

GRUPO DE TRABAJO 20: CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

COORDINADOR:

José Miguel Peña Pérez

RELATORES:

Francisco Javier Bugalbo Siegel

Carlos Lozano Ambas

José Ignacio Unaca

Francisco Javier Díaz Castro

Oriol Puig

COLABORADORES TÉCNICOS:

María Dobres Durán Blas

Denis González Canom anuel

Salvador Lorente Calvo

Rodrigo Solano Lumbreras

Felipe Sánchez Albarán

Jorge Servet del Río



ÍNDICE

- 1.- Introducción.
- 2.- Contaminación lumínica: definición.
- 3.- Efectos directos de la contaminación lumínica.
- 4.- Otros efectos asociados a la contaminación lumínica.
- 5.- Fuentes de contaminación lumínica.
- 6.- Sectores afectados por la contaminación lumínica.
- 7.- Medidas para reducir los efectos de la contaminación lumínica.
- 8.- Normativa y recomendaciones.
- 9.- Conclusiones.
- 10.- Referencias, bibliografía y portales web.

1.- INTRODUCCIÓN.

La luz artificial, basada en la conversión de energía eléctrica en energía luminosa, ha sido, sin duda, uno de los factores definidores del progreso social y tecnológico que ha experimentado el mundo durante el último siglo.

No sólo ha permitido reducir de manera sustancial la limitación natural que suponen los ciclos estacionales y el ciclo día-noche, sino que se ha convertido en un auténtico catalizador de la actividad humana, ampliando su perspectiva: permite un uso ilimitado del tiempo y del espacio, transmite información, es un factor de seguridad y de rendimiento, es un elemento fundamental en muchas actividades de ocio, repercute sobre la estética percibida, evita el delito, etc., en definitiva, influye decisivamente en la calidad de vida.

Pero la consecución de todas estas ventajas no se ha realizado a coste cero. En primer lugar, cuando se habla de todas estas ventajas hay que reconocer que están referidas al mundo desarrollado. De hecho, también la iluminación es un factor que separa los países ricos de los pobres. Por otra parte, si bien los sistemas de iluminación han ido incrementando de manera ininterrumpida su eficacia, el enorme desarrollo que han tenido las actividades que usan de la iluminación ha disparado el consumo de materias primas y energéticas precisas para su mantenimiento, con el consiguiente incremento de los residuos que genera esta actividad.

Además, el crecimiento, muchas veces indiscriminado, que ha experimentado el alumbrado artificial, ha dado lugar a una nueva forma de agresión medioambiental. Ya en la década de los 70 surgieron las primeras voces de alarma cuando los astrónomos empezaron a constatar que las estrellas iban desapareciendo tras un velo luminoso creciente. Posteriormente, se les unieron los grupos ecologistas, preocupados al principio por el imparable incremento del consumo energético y, después, por las consecuencias que podría acarrear sobre el equilibrio biológico la invasión de la luz artificial en los espacios naturales y por las protestas que empezaron a surgir por parte de ciudadanos molestos por causa de una luz que invadía su intimidad. Todos estos fenómenos, que constituyen la contrapartida de las ventajas antedichas han quedado recogidos bajo el nombre de *contaminación lumínica*.

En la presente comunicación, se ha realizado un análisis de las causas y efectos conocidos de este fenómeno con el fin de plantear un programa de actuaciones que permitan reducir al mínimo las consecuencias negativas que esta faceta del progreso conlleva.

Para finalizar esta introducción, se ha considerado de gran interés incluir al final del documento, junto con las referencias y bibliografía utilizadas, una lista de portales web relacionados con la contaminación lumínica, a través de los cuales los interesados podrán, además de encontrar una gran cantidad de información, ponerse en contacto con otros particulares o grupos preocupados por el tema que nos ocupa.

2.- CONTAMINACIÓN LUMÍNICA: DEFINICIÓN.

