico y nacional:

- **Art. 7.** En todo alumbrado exterior la distribución espectral de la luz emitida por las lámparas ha de ser tal que la suma de las radiancias espectrales para

todas las longitudes de onda menores de 440 nm sea inferior al 15 por 100 de su radiancia total. Si es superior deberá aplicarse un filtro que cumpla el límite anterior. El filtro deberá ser sometido a inspección con una periodicidad mínima de dos años.

- **Art. 8.** Las luminarias para alumbrado vial deben estar construidas de modo que toda la luz emitida se proyecte por debajo del plano horizontal tangente al punto más bajo de luminaria. Las luminarias deben instalarse sin ninguna inclinación.
- **Art. 9.** En el alumbrado vial las únicas lámparas permitidas serán las de vapor de sodio a baja presión. El uso de las de alta presión podrá autorizarse únicamente en determinadas zonas urbanas y siempre con la correspondiente autorización o licencia.
- **Art. 11.** Las instalaciones de alumbrado vial dispondrán bien de dispositivos para controlar el flujo luminoso o bien de doble lámpara por luminaria que permitan reducir el flujo luminoso a un tercio del normal a partir de las doce de la noche, sin detrimento de la uniformidad. Esta reducción no será aplicable cuando la iluminancia normal sea inferior a los niveles establecidos para la seguridad vial.

Con esta ley y su posterior reglamento, el IAC inició una nueva forma de entender la iluminación de exteriores que se ha extendido, tanto a nivel nacional como mundial. Han impulsando de manera eficaz un alumbrado inteligente que ha provocado un ahorro energético, una reducción del impacto ambiental y unos cielos limpios en la isla de La Palma. Desde el IAC se esfuerzan en transmitir el mensaje de que los cielos protegidos ante la contaminación lumínica no solo son un recurso para estudios científicos, sino un patrimonio para la humanidad.

## 4.2 REAL DECRETO 1890/2008

El Real Decreto 1890/2008 desarrolla 7 instrucciones técnicas complementarias con el fin de establecer las condiciones técnicas de diseño, ejecución y mantenimiento que deben reunir las instalaciones de alumbrado exterior, para la mejora de la eficiencia y el ahorro energético, así como la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además de limitar el resplandor luminoso nocturno o contaminación luminosa y reducir la luz intrusa o molesta.

El reglamento desarrollado por el real decreto consta de las siguientes instrucciones técnicas:

- Instrucción Técnica Complementaria EA – 01. Eficiencia Energética.
- Instrucción Técnica Complementaria EA – 02. Niveles de iluminación.
- Instrucción Técnica Complementaria EA-03. Resplandor luminoso nocturno y luz intrusa molesta.
- Instrucción Técnica Complementaria EA -04. Componentes de las instalaciones.

- Instrucción Técnica Complementaria EA- 05. Documentación técnica, verificaciones e inspecciones.
- Instrucción Técnica Complementaria EA- 06. Mantenimiento de la eficiencia energética de las instalaciones.
- Instrucción Técnica Complementaria EA-07. Mediciones luminotécnicas en las instalaciones de alumbrado.

#### 4.2.1 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-03. RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO Y LUZ INTRUSA Y MOLESTA.

De las 7 instrucciones técnicas desarrolladas en el reglamento, es la EA-03 la que aborda la problemática de la contaminación lumínica, objeto del presente proyecto.

La EA-03 realiza una clasificación de diferentes zonas en función de su protección contra la contaminación lumínica, según el tipo de actividad a desarrollar en cada zona.(Ver tabla 4)

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	DESCRIPCIÓN
E1	<b>Áreas con entornos o paisajes oscuros:</b> Observatorios astronómicos con categoría internacional, parques nacionales, espacios de interés nacional, áreas de protección especial (red natura, áreas de protección de aves, etc.), donde las carreteras están sin iluminar.
E2	<b>Áreas de brillo o luminosidad baja.</b> Zonas periurbana o extrarradios de las ciudades, suelos no urbanizables, áreas rurales y sectores generalmente situados fuera de las áreas residenciales urbanas o industriales, donde las carreteras están iluminadas.
E3	<b>Áreas de brillo o luminosidad media.</b> Zonas urbanas residenciales, donde las calzadas (vías de tráfico rodado y aceras) están iluminadas.
E4	<b>Áreas de brillo o luminosidad alta.</b> Centros urbanos, zonas residenciales, sectores comerciales y de ocio, con elevada actividad durante la franja horaria nocturna.

**Tabla 4.** Clasificación de zonas de protección contra la contaminación lumínica.

El objeto de la zonificación es evitar que la contaminación lumínica afecte por igual a todas las situaciones o localizaciones, cuando una actividad potencialmente contaminadora no puede ser totalmente controlada.

Para reducir los efectos del resplandor luminoso provocado de manera artificial en las observaciones realizadas en los denominados puntos de referencia (observatorios astronómicos), es necesario aplicar criterios de zonificación, de manera que se regulen los requisitos de iluminación en los puntos de referencia, en zonas adyacentes y no adyacentes.

La instrucción técnica limita las emisiones hacia el cielo en las instalaciones de alumbrado exterior, con excepción del alumbrado festivo y navideño, indicando que la luminosidad del cielo producida por las instalaciones de alumbrado exterior depende

el flujo hemisférico superior instalado  $FHS_{INT}$  y es directamente proporcional a la superficie iluminada y a su nivel de iluminancia, e inversamente proporcional a los factores de utilización y mantenimiento de la instalación.

La instrucción técnica limita los valores de  $FHS_{INT}$  según la zonificación (ver tabla 5). Nótese la relativa eficacia de estos límites permitidos de  $FHS_{INT}$  ya argumentada en el capítulo 2.5 Control de la contaminación lumínica del presente proyecto.

CLASIFICACIÓN DE ZONAS	FLUJO HEMISFÉRICO SUPERIOR INSTALADO $FHS_{INT}$
E1	$\leq 1\%$
E2	$\leq 5\%$
E3	$\leq 15\%$
E4	$\leq 25\%$

Tabla 5. Valores límite del flujo hemisférico superior instalado.

Con la finalidad de evitar interferencias a los observatorios astronómicos de categoría internacional y nacional, en la Zona E1 el reglamento obliga a instalar lámparas de vapor de sodio. Cuando no resulte posible utilizar dichas lámparas, se debe filtrar la radiación a longitudes de onda inferiores a 440nm.

Además, para minimizar los efectos de la luz intrusa o molesta procedentes de las instalaciones de alumbrado exterior, sobre residentes y sobre los ciudadanos en general, las instalaciones de alumbrado exterior (con excepción de la alumbrado festivo y navideño) deben cumplir los valores de la Tabla: Limitaciones de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior. (Ver ilustración 18)

Parámetros luminotécnicos	Valores máximos			
	Observatorios astronómicos y parques naturales E1	Zonas periurbanas y áreas rurales E2	Zonas urbanas residenciales E3	Centros urbanos y áreas comerciales E4
Iluminancia vertical ( $E_v$ )	2 lux	5 lux	10 lux	25 lux
Intensidad luminosa emitida por las luminarias ( $I$ )	2.500 cd	7.500 cd	10.000 cd	25.000 cd
Luminancia media de las fachadas ( $L_m$ )	5 cd/m <sup>2</sup>	5 cd/m <sup>2</sup>	10 cd/m <sup>2</sup>	25 cd/m <sup>2</sup>
Luminancia máxima de las fachadas ( $L_{max}$ )	10 cd/m <sup>2</sup>	10 cd/m <sup>2</sup>	60 cd/m <sup>2</sup>	150 cd/m <sup>2</sup>
Luminancia máxima de señales y anuncios luminosos ( $L_{máx}$ )	50 cd/m <sup>2</sup>	400 cd/m <sup>2</sup>	800 cd/m <sup>2</sup>	1.000 cd/m <sup>2</sup>
Incremento de umbral de contraste (TI)	Clase de Alumbrado			
	Sin iluminación	ME 5	ME3 / ME4	ME1 / ME2
	TI = 15% para adaptación a L = 0,1 cd/m <sup>2</sup>	TI = 15% para adaptación a L = 1 cd/m <sup>2</sup>	TI = 15% para adaptación a L = 2 cd/m <sup>2</sup>	TI = 15% para adaptación a L = 5 cd/m <sup>2</sup>

Ilustración 18. Tabla: Limitaciones de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior.

## 4.3 LEGISLACIÓN AUTONÓMICA

La ley Catalana, aprobada en el año 2001, por ser la primera, es el referente para las leyes autonómicas desarrolladas posteriormente. Esto ha originado que todas sean muy similares en forma y contenido, con la salvedad de que la ley andaluza no específica para la ordenación de la contaminación lumínica, sino que regula todos los factores ambientales de la región.

La legislación autonómica contempla aspectos tales como:

- El ámbito y exenciones de aplicación, siendo 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 y contemplan exenciones relativas al alumbrado de instalaciones o actividades que requieren de medidas especiales de iluminación por motivos de seguridad.
- La zonificación del territorio. En todos los casos se ordena la división del territorio en cuatro zonas, clasificadas de E1 a E4.
- Limitaciones referentes al  $FHS_{INT}$ .
- Apuntan obligaciones sobre las características de las instalaciones y aparatos de iluminación. En el caso de 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 el caso del reglamento andaluz en zonas E1 y E2 colindantes con E1 las lámparas deben evitar en lo posible la emisión en la banda de longitudes de onda corta del espectro visible, concentrando la luz mayoritariamente en longitudes de onda superiores a 525 nm. La distribución espectral de la luz emitida por las lámparas ha de ser tal que la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda menores de 440 nm sea inferior al 15% de su radiancia total. En el caso de emplearse leds, la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda menores de 500 nm será inferior al 15% de su radiancia total. Si es superior, deberán aplicarse filtros para cumplir los límites anteriores. Cuando el uso de la zona iluminada no requiera un alto grado de reproducción cromática y cuando las características técnicas lo permitan, se optará por lámparas monocromáticas o cuasi monocromáticas.

- Las características fotométricas de los pavimentos. Ciertos 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, las legislaciones autonómicas obligan a adoptar medidas que minimicen este fenómeno físico, tales como el empleo de materiales poco reflectantes en las superficies de calles, edificios y mobiliario urbano.

A modo de conclusión tenemos que, la contaminación lumínica se ha ido regulando progresivamente desde el año 2001 tanto a nivel autonómico como local, dándose de este modo, el primer paso para poner freno a esta problemática. La aprobación del RD 1890/2008, ha supuesto un avance en la regulación frente a la contaminación lumínica, por afectar a todo el país y regular los límites de iluminación máximos y  $FHS_{INT}$ , además de fomentar la sensibilización de los responsables del alumbrado público y del ciudadano en general.

La parte negativa de esta regulación la encontramos ante el hecho de que para que las instalaciones existentes cumplan con lo establecido en las normas, debe realizarse un desembolso económico por parte de los Ayuntamientos y en muchas ocasiones estos carecen de recursos técnicos y financieros. Por lo que es fundamental que el desarrollo de cada legislación vaya acompañado de la disponibilidad de fondos para su aplicación.

## **5** IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA SOBRE EL MEDIO NATURAL

Uno de los impactos ambientales asociados a la contaminación lumínica son los efectos biológicos y fisiológicos en la flora y la fauna.

La luz regula los ritmos biológicos y fisiológicos (ritmos circadianos, de suelo o reproductivos). Los animales y las plantas viven por un ritmo acorde a nuestro ciclo planetario de 24 horas. El apareamiento, la migración, el sueño, y la búsqueda de comida se determinan por la duración de la noche. Por este motivo, la emisión de luz artificial está estrechamente vinculada a la alteración de los ciclos naturales de gran cantidad de seres vivos.

Además, aunque parezca lo contrario, para muchos animales terrestres la noche es el momento de máxima actividad. En la noche la presa escapa de los depredadores y para estos es una manera de no ser advertidos. Pero adaptarse a la actividad nocturna supone que los animales dispongan de órganos visuales aclimatados a la baja luminosidad o utilizar sistemas alternativos, como la ecolocalización (capacidad para emitir sonidos e interpretar los ecos que generan los objetos a su alrededor).

Entre los vertebrados de actividad nocturna contamos con de la mitad de los mamíferos, buena parte de los anfibios y gran cantidad de aves.

Entre los invertebrados hay gusanos, caracoles, arañas, escorpiones y la mayoría de los insectos (más del 75% de las mariposas son de actividad nocturna, es decir se alimentan, se aparean y mantienen toda su actividad durante la noche). Por tanto, vivir la noche forma parte de la estrategia evolutiva de la fauna.

La progresiva ocupación del territorio ha provocado que los hábitats, ecosistemas y estas comunidades sensibles, se encuentren expuestos al impacto de la luz artificial durante su vida nocturna.

En la actualidad se ha profundizado sobre los efectos causados por la emisión de luz artificial en determinadas especies migratorias que se guían por la luz de las estrellas, o sobre fenómenos tan evidentes como la muerte masiva por deshidratación de determinadas tortugas marinas desorientadas por las luces en sus playas natales. Además, la contaminación lumínica provoca la alteración de los ciclos de ascenso y descenso del plancton marino, lo que afecta a la alimentación de las especies marinas.

Siguiendo la línea trazada en los párrafos anteriores, como ejemplos de impacto y efectos de la luz artificial sobre el medio natural tenemos:

- **Impacto sobre los mamíferos.**

El impacto de la luz artificial sobre los mamíferos provoca:

- La alteración del equilibrio entre depredadores y presas, por la imposibilidad de cazar sin ser vistos o por la posibilidad de ser cazados por estar visibles.
- Dificultad de la búsqueda de alimento debido al exceso de luz.
- El aumento de la mortalidad debido al impedimento de la visión nocturna.

- **El Impacto sobre las aves.**

El hecho de que muchas especies de aves cacen o migren durante la noche, las hace especialmente vulnerables al brillo artificial del cielo nocturno, provocando:

- Que en torno a 100 millones de aves mueran anualmente en Norteamérica por impactos con edificios y torres iluminadas.
- El deslumbramiento y desorientación principalmente en las aves migratorias, haciendo que se desvíen de su camino y nunca lleguen a su destino natural.
- Mortalidad al chocar con faros, plataformas petrolíferas y aerogeneradores.

- **El Impacto sobre los anfibios.**

El velo ocasionado por el brillo artificial como sabemos no es un fenómeno local, extendiéndose más allá de las ciudades, incluso a los pantanos, el hábitat natural de los anfibios.

Esto provoca la desorientación y confusión que conlleva:

- Una disminución de su reproducción.
- Disminución del peso corporal por la dificultad de encontrar alimento al variar las condiciones lumínicas de su hábitat.

- Pérdida de facultades de protección ante depredadores y elementos naturales.

- **El Impacto sobre los insectos.**

El impacto de la luz artificial sobre los insectos ocasiona:

- Afecciones en el ciclo reproductivo de los insectos, los cuales se ven incapaces de atravesar las barreras de luz formadas por el alumbrado exterior. En el caso de la luciérnaga, el velo de luz artificial dificulta su comunicación (emite señales luminosas de muy baja intensidad) y por tanto su reproducción.
- Aumento de insectos voladores entorno a aquellas lámparas que emiten radiación ultravioleta. Estos son especialmente sensibles a las radiaciones azules y ultravioletas. Esta concentración provoca la aparición de especies depredadoras, en detrimento de otros insectívoros incapaces de cazar en esas condiciones.
- Disminución de la población de insectos, fuente de proteínas y principal fuente de alimento tanto de vertebrados como de invertebrados. Esto provoca un desequilibrio en la base de la cadena trófica.
- Un Impacto sobre la flora debido a la disminución de los insectos que realizan la polinización de plantas con flores que se abren durante la noche.

Además, la contaminación lumínica tiene un impacto directo sobre la flora ya que produce una alteración en la fotosíntesis, proceso dependiente de la luz, ocasionando el envejecimiento prematuro de algunas especies o el adelanto de la floración. El cambio en la vegetación provoca la modificación del hábitat de los animales.

- **El Impacto sobre los reptiles.**

La contaminación lumínica afecta de manera especial a las tortugas marinas hembras. Estas hacen sus nidos en playas oscuras y las luces costeras les dificulta la búsqueda de un lugar seguro donde anidar sus huevos.

Por otra parte, el haz de luz artificial hace que sus crías que de manera instintivas se arrastran hacia el mar, guiadas por el reflejo de la luna y las estrellas se desplacen hacia el interior. Esta desorientación puede traer trágicas consecuencias debidas al agotamiento y la deshidratación.

Proteger nuestro medio natural implica conservar los paisajes de luz natural, especialmente durante la noche.

Este paisaje está caracterizado por la influencia lumínica natural del sol y los ciclos lunares, por disponer de un aire limpio, y de cielos oscuros no perturbados por la luz artificial.

## 5.1 PROYECTO ECOLIGHT

El proyecto ECOLIGHT inició su andadura en 2004 con el objetivo minimizar la contaminación lumínica producida por el uso urbanístico y recreativo en 5000 Ha del Parque Natural de l'Albufera (declarado zona LIC, ZEPA y humedal Ramsar) de Valencia (Ver imagen 19). ECOLIGHT se convirtió en la primera gestión del alumbrado público en un espacio natural.

Los técnicos al diseñar el proyecto se encontraron con que este espacio natural emblemático, con un alto valor medioambiental, tenía una presencia humana muy alta (se encuentra a escasos kilómetros de la ciudad de Valencia) y que en el desarrollo urbanístico del alumbrado exterior no se había tenido en cuenta una normativa de ordenación que contemplase parámetros medioambientales. En el año 2004 el área objeto del proyecto contenía luminarias con altas emisiones de flujo lumínico al hemisferio superior, mal direccionadas (intrusión lumínica) y con un alto consumo. Además, abundaban las lámparas de vapor de mercurio, estas contienen residuos altamente contaminantes y son perjudiciales para los insectos al emitir intensamente en la banda ultravioleta. Las especies de insectos afectadas eran endémicas del parque o estaban incluidas en los anexos de la Directiva de Hábitats. Por otra parte, el efecto de intrusión de la luz en zonas que no deberían estar iluminadas, afectaba hasta un total de 21 hábitats catalogados de interés comunitario.

Ante esta fotografía inicial se buscaba:

- Disminuir el impacto de la contaminación lumínica sobre la fauna y hábitats de interés comunitario, y sobre la fauna endémica del parque.
- Provocar un ahorro energético gracias al fomento en inversiones de alumbrado más eficiente.
- Reducir los elementos contaminantes asociados a los sistemas de iluminación existentes, tales como las lámparas de vapor de mercurio, bloques ópticos verticales, etc.
- Establecer una herramienta legislativa local que asegurase la continuidad de las actuaciones del proyecto y servir como acción preparatoria para futuras legislaciones medioambientales comunitarias.
- Promover una conciencia ecológica y económica con respecto a un problema medioambiental desconocido para la población (especialmente a nivel escolar) y contribuir a la puesta en marcha de los compromisos medioambientales adquiridos por el Ayuntamiento de Valencia con la firma de la Carta de Aalborg donde se ratificaba la adhesión a la Agenda 21.



**Ilustración 19.** Imagen del cielo contaminado de l'Albufera Valenciana.

Las acciones proyectadas desde el año 2004 hasta el año 2006 fueron las siguientes:

- Modificación, eliminación y/o sustitución del alumbrado público que producía emisiones no útiles, excesivas o perjudiciales para los hábitats y especies de interés comunitario diseñando sistemas de menor consumo eléctrico, de mayor eficiencia, y corrigiendo y optimizando la distribución espacial y horaria.
- Aplicación de medidas complementarias como la sustitución del alumbrado por sistemas no eléctricos tales como la colocación de balizas reflectantes y el uso de apantallamientos vegetales para evitar la intrusión lumínica en zonas de interés conservacionista.
- Establecimiento de una normativa local que regulase definitivamente el alumbrado público, con carácter demostrativo y de referencia a otros territorios comunitarios.
- Establecimiento de un programa completo de educación ambiental con el fin de diseminar y divulgar las acciones llevadas a cabo entre la población, gestores medioambientales y profesionales del sector.
- Organización de un “Simposium Europeo sobre la Contaminación Lumínica en Espacios Naturales” y edición de un documento técnico de referencia para la correcta gestión del alumbrado en espacios naturales comunitarios.
- Estimulación de aquellos sectores sobre los que no se podía actuar (propietarios privados) mediante distintivos de adhesión a la campaña, línea telefónica gratuita de consulta y consultas on-line.



**Ilustración 20.** Logo Proyecto ECOLIGHT.

Como se indicó al inicio del capítulo, la experiencia ECOLIGHT finalizó su andadura en el año 2006. El coordinador de proyectos y Licenciado en Ciencias Biológicas Jordi Domingo Calabuig presentó las conclusiones del proyecto en la “I jornada de contaminación lumínica de la Región de Murcia” celebrada en el año 2009. En dicha jornada destacó como logros la intervención en más de 1280 puntos de luz, la

existencia de 1700 metros de pantallas vegetales que evitan la intrusión lumínica, la puesta en marcha de 9 instalaciones con energía solar, la puesta en marcha de 19 instalaciones con tecnología LED, la creación de una ordenanza municipal específica para proteger este espacio natural, la eliminación de las lámparas de vapor de mercurio y la consecución de un ahorro energético de un 38%.

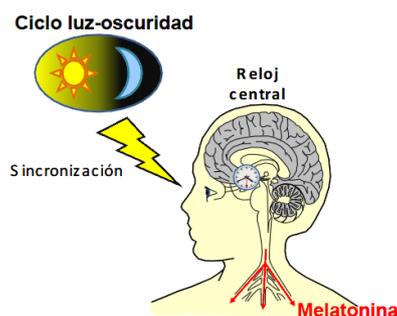
A pesar de conseguir grandes logros, Calabuig, marca como escollos encontrados durante la ejecución del proyecto la falta de compromiso político y la sensación de haber superado un obstáculo y no una lección aprendida. Además, esta iniciativa, a pesar de su rentabilidad (sólo hay que observar los niveles de reducción en el consumo energético) sólo fue posible gracias a la financiación europea, que si creyó en el proyecto.

## 6 IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA SOBRE LA SALUD

Aunque la utilización de las fuentes de luz artificial tras la puesta del sol se puede considerar un signo de desarrollo, ya que ha permitido al ser humano realizar tareas y gozar actividades durante mucho más tiempo en cada periodo de 24 horas, no podemos olvidar la afecciones que un uso inadecuado de estas fuentes pueden ocasionar sobre nuestra salud.

La vida está sometida a cambios cíclicos ambientales, entre ellos la sucesión del día y noche con una periodicidad de 24 horas. En este ambiente cíclico cada forma de vida ha desarrollado mecanismos para poder medir el paso del tiempo y así garantizar la coordinación temporal interna con dicho entorno cíclico. El mecanismo desarrollado por el ser humano que se encarga de esta función de generación y coordinación de ritmos de 24 horas se conoce como sistema circadiano.

El sistema circadiano (ver ilustración 21) está formado por un reloj central que oscila de manera autónoma pero que ha de ponerse en hora cada día, ha de sincronizarse a las señales periódicas del ambiente. Entre los sincronizadores más importantes se encuentra la alternancia luz-oscuridad. Finalmente, este reloj biológico transmite la señal temporal rítmica a todos los órganos y tejidos a través de distintas salidas, entre ellas, la hormona melatonina.



En las sociedades modernas, el ciclo natural de luz/oscuridad se ha alterado por el abuso de la luz artificial durante la noche. Una de las consecuencias fisiológicas directas de la exposición a luz nocturna es la supresión de la síntesis de melatonina.

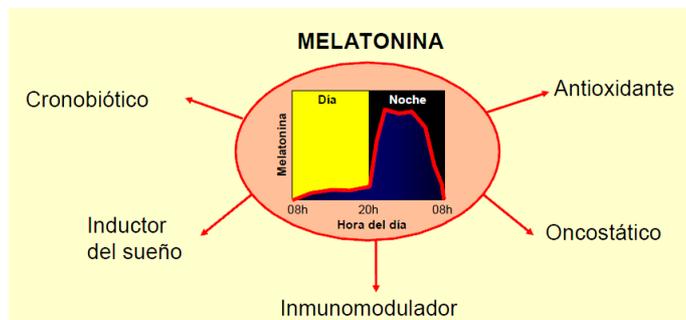
Estudios biomédicos muestran que la exposición a la luz durante la noche tiene consecuencias tanto para la fisiología humana como la animal (ver

**Ilustración 21.** Estructura del sistema circadiano.

capítulo 5). La luz nocturna, cuando es de suficiente luminosidad (intensidad) y de la longitud de onda apropiada, es traducida 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 exposición a la iluminación artificial, prolongando las horas del día puede llevar a la desincronización de nuestros ritmos internos. De acuerdo con la Institución Nacional de la Salud, cuando nuestro reloj interno cambia, afecta nuestra capacidad de dormir y despertar a las horas correspondientes y conduce a una disminución de las habilidades cognitivas y motoras (ocasionando estrés, depresión, aparición de diabetes,...). La melatonina, que se segrega 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 la luz artificial de 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.

La reducción en los niveles de melatonina se produce tanto por la prolongación de la luz al periodo de oscuridad natural como por exposiciones breves a la luz durante la noche. El grado de supresión vendrá definido por el momento en que tenga lugar la exposición, la duración de la misma y las características de la luz (luminosidad y longitud de onda). Las longitudes de onda que producen mayor inhibición son las que se encuentran en el rango de los 460-480nm (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. Además, las funciones de esta hormona van más allá de informar al organismo de la llegada de la noche, ya que se ha descrito como un agente antioxidante, inmunoestimulante y oncostático en determinados tipos de cáncer.



**Ilustración 22.** Perfil circadiano de los niveles de melatonina y principales funciones.

En humanos, desplazar los hábitos personales hacia el modo de vida nocturna, por ocio o trabajo, se asocia a una disminución paralela en el tiempo dedicado a dormir, que ha pasado de 9 horas a principios del siglo XX a 7 horas cien años más tarde. Se

estima que entre el 20-25% de la población trabaja en turnos y la proporción va en aumento. Estudios epidemiológicos muestran una relación estadísticamente significativa entre la cronodisrupción (pérdida del orden temporal interno) y el aumento en la incidencia del síndrome metabólico, de las enfermedades cardiovasculares, deterioro cognitivo, trastornos afectivos y envejecimiento acelerado.

Además, cada vez existen más evidencias en la literatura científica que vinculan la exposición a luz por la noche con un aumento del riesgo de padecer determinados tipos de cáncer como el de mama, próstata y colorrectal. Si bien los estudios epidemiológicos son por el momento asociativos y no indican causalidad, recientemente la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer ha concluido que el trabajo a turnos que implique disrupción circadiana es, probablemente, carcinogénico en humanos. Esta misma agencia, en una nota de prensa, reivindica la «necesidad de más estudios para evaluar los posibles riesgos potenciales de la luz nocturna en otros tipos de cáncer».