En este apartado se pretende establecer los límites del problema a analizar, de forma que sirva de punto de partida para el desarrollo de la comunicación. Se ha tratado de que estos límites sean lo suficientemente amplios como para englobar todos los posibles aspectos relacionados, directa o indirectamente, con el problema de la contaminación lumínica.

La definición, posiblemente más general, de lo que se entiende por contaminación lumínica, se puede encontrar en la publicación de la CIE nº 126: "Directrices para la minimización del brillo del cielo", en donde se indica que *la "polución de la luz" es un término genérico que indica la suma total de todos los efectos adversos de la luz artificial*.

Atendiendo a esta definición, la contaminación lumínica es un concepto muy amplio que engloba todos los efectos nocivos y no deseables de las instalaciones de iluminación, desde los fenómenos de deslumbramiento hasta los de agresión al medio ambiente, pasando por los efectos de iluminación de áreas no deseadas o por el incremento del denominado "resplandor luminoso nocturno", fenómenos, como se puede fácilmente apreciar, muy dispares, para los que resulta complicada la tarea de adoptar una reglamentación común.

Es de hacer notar, no obstante, que aquí ya se establece una primera acotación del problema a los efectos producidos por las fuentes de luz artificiales (y, por tanto, controlables), dejando fuera del análisis los efectos adversos que, para determinadas aplicaciones, puedan producir las fuentes de luz naturales (deslumbramiento ocasionado por la luz del Sol, resplandor luminoso nocturno ocasionado por la Luna, etc.).

De manera más concreta, pero muy clarificadora, en el anteproyecto de ley sobre la protección del medio contra la contaminación lumínica, de la Generalitat de Catalunya, se define la contaminación lumínica como *la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones y/o rangos espectrales en aquello que no es necesario para la realización de las actividades previstas en la zona en la que se han de instalar las luminarias.*

El problema se acota todavía más (iluminación nocturna) y además quedan identificados implícitamente los elementos sobre los que se deberá actuar para controlar los efectos de la contaminación lumínica. En efecto, las “intensidades y direcciones”, están principalmente relacionadas con el diseño y montaje de las luminarias y con las propiedades de las superficies que reflejan la luz ya emitida (pavimentos, paredes, etc.) mientras que los “rangos espectrales” dependen directamente del tipo de lámpara utilizada.

Asimismo, queda implícito en esta definición que el concepto de contaminación lumínica no es absoluto, sino que depende del entorno y de la actividad que se realice en el mismo. La contaminación lumínica, como otros tipos de contaminación, es un fenómeno de umbral, que depende del entorno concreto en cada caso. Es decir, se establece el principio de que, al diseñar e instalar un sistema de iluminación, no sólo se deben tener presentes los niveles de iluminación o de luminancia adecuados a la actividad a desarrollar, sino que, además, se debe tener especial cuidado en que el nuevo sistema no perturbe otras actividades que se realicen en sus alrededores.

Para finalizar este apartado, hay que hacer notar que, por razones históricas, en muchas publicaciones el problema de la contaminación lumínica se limita al del “aumento del resplandor luminoso nocturno” causado por la dispersión de la luz artificial en los gases y partículas del aire, cuya principal consecuencia es el deterioro que provoca en las condiciones de observación astronómica. No obstante, con ser éste el aspecto más llamativo del problema general de la contaminación lumínica (y el que dio origen a la discusión de esta cuestión), no se puede olvidar el resto de los problemas provocados por lo que, en definitiva, no es más que la mala práctica de la técnica del alumbrado.



3.- EFECTOS DIRECTOS DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.

A la hora de plantear de una manera amplia cuáles son los efectos que puede provocar este fenómeno de la contaminación lumínica, parece conveniente separar los efectos más directos y objetivos del uso incorrecto de las técnicas de iluminación de otros efectos asociados que, o bien se encuentran en un periodo de estudio todavía no suficientemente avanzado, o bien son susceptibles de análisis subjetivos, si bien la frontera entre unos y otros no siempre resulta fácil de establecer. Dentro del primer grupo de fenómenos se encuentran aquellos que inciden de forma más o menos directa en el proceso humano de la visión de los objetos, como son los fenómenos del deslumbramiento y del denominado “resplandor luminoso nocturno”. También dentro de este grupo cabe incluir aquellas situaciones en las que la iluminación invade, sin más, áreas ajenas a los fines para los que fue diseñada, provocando molestias a los afectados. Este es el caso de la denominada “luz intrusa”, pudiendo ser los afectados tanto personas que ven violada su intimidad como animales o plantas cuyo hábitat natural puede ser perturbado de forma tal que incluso su propia supervivencia queda en peligro.