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. 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. 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 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.

A estas acciones, se une que la melatonina tiene un efecto antiestrogénico que podría contribuir a 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. Además de la acción inhibitoria del cáncer de la melatonina, esta molécula es un antioxidante, lo que puede resultar importante para ralentizar el envejecimiento y/o las alteraciones degenerativas relacionadas con la edad avanzada.

Para mantener una buena salud es necesario que el sistema circadiano funcione correctamente. La luz es el principal sincronizador del sistema circadiano y, por tanto, es importante que el día sea día y la noche sea noche, lo que implica exponerse a luz brillante durante el día y hacer un uso adecuado de la iluminación en el interior de los edificios, teniendo en cuenta tanto la intensidad como su espectro. En cuanto a la iluminación nocturna en exteriores habría que recomendar aquellas lámparas en cuyo espectro se encuentre reducida la banda del azul, siendo las más apropiadas las lámparas de sodio a baja presión o LEDs con temperatura de color inferiores a los 3000K.

Además, un alumbrado exterior mal diseñado puede producir el deslumbramiento (ver capítulo 3.3). Esta condición puede temporalmente ensombrecer todo menos la fuente de luz y convertirla en una invisibilidad virtual. Los conductores de edad avanzada son especialmente vulnerables a la discapacidad de resplandor, ya que al envejecer los ojos pierden la capacidad de adaptarse rápidamente a los cambios en los niveles de iluminación.

Por otro lado, se hace imprescindible regular la intrusión del alumbrado público en el ámbito privado, marcando una distancia mínima de las luminarias a las ventanas o puertas de los edificios. Hay que recordar que un buen alumbrado público se caracterizará por iluminar estrictamente las zonas en las que la luz sea necesaria, sin que esta sea emitida hacia zonas que no la requieran. Con las evidencias científicas existentes, y aplicando el principio de precaución, tenemos la obligación de trabajar en el desarrollo de nuevas tecnologías de iluminación que salvaguarden nuestro reloj y no interfieran con los ritmos circadianos normales.

## 6.1 LA CULTURA DE LA SOBRELUMINACIÓN

En su artículo “Contaminación lumínica: Responsabilidad social” Patricia Elke Rodríguez Schaeffer, profesora de la Universidad de Chiapas y colaboradora del I Simposium Internacional sobre Contaminación Lumínica celebrado en Barcelona en 2004, centra la problemática de la contaminación lumínica de nuestras ciudades dentro del ámbito cultural.

La necesidad de ampliar nuestra actividad más allá del horario marcado por la iluminación natural trajo consigo el desarrollo vertiginoso de los alumbrados artificiales, pasando de la piroluminiscencia a la incandescencia y finalmente a la luminiscencia. Esta mejora de los estándares de vida ha provocado una serie de desequilibrios ecológicos como es el caso del exceso de luz artificial en nuestros cielos.

Esta contaminación se acentúa en las grandes aglomeraciones urbanas, así se demuestra en el estudio “The first world atlas of the artificial sky brightness. Monthly notices of royal astronomical society” (Cinzano et), donde se concluye que la mayor

parte la población de los Estados Unidos, la Unión Europea y Japón están bajo un cielo contaminado lumínicamente. Estas zonas se distinguen por los elevados índices de actividad socioeconómica y por los modelos de iluminación artificial que utilizan.

Elke manifiesta que en estas concentraciones urbanas se ha dado una gran importancia al alumbrado público, ya que gracias a él se prolonga las horas de actividad humana, ampliando las posibilidades para el comercio y el entretenimiento, aportando a su vez una sensación de seguridad para desarrollarlas. En definitiva, lo que se ha conseguido es alargar el periodo de actividad económica de las urbes, encontrándonos lemas tales como “La ciudad que nunca duerme”.

Desafortunadamente, en este camino del progreso, se ha iluminado en general a niveles más allá de lo estrictamente necesario, abarcando periodos temporales que no se limitan a la noche y se prescinde por ello, en ocasiones, del posible aprovechamiento de la luz natural. Además, frecuentemente se desplazan hacia horas nocturnas actividades que tradicionalmente se efectuaban durante el día.

Por tanto, el uso de éste alumbrado no solo proporciona beneficios enmarcados dentro de las oportunidades de bienestar que nos brindan las sociedades más desarrolladas, sino que repercute negativamente social, económica y ambientalmente, no olvidemos los temas tratados a lo largo de este proyecto como las afecciones sobre el medio natural o sobre la propia salud humana y de los que somos grandes desconocedores.

Así mismo, la doctora Patricia Elke mantiene en su tesis “Análisis de comportamientos sociales en el uso del alumbrado artificial y sus repercusiones en el medio ambiente nocturno” que:

- La demanda social de alumbrado está condicionada por visiones culturales y no solo funcionales. Estas visiones culturales pueden contradecir las demandas de valores ambientales.
- Existen pocas denuncias 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.

Popularmente aceptamos que el exceso de luz es un símbolo de estatus social. En cambio, el ahorro es un concepto negativo, asociado a penurias económicas e inseguridades y contrario a la lógica interna de la sociedad de consumo. Confundimos en muchas ocasiones exceso de luz con buena visibilidad.

Otro hándicap que encontramos a la hora de defender unos niveles óptimos de iluminación capaces de proteger el cielo nocturno y su hábitat, es el empleo de la luz artificial para asegurar la seguridad vial y la protección de las personas y sus bienes. Aunque asociemos seguridad a las zonas iluminadas y exista divergencia de

conclusiones entre los estudios realizados sobre delincuencia y niveles de iluminación, es necesario trabajar y aunar esfuerzos para que el alumbrado público cumpla su función desde el respeto hacia nuestro entorno y nuestra salud.

## 7 CERTIFICACIONES DE LA CALIDAD DEL CIELO

Son dos las certificaciones de la calidad del cielo que poseen reconocimiento internacional, las otorgadas por la Fundación Startlight y por la International Dark Sky Association - Asociación Cielo Oscuro (IDA). Aunque el origen de cada uno de estos organismos son contrapuestos, ambas persiguen un objetivo común: La protección del cielo nocturno.

### 7.1 CERTIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL CIELO: INICIATIVA STARLIGHT



Ilustración 23. Logo iniciativa startlight

En el año 2007 se celebró, en la isla de La Palma, la primera conferencia mundial en defensa del cielo nocturno y del derecho a observar las estrellas donde como resultado se aprobó la “Declaración en defensa del cielo nocturno y el derecho a la Luz de las estrellas” asentada en los siguientes 10 principios y objetivos.

1. El derecho a un cielo nocturno no contaminado que permita disfrutar de la contemplación del firmamento, debe considerarse como un derecho inalienable de la humanidad, equiparable al resto de los derechos ambientales, sociales y culturales, atendiendo a su incidencia en el desarrollo de todos los pueblos y a su repercusión en la conservación de la diversidad biológica.
2. La progresiva degradación del cielo nocturno ha de ser considerada como un riesgo inminente que hay que afrontar, de la misma manera que se abordan los principales problemas relativos al medio ambiente y a los recursos patrimoniales.
3. La conservación, la protección y la puesta en valor del patrimonio natural y cultural asociado a la visión del firmamento, representa un ámbito privilegiado para la cooperación y defensa de la calidad de vida. Por parte de todos los responsables, esta actitud implica un auténtico reto de innovación cultural, tecnológica y científica, que exige realizar un esfuerzo continuado que haga posible redescubrir el valor del cielo nocturno como parte viva de nuestro legado patrimonial y de nuestra cultura cotidiana.
4. El conocimiento, apoyado en la educación, constituye la clave que permite integrar la ciencia en nuestra cultura actual, contribuyendo al avance de la humanidad. La difusión de la astronomía, así como la promoción de los valores científicos y culturales asociados a la contemplación del firmamento, deberán

considerarse como contenidos básicos a incluir en la actividad educativa en todos los ámbitos, algo imposible de realizar si no se dispone de un cielo poco contaminado y de una apropiada formación de los educadores en estas materias.

5. Los efectos negativos sobre la calidad atmosférica de los cielos nocturnos en los espacios naturales, causados por el incremento de las emisiones y la intrusión de la luz artificial, afectan gravemente a muchas especies, hábitats y ecosistemas. El control de la contaminación lumínica debe por lo tanto ser un requisito básico en las políticas de conservación de la naturaleza, incorporando esta dimensión en la gestión de las áreas protegidas, garantizando de forma más efectiva la protección del medio natural y la conservación de la diversidad biológica.
6. Habida cuenta que la noche estrellada forma parte integrante del paisaje que la población de cada territorio percibe, incluyendo las áreas urbanas, se considera necesario que las políticas de paisaje desarrolladas en los diferentes ordenamientos jurídicos incorporen las normas correspondientes orientadas a la preservación de la calidad del cielo nocturno, permitiendo así garantizar el derecho de todos a la contemplación del firmamento.
7. Ha de promoverse el uso racional de la iluminación artificial, de tal forma que el resplandor que provoca en el cielo se reduzca a un mínimo aceptable, evitando igualmente los impactos nocivos sobre los seres humanos y la vida en la naturaleza. Las administraciones públicas, la industria de la iluminación y los principales actores que inciden en la toma de decisiones, han de asegurar un uso responsable de la luz artificial por parte de todos los usuarios, integrando esta dimensión en la planificación y en las políticas de sostenibilidad energética, las cuales habrán de apoyarse en mediciones de la contaminación lumínica, tanto desde la tierra como desde el espacio. Tal actitud implica un uso más eficiente de la energía en consonancia con los acuerdos sobre el cambio climático y la protección del medio ambiente.
8. Los ámbitos privilegiados para la observación astronómica constituyen un bien escaso en el planeta, y su conservación representa un esfuerzo mínimo en comparación con los beneficios que aportan al conocimiento y al desarrollo científico y tecnológico. La protección de la calidad de los cielos en estos espacios singulares deberá constituir una prioridad en las políticas medioambientales y científicas de carácter regional, nacional e internacional. Habrán de extremarse las medidas y disposiciones que permitan proteger tales espacios de los efectos nocivos de la contaminación lumínica, radioeléctrica y atmosférica.
9. Al igual que otras actividades, el turismo puede convertirse en un poderoso instrumento para desarrollar una nueva alianza en favor de la calidad del cielo nocturno. El turismo responsable puede y debe integrar el paisaje del cielo nocturno como un recurso a resguardar y valorar en cada destino. La generación de nuevos productos turísticos basados en la observación del

firmamento y los fenómenos de la noche, abre posibilidades insospechadas de cooperación entre los actores turísticos, las comunidades locales y las instituciones científicas.

10. Los espacios pertenecientes a la Red Mundial de Reservas de la Biosfera, los Sitios Ramsar, los declarados Patrimonio de la Humanidad, los Parques Nacionales o las Reservas Naturales que combinan valores excepcionales naturales o paisajísticos dependientes de la calidad del cielo nocturno, están llamados a integrar la protección de los cielos limpios como un factor clave que refuerza su función de conservación de la naturaleza.

Esta declaración de principios constituye el marco conceptual y el fundamento de la Iniciativa Starlight (plan de acción de la declaración), concebida como una acción internacional en defensa de la calidad de los cielos nocturnos y el derecho general a la observación de las estrellas, abierta a la participación de todas las instituciones y asociaciones científicas, culturales y ciudadanas relacionadas con la defensa del firmamento e impulsada por el Centro de Patrimonio Mundial de la Unesco conjuntamente con el Instituto Astrofísico de Canarias (IAC) y la International Astronomical Union (IAU). Se pretende así reforzar la importancia que los cielos nocturnos limpios tienen en relación a la ciencia, la educación, la cultura, la conservación de la biodiversidad, el turismo e incluso la salud.

Una de las funciones de la Iniciativa Starlight es, la de poner en valor, proteger y promover el patrimonio cultural, tangible e intangible, asociado a la visión del cielo nocturno. La necesidad de contar con mecanismos de reconocimiento y protección efectiva de los paisajes del cielo estrellado frente a la contaminación lumínica ha sido también un objetivo de la Iniciativa y por ello ha desarrollado el concepto de Reserva Starlight. Figura que reconoce la excelencia de lugares donde la calidad del cielo es excelente en términos astronómicos y libres de la contaminación lumínica y que también contemplan la necesidad de proteger la biodiversidad y el paisaje en la noche.

Esta certificación de reconocimiento internacional otorgada por la Fundación Stratlight con Sede en San Cristóbal de la Laguna (Tenerife), se concede a aquellos lugares cuyo cielo nocturno se mantiene en la actualidad en unas condiciones impecables de conservación. El que una zona se certifique como Reserva Starlight implica que más del 60% de la noches están despejadas y la oscuridad del cielo nocturno se asemeja o supera a la de muchos observatorios profesionales a nivel internacional. Además, una Reserva Starlight debe poseer una o más zonas núcleo o de exclusión donde se mantengan intactas las condiciones de iluminación natural y nitidez del cielo nocturno. La zona núcleo debe estar protegida por una zona buffer o de protección donde se mitiguen los efectos adversos relativos a la contaminación lumínica y atmosférica que puedan afectar a la zona núcleo.

Las Reservas Starlight se dividen en las siguientes categorías según el ámbito de aplicación del concepto y las propiedades de la zona:

- Sitios Patrimonio. Se refiere a los ámbitos que albergan acontecimientos arqueológicos y sitios de carácter cultural o monumentos creados por la humanidad como expresión de su relación con el firmamento, que han servido

para el desarrollo de la astronomía y sus manifestaciones a través del arte y la ciencia.

- Sitios de Observación Astronómica. Se refiere a los sitios privilegiados en el planeta para la observación astronómica óptica, infrarroja y la radioastronomía, incluyendo los espacios potenciales.
- Sitios Naturales. Áreas naturales donde la preservación de la integridad las condiciones naturales del sitio incluyen el mantenimiento de la calidad del cielo nocturno.
- Paisajes de las Estrellas. Manifestaciones excepcionales del cielo nocturno, incluyendo paisajes naturales y culturales relacionados con la luz de las estrellas, donde las manifestaciones naturales o la obra humana se combinan con la visión del firmamento.
- Oasis Starlight – hábitats humanos. Espacios habitados liberados de los efectos adversos que impiden la observación de las estrellas y limitan la calidad del cielo nocturno.
- Sitios mixtos. Ámbitos en los que se producen combinaciones de dos o más acontecimientos o recursos especificados en las categorías anteriores.

En la actualidad existen 6 Reservas starlight: La Comarca de la Sierra Sur, La Sierra Morena Andaluza (ver ilustración 24), El Montsec, Cumbre de Tenerife, Parque Nacional, Fray Jorge, Chile y La palma. Además desde la consejería de Medio Ambiente de La Junta de Andalucía se está trabajando para la obtención del certificado de reserva Starlight en la Sierra de Aracena y Picos de Aroche.



**Ilustración 24.** Reserva Stralight Sierra Morena.

Paralelamente al concepto de Reserva starlight encontramos “Los Destinos Turísticos Startlight”.

Los Destinos Turísticos Starlight son lugares visitables, que gozan de excelentes cualidades para la observación de los cielos estrellados y que, al estar protegidos de la contaminación luminosa, son aptos para desarrollar en ellos actividades turísticas basadas en ese recurso natural.

Los Destinos Turísticos Starlight no sólo acreditan la calidad de sus cielos y los medios para garantizar su protección, sino también las adecuadas infraestructuras y actividades relacionadas con la oferta turística (el alojamiento, los medios de observación disponibles al servicio de los visitantes, la formación del personal encargado de la interpretación astronómica, etc.) y su integración en la naturaleza nocturna.

El Sistema de Certificación Turística Starlight ha sido creado por la Fundación Startlight con el objetivo de fomentar, en todo el planeta, la mejora de la calidad de las experiencias turísticas y la protección de los cielos nocturnos en los Destinos Starlight.

Los destinos certificados por la Fundación Starlight son La Comarca de la Sierra Sur, La Sierra Morena Andaluza, El Teide (Tenerife), Gredos Norte, El Montsec, Granadilla de Abona (Tenerife), La Reserva de la Biosfera Valles de Leza, Jubera, Cidacos y Alhama (La Rioja) y La Alqueva (Portugal) (ver ilustración 25).



**Ilustración 25.** Destino Turístico Startlight La Alqueva.

## **7.2 CERTIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL CIELO: ETIQUETA IDA**

Junto con la Iniciativa Statlight otra de las más reconocidas de las certificaciones de cielos la promueve IDA (International Dark Sky Association - Asociación Cielo Oscuro). IDA fue fundada en 1988 con el objetivo de salvaguardar los cielos nocturnos.

A diferencia de Starlight, IDA no se encuentra sustentada por grandes instituciones, sino que cuenta con un el apoyo popular a través de sus socios. Y ese

apoyo permite a la organización promover la protección de los cielos nocturnos en todo el mundo.

Las áreas protegidas mediante la certificación IDA pueden ser de tres tipos:

- Comunidades con certificación Dark Sky. Se otorga a pueblos, ciudades, municipios o mancomunidades que preservan el cielo nocturno mediante la aplicación de normas de calidad en iluminación, educan para el conocimiento del cielo oscuro, y buscan el apoyo ciudadano para su salvaguarda.
- Parques con certificación Dark Sky. Esta distinción es concedida a parques o suelos públicos que posean cielos estrellados excepcionales donde se mitiga la contaminación lumínica y la oscuridad natural representa un importante recurso educativo, cultural, paisajístico y natural. Se establecen tres niveles según la calidad de los cielos: oro, plata y bronce.
- Reservas con certificación Dark Sky. Se otorga a terrenos públicos o privados que poseen noches estrelladas de gran calidad, pero que además están protegidos por su valor científico, natural, educativo, cultural, o patrimonial. Son los distintivos más valorados por el valor de los espacios en que se ubica con la pretensión de mantener sus cualidades científicas, paisajísticas, y ambientales. Las categorías también pueden ser oro, plata y bronce.

## **8** ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL ALUMBRADO EXTERIOR

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) pone de manifiesto que el alumbrado exterior, es decir aquella instalación de iluminación de titularidad pública o privada cuyo flujo luminoso se proyecta sobre un espacio abierto (carretera, calle, parque, ornamental, etc.) de uso público, totalizan aproximadamente 7.965.000 puntos de luz que, con una potencia media de 165W y cerca de 4100 horas de utilización anual, representa un consumo de electricidad de 5370 GWh/año repartidos entre los 8118 municipios Españoles.

Según datos de Gas Natural Fenosa del año 2012 las Administraciones Públicas gestionan un número muy amplio de instalaciones, todas ellas consumidoras de importantes cantidades de energía, en particular el alumbrado público puede representar entre un 40% y 60% del consumo eléctrico de un Ayuntamiento, sin considerar los gastos de mantenimiento preventivo-correctivo y reposición, que pueden representar hasta un 50% del coste de energía dependiendo de la tecnología utilizada.

Entendiendo la eficiencia energética como el ahorro de la energía consumida en determinados dispositivos y sistemas sin que se vea afectada la calidad y cantidad de los servicios suministrados, su desarrollo en proyectos de alumbrado exterior es vital para una optimización de los costes energéticos.

Gracias a la puesta en marcha del Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior (RD 1890/2008), a los avances tecnológicos en materia de iluminación exterior y a los nuevos modelos de inversión (Empresas de servicios energéticos) el mapa lumínico español cambiará de manera significativa en los próximos 10 años. Por tanto, los temas a tratar en este capítulo serán los contenidos del RD 1890/2008 y la aplicación del ahorro y eficiencia energética en instalaciones ya existentes y que se encuentren fuera del ámbito del reglamento.

## 8.1 REGLAMENTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR.

El RD 1890/2008 y sus 7 instrucciones técnicas complementarias tienen como objeto establecer las condiciones técnicas de diseño, ejecución y mantenimiento que deben reunir las instalaciones de alumbrado exterior para mejorar la eficiencia y ahorro energético, así como la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, además de limitar el resplandor luminoso nocturno o contaminación luminosa y reducir la luz intrusa o molesta.

Este reglamento se debe aplicar en los siguientes casos y siempre que la potencia instalada sea superior a 1KW:

- A las nuevas instalaciones, a sus modificaciones y ampliaciones.
- A las instalaciones existentes antes de su entrada en vigor, cuando, mediante un estudio de eficiencia energética, la Administración Pública competente lo considere necesario.
- A las instalaciones existentes antes de su entrada en vigor, que sean objeto de modificaciones de importancia y a sus ampliaciones, entendiéndose por modificación de importancia aquella que afecte a más del 50% de la potencia o luminarias instaladas.

### 8.1.1 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-01. EFICIENCIA ENERGÉTICA.

La eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior se define como la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación entre la potencia activa total instalada, asimismo esta se puede obtener mediante el producto de tres factores: la eficiencia de la lámpara y los equipos auxiliares, el factor de mantenimiento y el factor de utilización.

$$\varepsilon = \frac{S * E_m}{P} = \varepsilon_L * f_m * f_u \left( \frac{m^2 * lux}{W} \right)$$

De esta expresión se deduce la importancia no solo de las lámparas y equipos auxiliares utilizados sino de su mantenimiento y ubicación.

Esta instrucción técnica fija valores mínimos de eficiencia energética en función de la iluminancia media en servicio  $E_m$ , tanto para instalaciones de alumbrado vial

funcional (autopistas, autovías, carreteras y vías urbanas) como ambiental (instalaciones ejecutadas generalmente sobre soportes de baja altura (3-5 m) en áreas urbanas para la iluminación de vías peatonales, comerciales, aceras, parques y jardines, centros históricos y vías de velocidad limitada).

Al igual que los edificios, el alumbrado exterior debe poseer una calificación energética realizada en función del índice de eficiencia energética.

La caracterización de la instalación se realiza según una escala de siete letras que va desde la letra A (instalación más eficiente y con menos consumo de energía) a la letra G (instalación menos eficiente y con más consumo de energía). El índice utilizado para la escala de letras será el índice de consumo energético (ICE) que es igual al inverso del índice de eficiencia energética(ver ilustración 26).

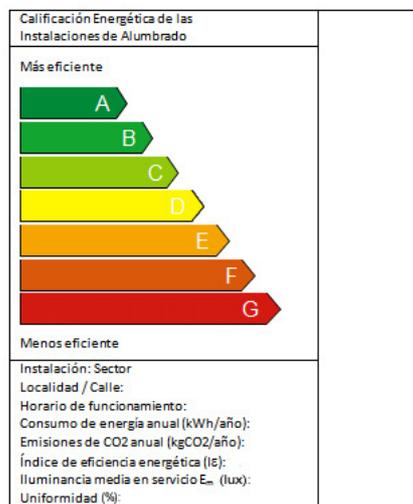


Ilustración 26. Etiqueta calificación energética.

### 8.1.2 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-02. NIVELES DE ILUMINACIÓN.

El reglamento entiende por nivel de iluminación el conjunto de requisitos luminotécnicos o fotométricos, es decir la luminancia, iluminancia, uniformidad, deslumbramiento y la relación de entorno.

Los niveles máximos de luminancia o de iluminancia media de las instalaciones de alumbrado descritas en la EA-02 no pueden superar en más de un 20% los niveles medios referenciados, y en ningún caso el reglamento fija niveles mínimos obligatorios.

Por otra parte fija el valor de la uniformidad mínima, mientras que el resto de requisitos fotométricos, por ejemplo, valor mínimo de iluminancia en un punto, deslumbramiento e iluminación de alrededores, descritos para cada clase de alumbrado, son valores de referencia, pero no exigidos, que deberán considerarse para los distintos tipos de instalaciones.

Esta instrucción técnica fija valores, exigidos o de referencia, tanto para el alumbrado vial, el específico, el ornamental, de vigilancia y seguridad nocturna, de señales y anuncios luminosos y el festivo y navideño.

La instrucción realiza una clasificación de las vías y una selección de las clases de alumbrado, siendo el principal criterio para la clasificación de las mismas la velocidad de circulación. (Ver tabla 6).

Clasificación	Tipo de vía	Velocidad del tráfico rodado (km/h)
A	de alta velocidad	$v > 60$
B	de moderada velocidad	$30 < v \leq 60$
C	carriles bici	--
D	de baja velocidad	$5 < v \leq 30$
E	vías peatonales	$v \leq 5$

Tabla 6. Clasificación de las vías ITC EA-02

Mediante otros criterios, tales como el tipo de vía y la intensidad media de tráfico diario (IMD), se establecen subgrupos dentro de la clasificación anterior, asignándole a cada uno un código para la clase de alumbrado. Véase tabla 7 con las clases de alumbrado para vías de velocidad moderada.

Situaciones de proyecto	Tipos de vías	Clase de Alumbrado <sup>(*)</sup>
B1	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Vías urbanas secundarias de conexión a urbanas de tráfico importante.</b></li> <li><b>Vías distribuidoras locales y accesos a zonas residenciales y fincas.</b></li> </ul> Intensidad de tráfico IMD $\geq 7.000$ ..... IMD $< 7.000$ .....	ME2 / ME3c ME4b / ME5 / ME6
	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Carreteras locales en áreas rurales.</b></li> </ul> Intensidad de tráfico y complejidad del trazado de la carretera. IMD $\geq 7.000$ ..... IMD $< 7.000$ .....	

<sup>(\*)</sup> Para todas las situaciones de proyecto B1 y B2, cuando las zonas próximas sean claras (fondos claros), todas las vías de tráfico verán incrementadas sus exigencias a las de la clase de alumbrado inmediata superior.

Tabla 7. Clases de alumbrado para las vías tipo B ITC EA-02

En función de esta clasificación del alumbrado, la instrucción fija los requisitos fotométricos aplicables a las distintas vías. (Ver tabla 8)

Clase de Alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	Luminancia <sup>(4)</sup> Media $L_m$ (cd/m <sup>2</sup> ) <sup>(1)</sup>	Uniformidad Global $U_0$ [mínima]	Uniformidad Longitudinal $U_{\square}$ [mínima]	Incremento Umbral $TI$ (%) <sup>(2)</sup> [máximo]	Relación Entorno $SR$ <sup>(3)</sup> [mínima]
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3a	1,00	0,40	0,70	15	0,50
ME3b	1,00	0,40	0,60	15	0,50
ME3c	1,00	0,40	0,50	15	0,50
ME4a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,50
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6	0,30	0,35	0,40	15	Sin requisitos

<sup>(1)</sup> Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado, a excepción de (TI), que son valores máximos iniciales. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento ( $f_m$ ) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

<sup>(2)</sup> Cuando se utilicen fuentes de luz de baja luminancia (lámparas fluorescentes y de vapor de sodio a baja presión), puede permitirse un aumento de 5% del incremento umbral (TI).

<sup>(3)</sup> La relación entorno SR debe aplicarse en aquellas vías de tráfico rodado donde no existan otras áreas contiguas a la calzada que tengan sus propios requisitos. La anchura de las bandas adyacentes para la relación entorno SR será igual como mínimo a la de un carril de tráfico, recomendándose a ser posible 5 m de anchura.

<sup>(4)</sup> Los valores de luminancia dados pueden convertirse en valores de iluminancia, multiplicando los primeros por el coeficiente R (según C.I.E.) del pavimento utilizado, tomando un valor de 15 cuando éste no se conozca.

Tabla 8. Niveles de iluminación de los viales ITC EA-02

### 8.1.3 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-03. RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO Y LUZ INTRUSA O MOLESTA.

Esta instrucción queda descrita en el capítulo 4. Marco legal, apartado 4.2.1 del presente documento.

### 8.1.4 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-04. COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES.

En este caso se fijan valores y requisitos para los siguientes componentes de la instalación: luminarias, lámparas, equipos auxiliares, sistema de accionamiento y sistema de regulación.

En el caso de las lámparas y con la excepción de las iluminaciones navideñas y festivas, su eficacia debe ser superior a:

- 40 lum/W, para alumbrados de vigilancia y seguridad nocturna y de señales y anuncios luminosos
- 65 lum/W, para alumbrados vial, específico y ornamental

Para las luminarias (excluyendo la iluminación navideña y festiva) se fijan valores de rendimiento y factor de utilización.

En el caso de los equipos auxiliares queda delimitada la potencia eléctrica máxima consumida del equipo en función de la potencia nominal de la lámpara de descarga y su tecnología.

En lo que a sistemas de accionamiento se refiere, estos deben garantizar que las instalaciones de alumbrado exterior se enciendan y apaguen con precisión a las horas previstas cuando la luminosidad ambiente lo requiera, al objeto de ahorrar energía.

La instrucción propone diversos sistemas de accionamiento, tales como las fotocélulas, relojes astronómicos y sistemas de encendido centralizado.

Importante destacar que para toda instalación de alumbrado exterior con una potencia de lámparas y equipos auxiliares superiores a 5 kW, se debe incorporar un sistema de accionamiento por reloj astronómico o sistema de encendido centralizado, mientras que en aquellas con una potencia en lámparas y equipos auxiliares inferior o igual a 5 kW también podrá incorporarse un sistema de accionamiento mediante fotocélula.

Finalmente con la finalidad de ahorrar energía se deben proyectar dispositivos o sistemas para regular el nivel luminoso mediante alguno de los sistemas siguientes:

- Balastos serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia;
- Reguladores - estabilizadores en cabecera de línea;
- Balastos electrónicos de potencia regulable.

### **8.1.5 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-05. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA, VERIFICACIONES E INSPECCIONES.**

La instrucción técnica EA-05, establece el contenido tanto de lo proyectos como de las memorias técnicas de diseño. Hay que tener en cuenta que las instalaciones de potencia superior a 5 kW requieren proyecto redactado por técnico titulado competente, mientras que aquellos de potencia igual o inferior a 5kW precisan memoria técnica de diseño que podrá ser redactada por un instalador autorizado.

En cuanto a las verificaciones e inspecciones la instrucción técnica fija lo siguiente:

- Verificación inicial, previa a su puesta en servicio para todas las instalaciones que se encuentran dentro del alcance del reglamento.
- Inspección inicial, previa a su puesta en servicio para las instalaciones de más de 5 kW de potencia instalada.
- Verificaciones cada 5 años para las instalaciones de hasta 5 kW de potencia instalada.
- Inspecciones cada 5 años para las instalaciones de más de 5 kW de potencia instalada.

Tanto las verificaciones como las inspecciones serán realizadas por instaladores autorizados de acuerdo con el Reglamento electrotécnico para baja tensión.

Finalizada la instalación y posteriormente de manera periódica un instalador autorizado deberá realizar mediciones de la potencia eléctrica consumida por la instalación, iluminancia media de la instalación y la uniformidad de la instalación para la verificación de la misma.

Un organismo de control deberá realizar inspecciones iniciales y periódicas tanto de las medidas descritas en el párrafo anterior como de la luminancia media de la instalación, el deslumbramiento perturbador y la relación entorno.

Como resultado de la inspección o verificación, el organismo de control o el instalador autorizado, según el caso, emitirá un certificado de inspección o de verificación que podrá ser favorable, condicionada o negativa. La emisión de los informes condicionados o negativo serán función de si los defectos o deficiencia de funcionamiento son muy graves, graves o leves. Estos quedan claramente tipificados en dicha instrucción técnica.

### **8.1.6 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-06. MANTENIMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES.**

La baja progresiva del flujo emitido por las lámparas, el ensuciamiento de las mismas y del sistema óptico de la luminaria, el envejecimiento de los diferentes componentes del sistema óptico de las luminarias, el prematuro cese del funcionamiento de las lámparas y los desperfectos ocasionados por accidentes de tráfico o actos vandálicos son las principales causas de la disminución de las características fotométricas y mecánicas de una instalación de alumbrado exterior.

La ubicación del alumbrado exterior a la intemperie, sometidas a los agentes atmosféricos, el riesgo que supone que parte de sus elementos sean fácilmente accesibles, así como la primordial función que dichas instalaciones desempeñan en materia de seguridad vial, así como de las personas y los bienes, obligan a establecer un correcto mantenimiento de las mismas.

El factor de mantenimiento depende de:

- El tipo de lámpara, depreciación del flujo luminoso y su supervivencia en el transcurso del tiempo.
- La estanqueidad del sistema óptico de la luminaria mantenida a lo largo de su funcionamiento.
- La naturaleza y modalidad de cierre de la luminaria.
- La calidad y frecuencia de las operaciones de mantenimiento.
- El grado de contaminación de la zona donde se instale la luminaria.

El factor de mantenimiento ( $f_m$ ) es la relación entre la iluminancia media en la zona iluminada después de un determinado período de funcionamiento de la instalación de alumbrado exterior y la iluminancia media obtenida al inicio de su funcionamiento como instalación nueva, a su vez es igual al producto de tres factores: El factor de depreciación del flujo luminoso de las lámparas, el factor de supervivencia y el factor de depreciación de la luminaria.

$$f_m = \frac{E_{servicio}}{E_{inicial}} = FDFL * FSL * FDLU < 1$$

Los factores de depreciación del flujo luminoso y de supervivencia dependerán de la tecnología de lámpara utilizada en la instalación y de la vida útil de la misma. Asimismo, el factor de supervivencia depende de tres factores: el grado de protección del sistema óptico, el grado de contaminación y el intervalo de limpieza en años.

En el proyecto de alumbrado exterior, de acuerdo con los valores establecidos para los distintos factores, se efectuará el cálculo del factor de mantenimiento ( $f_m$ ), que servirá para determinar la iluminancia media inicial ( $E_i$ ) en función de los valores de iluminancia media ( $E$ ) en servicio con mantenimiento de la instalación establecidos en la ITC-EA-02 ( $E_i = E/f_m$ ).

Por tanto, el proyecto y la memoria técnica de diseño deben considerar el factor de mantenimiento para determinar la iluminancia media inicial, lo que exige fijar un plan de mantenimiento de la instalación previo.

Para garantizar en el transcurso del tiempo el valor del factor de mantenimiento de la instalación, se deben realizar las operaciones de reposición de lámparas y limpieza de luminarias con la periodicidad determinada por el cálculo del factor.

Las operaciones de reposición de lámparas y limpieza corresponden al denominado mantenimiento preventivo, que debe realizarse con cierta periodicidad fijada por el cálculo del factor de mantenimiento.

Corresponden al mantenimiento preventivo los siguientes trabajos:

- Reposición masiva de lámparas.
- Operaciones de limpieza de luminarias.
- Pintura de soportes.
- Ronda de inspecciones.
- Mediciones eléctricas y luminotécnicas.

En lo que se refiere al mantenimiento correctivo los trabajos a realizar son:

- Localización y reparación de averías.
- Adecuación de las instalaciones.

- Sustitución puntual de lámparas.
- Reemplazo de los elementos de la instalación fuera de uso.

Entre las acciones a llevar a cabo para un mantenimiento adecuado están las rondas nocturnas a la instalación con el objeto de detectar lámparas fuera de uso o anomalías de funcionamiento a nivel de punto de luz.

Los trabajos o rondas de inspección, así como las mediciones eléctricas y luminotécnicas se deben efectuar periódicamente, entrando dentro de las operaciones de mantenimiento preventivo de la instalación.

### **8.1.7 INSTRUCCIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA EA-07. MEDICIONES LUMINOTÉCNICAS EN LAS INSTALACIONES DE ALUMBRADO.**

En la instrucción EA-07 se describen las medidas luminotécnicas correspondientes a las verificaciones e inspecciones de las instalaciones de alumbrado exterior.

La instrucción fija las condiciones de validez de las medidas, teniendo en cuenta la geometría de la instalación, la tensión de alimentación, la influencia de otras instalaciones y las condiciones meteorológicas.

Respecto a las medidas de la luminancia media y las uniformidades, estas se deben realizar sobre el terreno, comparándose los resultados obtenidos en el cálculo incluido en el proyecto con los de la medida. La medida requiere un pavimento usado durante cierto tiempo, y un tramo recto de calzada de longitud aproximada de 250 m.

Las medidas de las iluminancias se realizan con luxómetro cuyas características se fijan en la instrucción técnica.

Asimismo, se fijan las condiciones de medida de luminancia, determinando la selección de la retícula de medida, la posición del observador y el área límite.

Para las condiciones de medida de las iluminancias la instrucción fija la selección de la retícula de medida, el área límite y el método simplificado de medida de la iluminancia media.

En cuanto al deslumbramiento perturbador la instrucción marca aspectos como el ángulo de apantallamiento, la posición del observador y el control de la limitación del deslumbramiento en las glorietas.

## **8.2 EFICIENCIA ENERGÉTICA SOBRE INSTALACIONES EXISTENTES.**

Una instalación de alumbrado exterior eficiente debe contemplar una correcta gestión del suministro, del mantenimiento preventivo y correctivo y unas inversiones encaminadas al ahorro sin perjuicio del confort y seguridad del usuario. En muchas ocasiones nos encontramos con instalaciones de alumbrado poco eficientes pero con un gran potencial de ahorro si se aplican las medidas correctas. A continuación se marcan líneas básicas para optimizar una instalación de alumbrado exterior.

### 8.2.1 EI CONTRATO DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO.

En España el suministro eléctrico es un negocio libre desde el año 2003, pero no lo son ni el transporte ni la distribución de energía eléctrica, que son monopolios territoriales, por tanto en la elección de la contratación del servicio con la compañía comercializadora de energía eléctrica deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- La potencia contratada de la instalación debe ser la necesaria. Si se contrata más potencia de la realmente utilizada se está encareciendo la factura eléctrica innecesariamente y el caso contrario, es decir sobrepasar la potencia contratada, supone una penalización económica.
- Se ha de escoger el tipo de tarifa de acceso más adecuado entre las que ofrece cada compañía, bien en el mercado libre o accediendo a las tarifas del suministro de último recurso (desde enero del 2014 denominados precios voluntarios para el pequeño consumidor y fijadas por el Gobierno Español). Hay que tener en cuenta que estas últimas solo son válidas para instalaciones con potencias contratadas menores de 10kW.

Ambas opciones presentan tarifas con discriminación horaria, factor a tener en cuenta a la hora de minimizar gastos en función del horario de encendido, reducción de flujo y apagado de la instalación. Es recomendable renegociar los suministros eléctricos con otras compañías comercializadores para poder obtener precios más ventajosos.

- Minimizar el exceso de energía reactiva, ya que, este resulta penalizado por algunas compañías eléctricas. Existen numerosos receptores, tales como motores, transformadores, reactancias, etc., que para funcionar necesitan que se formen campos magnéticos. Estos equipos, en general inductivos, absorben energía de la red para crear los campos magnéticos y la devuelven mientras desaparecen. Con este intercambio de energía, se provoca un consumo suplementario que no es aprovechable por los receptores. A esta energía se le denomina “energía reactiva” y se mide en kVarh. La energía reactiva provoca una sobrecarga en líneas, transformadores y generadores, sin llegar a producir un rendimiento útil. Sin embargo, la factura de energía sí la contabiliza, por lo que puede llegar a incrementarla en cantidades importantes. En el caso del alumbrado exterior, generalmente la presencia de una energía reactiva elevada se debe a la antigüedad de los equipos de las luminarias.

### 8.2.2 SELECCIÓN DE EQUIPOS DE CONTROL DEL APAGADO Y ENCENDIDO DE LA INSTALACIÓN



**Ilustración 27.**

Interruptor crepuscular.

La optimización de los tiempos de encendido (en el ocaso) y el apagado (en el orto) es fundamental a la hora de ajustar las condiciones de ahorro de una instalación de alumbrado exterior. Para maximizar el ahorro se utilizan dos tipos diferentes de dispositivos de control: Los interruptores crepusculares y los interruptores horarios astronómicos.

Los interruptores crepusculares (ver ilustración 27) son dispositivos electrónicos capaces de conmutar un circuito en función de la luminosidad ambiente gracias a una célula fotoeléctrica capaz de detectar la cantidad de luz natural existente y compararla con un valor ajustado previamente.

El inconveniente de este dispositivo es la necesidad de su colocación en zonas que pueden ser de difícil acceso para su mantenimiento y reparación. Además la polución puede ocasionar que el dispositivo no funcione correctamente.

Por otra parte, los interruptores horarios astronómicos (ver imagen 28) incorporan un programa que siguen los horarios de orto y ocaso de la zona geográfica donde está instalada. Este dispositivo es de gran versatilidad, ya que además del apagado y encendido, con otro circuito se puede actuar sobre los niveles de flujo e incluso incluir distintas maniobras en fines de semana, festivos, etc.



Ilustración 28. Interruptor horario astronómico.

## 8.2.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS REGULADORES DE FLUJO

### 8.2.3.1 EQUIPOS ESTABILIZADORES DE TENSIÓN Y REDUCTORES DE FLUJO LUMINOSOS EN CABECERA

Los estabilizadores de tensión y reductores de flujo (también llamados reductores de flujo) de sitúan en la cabecera de la instalación (centros de mando) y su misión es regular el nivel luminoso por variaciones de tensión y estabilizar la tensión de alimentación, solventando de esta manera los problemas de inestabilidad de la red.

La instalación de los reductores de flujo evita el exceso de consumo en las luminarias, prolongan la vida de las lámparas y disminuyen las incidencias por averías.

Estos equipos son aptos para lámparas de vapor de mercurio, vapor de sodio de alta presión y halogenuro metálico. Nótese que por normativa ya no se diseñan instalaciones con lámparas de vapor de mercurio.

Este equipo presenta el inconveniente de que si la instalación existente está compuesta de tendidos largos y no tiene la sección del cableado adecuada no se consiguen rendimientos óptimos, además precisan de mantenimiento especializado y que son vulnerables a sobretensiones producidas por rayos.

En el caso de tecnología LED se utiliza la regulación punto a punto.

### 8.2.3.2 BALASTOS ELECTRÓNICOS DE DOBLE NIVEL Y DRIVERS

Otra medida empleada para la reducción de flujo, es la utilización de balastos electrónicos de doble a nivel punto a punto. Esta opción es aconsejable cuando se opta por la sustitución de lámparas de vapor de mercurio por lámparas de halogenuro metálico, mucho más eficiente. Con la utilización de balastos electrónicos de doble nivel no son necesarios los equipos reductores de flujo en cabecera.

Las lámparas de descarga necesitan para su funcionamiento de equipos auxiliares. Estos equipos llamados balastos pueden ser electrónicos o electromagnéticos.

Los balastos electromagnéticos (ya en desuso) deben de acompañarse de un arrancador para el encendido de la lámpara y un condensador para minimizar la energía reactiva.

Aunque existen en el mercado balastos electrónicos y electromagnéticos que permiten reducir el flujo luminoso durante unas determinadas horas de funcionamiento del alumbrado (balastos de doble nivel), los primeros se consideran más eficientes ya que no se produce pérdidas energéticas por las reactancias electromagnéticas (potencia reactiva). Además, estos estabilizan la potencia frente a las variaciones de tensión aumentando la vida útil de la lámpara.

En el caso de la tecnología LED la fuente de alimentación de cada luminaria es denominada driver. Los LEDs trabajan normalmente con corriente continua y necesitan de un controlador (en este caso el driver) que convierta la corriente alterna que llega de la red en corriente continua y que a su vez disminuya el voltaje. La versatilidad de este dispositivo electrónico permite programar hasta cinco niveles de regulación de flujo durante el transcurso de la noche.

#### **8.2.4 SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LAS LÁMPARAS**

En el capítulo 3 del presente documento se describía los tipos de lámparas y los componentes de una luminaria desde el punto de vista de minimizar la contaminación lumínica. Desde el punto de vista de la eficiencia energética en la actualidad se utilizan de manera mayoritaria tres tipos de lámparas: VSAP, Halogenuro metálico y LEDs.

Las lámparas VSAP y halogenuro metálico presentan un buen rendimiento lumínico (relación lúmenes/Watios), aunque las VSAP se consideran más eficientes. En cuanto a la temperatura de color esta es más fría en el caso de halogenuro metálico (luz blanca fría superior a los 4000K) mientras que las lámparas de VSAP su temperatura de color es cálida (inferior a los 3000K).

En la actualidad el hecho de que existan grandes avances en la investigación y desarrollo de la tecnología LED (sobre todo en ópticas y técnicas para la disipación del calor) hace que los grandes fabricantes de luminarias apuesten por esta tecnología ofreciendo precios muy competitivos.

Las luminarias LED ofrecen mayor rendimiento lumínico que las de vapor de sodio y halogenuro. Además, se pueden optar por blancos cálidos (3000K) o más fríos (4000K). Gracias a su direccionalidad, no requieren el uso de un reflector por lo que mejora su rendimiento lumínico y como se ha comentado anteriormente su sistema de alimentación permite hasta la programación de cinco niveles de regulación de flujo.

#### **8.2.5 INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEGESTIÓN**

Un sistema de telegestión permite controlar las señales de los equipos sin necesidad de una supervisión in-situ.

Como sistema de telegestión de los centros de mando, este se conecta a equipos de medición, permitiendo el control de los parámetros y el envío de información, pudiendo actuar sobre el encendido y apagado de las lámparas o sobre su flujo luminoso.

Un equipo de telegestión consta de diversos componentes: Un equipo situado en la lámpara y que lo identifica, un equipo situado en el centro de mando y un servidor central que se comunica con los equipos anteriores.

La instalación de este sistema permite tantos ahorros energéticos, por la versatilidad a la hora de actuar sobre el encendido/apagado y los flujos luminosos como de mantenimiento.

### **8.2.6 EL MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN.**

El mantenimiento que se hace habitualmente en muchas instalaciones municipales es únicamente correctivo cambiando las lámparas cuando se funden y los equipos de encendido cuando causan fallo.

Un mantenimiento preventivo adecuado permite, además de detectar las averías, sacarle el máximo rendimiento a la instalación.

El mantenimiento preventivo de una instalación de alumbrado exterior debe contemplar las siguientes actuaciones:

- Verificación de los sistemas de regulación de nivel cada 6 meses.
- Limpieza del sistema óptico y cierres de luminarias cada 2 años.
- Control de las conexiones y de la oxidación en cada cambio de lámpara.
- Control de los sistemas mecánicos de fijación en cada cambio de lámpara.
- Control semestral del sistema de encendido y apagado.
- Revisión anual del armario del centro de mando, protecciones, puesta a tierra y cableados.
- Medición anual de los niveles de iluminación y verificación de la calificación energética.
- Reposición masiva de lámparas y balastos/driver según su vida útil.

## **9 CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

El diseño del alumbrado exterior de nuestras ciudades está cambiando en gran medida por la entrada en escena de las Empresas de Servicios Energéticos (ESEs). En el

caso de alumbrado público, las ESEs proporcionan el servicio de gestión integral del alumbrado (suministro energético y mantenimiento de las instalaciones) y afronta cierto grado de riesgo económico al hacerlo ya que es responsable de acometer las inversiones que favorezcan la eficiencia energética en la instalación. El pago de los servicios prestados se basa (en parte o totalmente) en la obtención de mejoras de la eficiencia energética y en el cumplimiento de los demás requisitos de rendimiento convenidos con los Ayuntamientos.

La búsqueda del ahorro energético y del cumplimiento legal con respecto a la contaminación lumínica, por parte de los gestores del alumbrado público (ya sea el propio Ayuntamiento o una ESE), hacen que los fabricantes adapten sus lámparas y luminarias a estas dos exigencias y que estas especificaciones se incluyan en los proyectos técnicos.

Como ya se ha comentado, a pesar de que no existe un reglamento de protección del cielo nocturno a nivel nacional, el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior lo regula en su instrucción técnica complementaria EA-03 el resplandor luminoso nocturno y la luz intrusa o molesta. Aunque exista un marco legislativo de referencia (más o menos exigente), aún es necesaria una tarea más extensa de sensibilización sobre el ciudadano, la cual debe ser impulsada por la clase política y desarrollada por técnicos expertos en la materia.

Respecto a las luminarias a proyectar en un alumbrado exterior y teniendo en cuenta que el proceso que realizan las lámparas de convertir la energía eléctrica en luminosa es un proceso con un rendimiento muy pobre, el Reglamento de eficiencia energética exige utilizar lámparas con una eficacia lumínica superior a 65 lm/w y rendimientos superiores al 55%.

Así mismo, aunque la ITC-EA-03 del Reglamento permite un FHS = 25% para cualquier calle, es decir, cualquier persona puede instalar luces en espacios exteriores que lancen una cuarta parte de la luz por encima de la horizontal, estos valores son excesivos si se pretende diseñar una instalación que proteja el cielo nocturno.

El Reglamento también consiente una luz intrusa de 25 lux en las fachadas de las viviendas a cualquier altura y sin limitación horaria, valores contrapuestos a la protección del cielo nocturno.

Vemos pues, que la mejora de la eficiencia energética que persigue el Reglamento no pretende ser la máxima posible y no implica la eliminación de la contaminación lumínica, por tanto en el diseño de una instalación de alumbrado exterior hay que aunar criterios de eficiencia y protección del cielo nocturno, más allá de lo legalmente exigido.

Hoy en día a la hora de abordar un cambio en las cabezas del alumbrado público bajo estas dos premisas (protección del cielo nocturno y eficiencia energética), se presenta un dilema, la tecnología a emplear.

Del lado de la eficiencia energética la tecnología LEDs alcanzan un mejor rendimiento de luminosidad por vatio que las lámparas de descarga, y presenta valores

de ciclos de vida muy altos (en torno a las 100.000 horas), sin embargo, para comparar correctamente los resultados de iluminar con LEDs o con lámparas de descarga se deben realizar en igualdad de condiciones: misma temperatura de color de la luz, mismos niveles de iluminación, uniformidades, deslumbramientos, similar composición espectral de la luz, etc., sin dejar atrás el análisis de los periodos de amortización de las distintas opciones proyectadas. Asimismo, en el planteamiento de estos criterios juega un papel fundamental el control de la contaminación lumínica. Por ejemplo, para una característica técnica básica que debe satisfacer una luminaria que prevenga la contaminación lumínica como es la temperatura de color, tenemos que una lámpara de vapor de sodio de alta presión de 3000K alcanza los 100 lúmenes por W mientras que un LED de 3000K difícilmente supera los 70 lúmenes por W en condiciones de uso continuado.

Por otra parte, si se pretende iluminar zonas E1 o E2 colindantes con E1 se deben disponer lámparas que eviten en lo posible la emisión en la banda de longitudes de onda corta del espectro visible, concentrando la luz mayoritariamente en longitudes de onda superiores a 525 nm y este criterio debe prevalecer sobre otros de rendimiento energético. El decreto Andaluz 357/2010 exige que la distribución espectral de la luz emitida por las lámparas ha de ser tal que la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda menores de 440 nm sea inferior al 15% de su radiancia total y en el caso de emplearse LEDs, la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda menores de 500 nm será inferior al 15% de su radiancia total. Si es superior el decreto obliga a aplicar filtros para cumplir los límites anteriores.

Una garantía de protección lumínica es el uso de luminarias y lámparas certificadas por el Instituto Astrofísico de Canarias, pionero y referente en esta materia en España.

## 10 CASO PRÁCTICO

### 10.1 RECOMENDACIONES PREVIAS

Antes de iniciar el caso práctico y tras lo expuesto en el presente documento, hay que tener en cuenta que un buen proyecto técnico de mejora del alumbrado público que prevenga la contaminación lumínica y mantenga los niveles de confort para el ciudadano debe tener en consideración los siguientes aspectos:

- Evitar la emisión de luz directa hacia el cielo. Para ello es aconsejable seguir las siguientes recomendaciones:
  - Usar luminarias con reflector y cierres transparentes, preferentemente de vidrio plano y no inclinar las luminarias más de 5°.
  - Usar luminarias con un porcentaje de emisión al hemisferio superior instalado inferior al 1% respecto al flujo total saliente de la luminaria y evitando los cierres laterales en los faroles.

- Tener presente que el flujo enviado cerca del horizonte un resplandor de 6 a 160 veces superior que el mismo flujo reflejado en el suelo.
- Usar proyectores para alumbrado de superficies horizontales de forma que la intensidad máxima de luz en el horizonte no supere las 10 cd/Klm y sea cero por encima, ni supere 2500 cd a partir de los 10° bajo el horizonte hacia arriba (a partir de  $\gamma$  80°) ni los 50cd/Klm sobre los 85°. Además, Procurar usar proyectores frontalmente asimétricos, con asimetrías adecuadas a la zona a iluminar, sin inclinación (Máximo 5°).
- No sobredimensionar la instalación de manera que se eviten los excesos de iluminación y luminancia y la distribución fotométrica se adapte eficazmente a la instalación. Para conseguir este objetivo se recomienda:
  - Seguir, Reglamentos, Normas europeas, recomendaciones del Ministerio de Fomento, Comité Español de Iluminación y Comité Internacional de iluminación, para establecer los niveles necesarios para iluminación de espacios, edificios, monumentos y letreros públicos y privados.
  - Estudiar la reducción de los niveles de iluminación a partir de ciertas horas de la noche.
  - No justificar excesos de iluminación en nuevas instalaciones porque las existentes vecinas fueron proyectadas con exceso. Estas deben ser corregidas antes de una nueva intervención. Debe evitarse la competencia y el deseo de destacar instalaciones respecto a otras utilizando niveles luminotécnicos exagerados, lo cual lleva a consumos energéticos innecesarios debido al comportamiento del ojo humano. Por tal razón, las actuaciones públicas y privadas debe considerarse globalmente en los entornos a iluminar (los excesos en unas obligan a sobre iluminar las otras).
- Estudiar detenidamente la tecnología de lámpara a utilizar y sus características técnicas. El Vapor de sodio de alta presión es el más indicado para prevenir este problema aunque los avances en tecnología LEDs hace que se tengan en cuenta a la hora de proyectar una instalación de alumbrado respetuosa con el cielo nocturno. Para ese estudio se recomienda:
  - Cuando el rendimiento cromático referido para una instalación no sea un objetivo primordial, utilizar como primer objetivo lámparas cuyo conjunto lámpara/luminaria ofrecen la iluminación más eficiente en  $W/m^2/lux$  ( $W$ =vatios reales instalados en la superficie de  $m^2$  metros cuadrados útiles y "lux"=nivel medio en lux en dicha superficie), sin olvidar el costo de la reposición y duración de las lámparas.
  - Si se opta por tecnología LED las nuevas lámparas de color blanco neutro y frío, es decir con temperaturas de color superiores a los 3300K tienen una fuerte emisión en 470nm (hasta 3 veces la máxima de su

espectro más visible) por lo que las hace especialmente dañinas para la salud y el medio ambiente. En el caso de ser necesaria la luz blanca, debe exigirse lámparas de color blanco cálido con temperatura de color inferior a 3200K.

- Por otro lado, la dispersión de la luz en la atmósfera (resplandor luminoso) en entorno limpios (observatorios astronómicos) es aproximadamente inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda por lo que una emisión en el color ámbar 590nm es 3 veces menos dispersada que una en 440nm. Por tanto, debe evitarse radiaciones por debajo de los 500nm (colores azules).
- Seguir las recomendaciones para la limitación de la luz intrusa publicado por el comité internacional de iluminación y el Reglamento de eficiencia energética. Publicación CIE 150 – 2003 "Guía para la limitación de los efectos de la luz intrusa producida por las instalaciones de alumbrado exterior", RD.1890/2008 ITC-EA-03 (no incluye datos después de 22h) y EN-12464-2:2007 tabla 2 "Luz indeseable máxima permitida".

Los máximos valores permisibles recomendados de luminancia vertical (EV) en las fachadas de los edificios o propiedades, producida por instalaciones de alumbrado exterior se indican en la siguiente tabla atendiendo a una zonificación del territorio:

PARÁMETRO LUMINOTÉCNICO	CONDICIÓN DE APLICACIÓN	E1	E2	E3	E4
Iluminancia en un plano vertical (E <sub>v</sub> ) lux	Aplicable a planos verticales de los límites de la propiedad privada a la altura donde pueda haber una potencial afección del edificio (ventanas).	De 06.00h a 22.00h 2	5	10	25
	Los valores dados corresponden a la componente directa de la iluminación.	De 22.00h a 06.00h 0*	1	2	5
Intensidad luminosa emitida por las luminarias (I) en candelas (cd)	Los límites se aplican a cada luminaria en las direcciones donde puede existir problemas de brillo en el campo de visión de los ciudadanos de manera más o menos constante.	De 06.00h a 22.00h 2500 cd	7500 cd	10000 cd	25000 cd
		De 22.00h a 06.00h 0* cd	500 cd	1000 cd	2500 cd

\*Nota: Si la luminaria es para alumbrado público (calle) este valor puede llegar hasta 1 lux y 500cd, respectivamente.

## 10.2 DATOS DE PARTIDA

Situaremos la población objeto de estudio en el Parque Natural Sierra de Aracena y Picos de Aroche, dicho parque se ubica en el extremo occidental de Sierra Morena, al norte de la provincia de Huelva, y se caracteriza por poseer una extensa masa forestal, una alta pluviosidad, un clima suave y un gran patrimonio natural.

Esta población a la que denominaremos con el nombre ficticio de "Sierra" es representativa de la mayoría de las poblaciones que se asientan en dicho parque

natural. Sierra cuenta con una población de 150 habitantes y una extensión superficial de 15 km<sup>2</sup>. Su configuración urbana está formada por unas pocas calles recorridas transversalmente por la carretera local. (Ver ilustración 29)

Dada la especial ubicación de Sierra, su Ayuntamiento ha apostado por el fomento del turismo astronómico. Para ello es fundamental la adecuación de la instalación de alumbrado exterior al decreto 357/2010 publicado por la Junta de Andalucía.



Ilustración 29. Localización de Sierra.

### 10.3 INVENTARIO INICIAL

Sierra cuenta con un único centro de mando con las siguientes características:

<b>CM 01</b>		
<b>Ubicación</b>	Avda. Principal s/n	
<b>Sistema de Apagado y encendido</b>	Reloj Analógico	SI
	Fotocélula	SI
	Reloj Astronómico	NO
<b>Sistema de Reducción</b>	Cabecera	NO
	Doble circuito	NO
	Punto a punto	NO
<b>Horas de funcionamiento</b>	4380	
<b>Tarifa de acceso</b>	2.0 DHA	
<b>Potencia instalada (Lámpara + equipo auxiliar)</b>	12kW	

En cuanto a la tipología de luminaria encontramos 2 modelos clásicos de farol: Farol Villa (calles transversales y plaza del Municipio) y Farol Fernandino (carretera principal) con las siguientes características:

Luminaria	Bloque Óptico	Tecnología Lámpara	Potencia	Equipo Auxiliar	Soporte	Altura	Tipo Alumbrado	Unidades
Farol Villa	Vertical	Vapor Mercurio	125w	Electromagnético	Brazo	3.5m	Vial Funcional	50
Farol Villa	Vertical	Vapor Mercurio	125w	Electromagnético	Columna	3.5m	Plaza	10
Farol fernandino	Vertical	Vapor Mercurio	250w	Electromagnético	Columna	3.5m	Vial Funcional	10

La interdistancia entre las luminarias es aproximadamente de 20 metros.

## 10.4 ACTUACIÓN PREVISTA

Según lo estipulado en el artículo 7 del Decreto Andaluz 357/2010 y observando el mapa de las zonas de máxima protección lumínica de Andalucía (ver ilustración 30) y teniendo en cuenta las reducidas dimensiones de “Sierra” y su ubicación dentro de una zona E1 (zonas incluidas en espacios naturales de la Comunidad Autónoma de Andalucía), recordemos que es colindante con el Parque natural de Aracena y Picos de Aroche, el municipio debe recibir la clasificación E2 (Áreas que admiten flujo luminoso reducido; terrenos clasificados como urbanizables y no urbanizables no incluidos en la zona E1).

De acuerdo al RD 1890/2008, la instalación de alumbrado público objeto de la actuación, corresponde con el tipo de alumbrado vial ambiental que se ejecuta generalmente sobre soportes de baja altura (3-5 m) en áreas urbanas para la iluminación de vías peatonales, comerciales, aceras, parques y jardines, centros históricos, vías de velocidad limitada, etc.

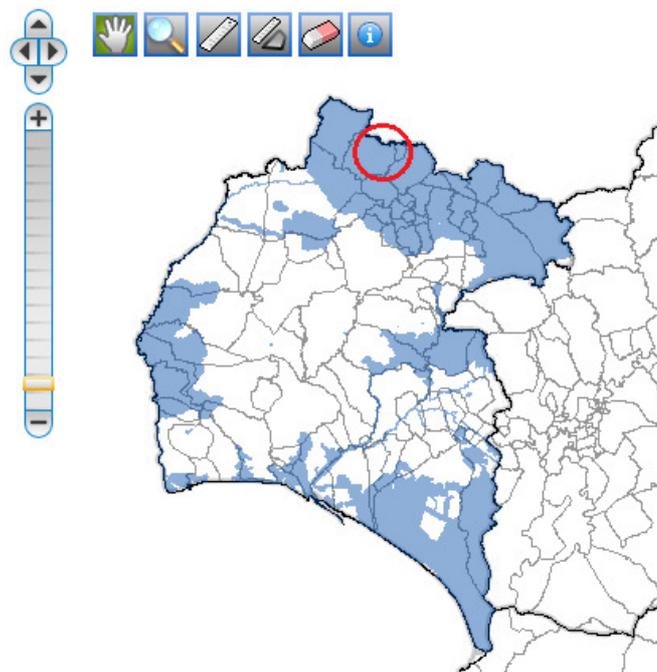
Como se comentó en el capítulo 8.1.2, el criterio principal de clasificación de las vías es la velocidad de circulación. Según se establece en la Tabla 1 de la ITC-EA-02, de manera general, las vías que pertenecen al casco urbano de “Sierra” se pueden clasificar como tipo D, ya que son consideradas como de baja velocidad (velocidad entre 5 y 30 km/h).

Las calles tipo D de “Sierra” son todas pertenecientes al subgrupo D4, esto es: Calles residenciales suburbanas con aceras para peatones a lo largo de la calzada, y zonas de velocidad muy limitada con flujo de tráfico de peatones y ciclistas alto. La clase de alumbrado que le corresponde a estas vías según tabla 4 de la ITC-EA-02 es CE2 con los siguientes valores medios de iluminancia horizontal.

Clase de Alumbrado ( <sup>1</sup> )	Iluminancia horizontal	
	Iluminancia Media <i>Em (lux)</i> [mínima mantenida( <sup>1</sup> )]	Uniformidad Media <i>Um</i> [mínima]
CE0	50	0,40
CE1	30	0,40
CE1A	25	0,40
CE2	20	0,40
CE3	15	0,40
CE4	10	0,40
CE5	7,5	0,40

(<sup>1</sup>) Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de mantenimiento ( $f_m$ ) elevado que dependerá de la lámpara adoptada, del tipo de luminaria, grado de contaminación del aire y modalidad de mantenimiento preventivo.

(<sup>2</sup>) También se aplican es espacios utilizados por peatones y ciclistas.



**Ilustración 30.** Mapa de las zonas de máxima protección lumínica de Andalucía.

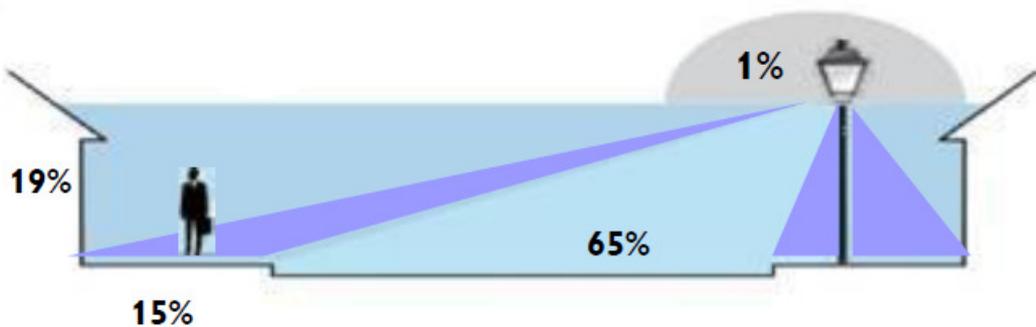
Ya que la actuación está fundamentada en la protección del cielo nocturno y la mejora de la eficiencia energética del alumbrado público de “Sierra”, con el objeto de conseguir el grado de protección idóneo para la zona E2 y teniendo en cuenta que la totalidad de las luminarias poseen un boque óptico vertical con emisión al hemisferio superior al 5% y lámparas de vapor de mercurio, las cuales concentran la luz en longitudes de onda inferiores a los 525nm y son poco eficientes, se apuesta por la sustitución de todas las cabezas.

La tecnología elegida para la nueva instalación es LED CREE con nano-ópticas (ver ilustración 31) en los dos modelos de faroles: Villa y Fernandino (ver ilustración 34), con la particularidad de que se opta por una temperatura de color igual o inferior a 3000K (blanco cálido adquirido gracias al incremento en la capa de fósforo que recubre el LED), garantizando que la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda menores de 500 nm son inferiores al 15% de su radiancia total.

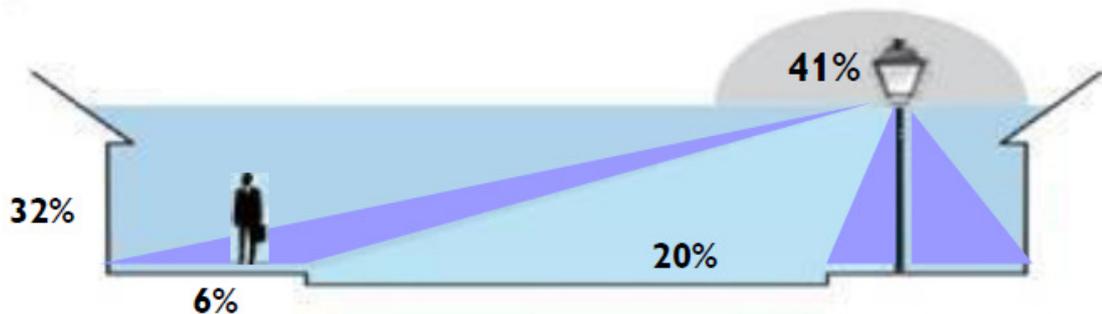


**Ilustración 31.** Nano ópticas y LED CREE

Aunque el bloque óptico horizontal permite que las emisiones al hemisferio superior sean inferiores al 1%, se opta por eliminar las caras laterales de los faroles (actúan como difusores de la luz), cerrando el bloque óptico con vidrio templado plano. Obsérvese las imágenes 32 y 33, donde se ve claramente la disminución de flujo hacia el hemisferio superior (1% frente al 41%) y de luz intrusa (19% frente al 32%) de las nuevas luminarias frente a las antiguas.



**Ilustración 32.** Farol Villa LED con nano ópticas



**Ilustración 33.** Farol Villa con bloque óptico vertical

Por otra parte, la gran ventaja óptica de los LEDs frente a las soluciones tradicionales es que el control del haz alcanza niveles de precisión altos. Este beneficio repercute en unos factores de utilización de hasta el 80% frente al 40% de la mejor solución óptica o el 15% de la mayoría de faroles.

La tecnología LED presenta un mayor ahorro energético, vida útil, mayor índice de reproducción cromática y menores costes de mantenimiento en comparación con la opción de luminarias con lámpara de VSAP.

Gracias a la constante innovación en tecnología LED se puede sustituir lámparas de vapor de mercurio de 125W por LED de 29W y las de 250w a 58W. Además dentro del campo de la eficiencia energética hay que añadir la capacidad de control y reducción de consumo punto a punto que ofrece el driver (la reducción de doble nivel permite disminuir hasta el 50%, el flujo luminoso durante 6-8horas), sin que tenga repercusión sobre la uniformidad lumínica o la seguridad.



**Ilustración 34.** Farol Villa y Fernandino LED.

Los nuevos Faroles Villa con tecnología LED deben cumplir las siguientes características técnicas tanto para la luminaria como para su driver (Tabla 6 y 7) con el fin de garantizar la protección del cielo nocturno y la mejora de la eficiencia energética de la instalación:

<b>CARACTERÍSTICAS LUMINARIA</b>	<b>VALORES</b>
Vida útil de la luminaria (L80)	L80F10>65.000h
Cuerpo	Fundición de aluminio
Cierre del grupo óptico	Vidrio plano templado sin caras laterales
Sistema de refrigeración de la fuente de luz	SI
Grado de protección sistema óptico IP	≥ IP65
Clase de aislamiento eléctrico	I,II
Grado de protección IK (impacto)	≥ IK09
Eficiencia de la luminaria (lm/w)	≥ 70lm/W
Índice de Reproducción Cromática (IRC)	≥ 70
Temperatura de color	≤ 3.000ºK
Relación de flujo hacia el hemisferio superior de las luminarias (FHSinst)	<1% *
Máxima intensidad de funcionamiento	530mA
Factor de potencia del conjunto	0.9

Ópticas	Vial y plaza
Potencias	28W(sustitución 125W de VM) y 57W(Sustitución 250W de VM)
Compatibilidad espectro para zonas E1 y E2 colindante con E1 según Decreto 357/2010	$\lambda > 525\text{nm} *$

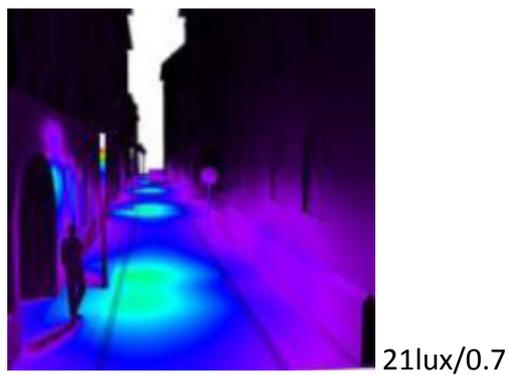
**Tabla 9.** Características técnicas de la luminaria.

Nota\*: Con la finalidad de proteger el cielo nocturno frente a la contaminación lumínica, el flujo hemisférico superior instalado de la luminaria ( $F_{\text{HSINST}}$ ) debe ser inferior al 1%. Por otra parte, en zonas E1 y E2 colindantes con E1 las luminarias deben evitar en lo posible la emisión en la banda de longitudes de onda corta del espectro visible, concentrando la luz mayoritariamente en longitudes de onda superiores a 525 nm. Además, la suma de las radiancias espectrales para todas las longitudes de onda menores de 500 nm será inferior al 15% de su radiancia total.

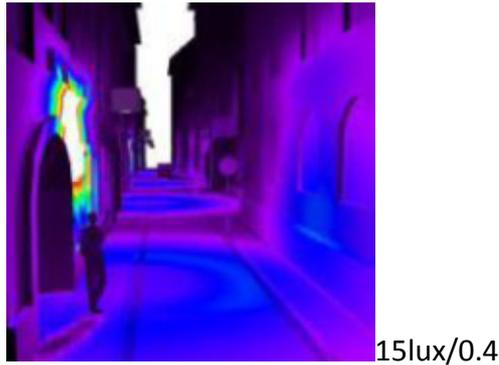
CARACTERÍSTICAS DRIVER	VALORES
Vida útil	$\geq 100.000\text{h}$
Drivers con entrada para sensor de temperatura	Entrada para resistencia NTC
Sistema de regulación autónomo incorporado	SI, doble nivel
Sistema automático de apagado y encendido	SI
Grado de protección Drivers IP	$\geq \text{IP65}$

**Tabla 10.** Características técnicas del equipo electrónico.

Cumpliendo las características técnicas anteriormente citadas, los niveles medios de iluminancia exigidos por el reglamento de eficiencia energética y teniendo en cuenta que la altura de las luminarias son de 3.5m y la interdistancia de 20m, obtendríamos la distribución lumínica de la ilustración 35 frente a la distribución de la situación actual (ver ilustración 36).(La simulación sería similar para ambos modelos).



**Ilustración 35.** Situación proyectada



**Ilustración 36.** Situación actual

Nótese los mayores niveles de iluminación sobre la calzada, la mayor uniformidad y la disminución de la luz intrusa conseguida con las luminarias proyectadas, sin dejar de cumplir el Reglamento de eficiencia energética de instalaciones de alumbrado exterior.

Como complemento a la mejora de la eficiencia energética de la instalación se proyecta el cambio del reloj analógico y la fotocélula por un reloj astronómico. La instalación del reloj astronómico supone una disminución de 4380 a 4100 de las horas de funcionamiento de la instalación, acorde con el orto y el ocaso solar del municipio.

De este modo el inventario final con la actuación proyectada sería:

Luminaria	Bloque Óptico	Tecnología Lámpara	Potencia	Equipo Auxiliar	Soporte	Altura	Tipo Alumbrado	Unidades
Farol Villa	Horizontal	LED	29w	Driver (regulación doble nivel)	Brazo	3.5m	Vial Funcional	50
Farol Villa	Horizontal	LED	29w	Driver (regulación doble nivel)	Columna	3.5m	Plaza	10
Farol fernandino	Horizontal	LED	58w	Driver (regulación doble nivel)	Columna	3.5m	Vial Funcional	10

Y los ahorros conseguidos los siguientes:

<b>POTENCIA INSTALADA ACTUAL</b>	<b>POTENCIA PREVISTA</b>
12kW	2.32kW
<b>AHORRO</b>	<b>80%</b>
<b>KWh ACTUALES</b>	<b>KWh PREVISTOS</b>
52560kWh	9512kWh
<b>AHORRO</b>	<b>82%</b>
<b>Tn CO<sub>2</sub> evitadas a la atmósfera</b>	17.4 Tn

## 11 CONCLUSIONES

La principal conclusión extraída tras la elaboración del presente documento es que conseguir niveles de confort adecuados en el alumbrado público exterior y proteger el cielo nocturno en ningún caso son conceptos antagónicos.

Los avances de la tecnología actual, en especial la LED, el interés en el diseño de instalaciones más eficientes y menos contaminantes y la aparición en escena de nuevos modelos de financiación hacen que cada vez un mayor número de Ayuntamientos españoles apuesten por la renovación de su alumbrado público exterior, fijando en sus licitaciones características técnicas encaminadas no sólo hacia la eficiencia energética sino a la protección del cielo nocturno.

Iniciativas como Startlight o Ecolight fomentan la sensibilización ciudadana sobre la repercusión negativa que tiene un mal diseño de una instalación de alumbrado exterior, mostrando las afecciones que producen sobre la salud humana, flora, fauna y observaciones astronómicas.

Proteger nuestro cielo no solo salvaguarda nuestra salud y la de nuestro entorno sino que posibilita nuevos modelos de negocio, como es el caso del turismo astronómico.

## 12 BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Internacional Dark-Sky. "Contaminación lumínica y la salud de los humanos". Año 2011.
- Baño Otalora, Beatriz. "Efectos de la contaminación lumínica sobre la salud humana". Convención: El cambio climático y el medio urbano. Año 2011.
- Bugallo Siegel, Francisco. "Contaminación Lumínica (II). Resumen de la conferencia expuesta por los autores en el V Congreso nacional de medio ambiente (CONAMA) organizado por el colegio oficial de físicos (COFIS). Ingeniería aeronáutica y astronáutica, Revista de la asociación de ingenieros aeronáuticos. Nº377, 2006.
- Calabuig, Jordi Domingo. "El tratamiento de la contaminación lumínica en un espacio natural: El caso de Ecolight". Ecolight-Ayuntamiento de Valencia. 2006.
- Cavaller, Francisco. "Cómo comparar y seleccionar luminarias LEDs para aplicaciones de alumbrado exterior". ANFALUM. 2010.
- Elke Rodríguez Schaeffer, Patricia. "Contaminación lumínica: Responsabilidad social". Universidad Autónoma de Chiapas, Chiapas, México / Escuela Técnica

Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

- “Especial monográfico: Contaminación lumínica y eficiencia energética”. Revista Física y Sociedad. Nº 21. Junio 2011.
- FENERCOM. “Guía de gestión energética en el alumbrado público”. Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid. Año 2012.
- Gago, Alfonso. “Iluminación con Tecnología LED”. Ed. Paraninfo. 2012. ISBN 13:978-84-283-3368-9.
- Galadí, David. “Contaminación lumínica: Medir para sobrevivir”. Revista Astronomía. Nº153. pp. 34-40. Año 2012.
- García Gil, Manuel. “Método de evaluación del impacto ambiental lumínico para instalaciones de alumbrado exterior”. XXXVIII Simposium Nacional de Alumbrado de la Ciudad de Toledo. Comité Español de Iluminación. Año 2012.
- Grupo de trabajo GT-LUZ. “Contaminación lumínica”. CONAMA 9. Año 2008.
- Grupo de trabajo 20. “Contaminación Lumínica”. CONAMA 5. Año 2000.
- Grupo de trabajo 26. “Contaminación lumínica”. CONAMA 8. Año 2006.
- Herranz Dorremocha, Carlos. “La iluminación con LED y el problema de la contaminación lumínica”. Revista Astronomía nº 144. Pp.36-43.
- Hilos, Luis. Yako Ingenieros. “Apuntes para la gestión eficiente del alumbrado público exterior”. Gobierno de Navarra e IDAE. Año 2012.
- Instituto Astrofísico de Canarias. “Resumen de recomendaciones para la iluminación de las instalaciones exteriores o en recintos abiertos”. Año 2014.
- Junta de Andalucía. “Guía técnica de adaptación de las instalaciones de alumbrado exterior al decreto 357/2010”. Ed. Dirección General de cambio climático y medio ambiente urbano. Depósito legal: SE 8208-2011.
- Martín, Franco. “Manual práctico de la iluminación”. Ed. A. Madrid Vicente. 2005. ISBN: 84-87440-10-X.
- Ollé Martorell, Josep M<sup>a</sup>. “Descontaminación lumínica y máxima eficiencia energética en las instalaciones de alumbrado exterior 2ª parte”. XXXVI Simposium Nacional de Cáceres. Comité Español de Iluminación. 2010.
- Pizarro Rodríguez, Donovan Alfonso. “Tesis: Análisis de la contaminación lumínica para tomar medidas correctivas, contra repercusiones ecológicas, económicas y sociales nocivas”. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad Nacional del Centro de Perú. Año 2011.

- Rabaza Castillo, Ovidio. Sistema y método para la medida y monitorización de la contaminación lumínica del cielo nocturno. XXXVIII Simposium Nacional de Alumbrado de la Ciudad de Toledo. Comité Español de Iluminación. Año 2012.
- Sánchez, Alejandro. "Imágenes de satélite contra la contaminación lumínica". Revista Atronomía. Nº167. Pp. 80-88. Año 2013.
- Sánchez de Miguel, Alejandro. Light pollution in Spain. An european perpestive. Universidad Complutense de Madrid. Año 2008.
- Starlight. "Declaración sobre la defensa del cielo nocturno y el derecho a la luz de las estrellas". Iniciativa Startlight. La Palma, Islas canarias, 2007.
- Tecnalía research and innovation. "Gestión pública del alumbrado exterior para la minimización de la contaminación lumínica. Manual de buenas prácticas para instituciones con competencias en alumbrado público y alumbrado exterior". Instituto para la sostenibilidad de Bizcaia.
- Wright Gilmore, Jaime. Medición y predicción de la radiación solar global UV-B bajo cielos claros sin nubes. Uniciencia 24, pp. 111-121, 2010.

### Normativa

- Real Decreto 243/1992, de 13 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley 31/1988, de 31 de octubre, sobre protección de la calidad astronómica de los Observatorios del Instituto Astrofísico de Canarias.
- 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. BOE num. 279 del 19 de noviembre de 2008.
- Andalucía. Decreto 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la protección del cielo nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética. BOJA num.159 de 13 de agosto de 2010.
- Reglamento (UE) Nº347/2010 de la comisión de 21 de abril de 2010. por el que se modifica el Reglamento (CE) n o 245/2009 de la Comisión en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para lámparas fluorescentes sin balastos integrados, para lámparas de descarga de alta intensidad y para balastos y luminarias que puedan funcionar con dichas lámparas.

Cartagena a 25 de septiembre de 2014