El segundo grupo de efectos a considerar incluye las consecuencias colaterales o derivadas de los fenómenos anteriormente descritos y, en definitiva, derivados del diseño/instalación no eficiente del sistema de iluminación que provoca la contaminación lumínica. Estos efectos, que abarcan desde pérdidas culturales hasta los problemas derivados de un excesivo consumo energético (contaminación, residuos), pasando por los efectos biológicos/fisiológicos sobre hombres, animales o plantas, serán tratados en un apartado posterior.

Teniendo en cuenta estas consideraciones se va a comenzar este apartado por una breve introducción a los mecanismos de la visión más afectados por la contaminación lumínica para, posteriormente, tratar separadamente los efectos mencionados.

- **Mecanismos de la visión.**

- 1. Visión de contraste.**

La mayor parte de la información que se percibe a través del mecanismo de la visión procede de las diferentes luminosidades que emiten los objetos situados en el campo visual. Estas diferencias dan lugar a la aparición de contrastes. El contraste entre las luminancias de los objetos y, en menor medida, el contraste entre los colores de los mismos, nos permiten distinguir unos objetos de otros. En particular, el contraste de luminancias está directamente relacionado con los diversos aspectos del problema que nos ocupa.

La forma más común de expresar el contraste de luminancias es la que corresponde a la ecuación:

$$C = \frac{L_o - L_f}{L_f}$$

Donde : C = Valor del contraste de luminancias
 Lo = Luminancia del objeto a observar.
 Lf = Luminancia del fondo.

Este contraste puede ser positivo, con valores entre 0 e infinito, correspondiendo a la observación de un objeto claro sobre un fondo oscuro, como, por ejemplo, una estrella brillante sobre el fondo oscuro del cielo, o bien se pueden tener contrastes negativos, con valores entre 0 y -1, que corresponde al caso de un objeto oscuro sobre un fondo claro, como, por ejemplo, un texto escrito en negro sobre un papel blanco.

Como se podrá apreciar más adelante, esta forma de expresar el contraste de luminancias, en la que, indirectamente, a través de la luminancia del fondo, se tiene en cuenta el estado de adaptación del ojo y, por tanto, su capacidad de detección de contrastes, resulta particularmente útil para explicar algunos de los fenómenos relacionados con la contaminación lumínica.

- 2. Sensibilidad al color.**

El ojo humano únicamente es sensible a las radiaciones luminosas comprendidas entre 380 nm (color violeta) y 780 nm (color rojo). Fuera de este intervalo no detecta ninguna radiación. Además, el ojo humano tiene una sensibilidad distinta para cada color. Si se representa mediante un gráfico la sensibilidad relativa del ojo humano frente a las distintas longitudes de onda de la luz, en condiciones de buena iluminación (visión fotópica) y suponiendo que todas las radiaciones tienen la misma energía, se obtiene una curva en forma de campana, con la máxima sensibilidad para una longitud de onda de 555 nm, correspondiente al color amarillo-verdoso, y la mínima para el violeta (380 nm) y el rojo (780 nm). Los focos luminosos tendrán, por tanto, mayor eficacia cuanto mayor sea el porcentaje de radiaciones correspondientes a los colores amarillo-verdosos que contengan. La lámpara de vapor de sodio de baja presión que radia según un espectro de dos líneas monocromáticas muy próximas, a 589 y 589.6 nm, son, por ello, las más eficaces, si bien presentan el grave inconveniente de no permitir la reproducción de colores de los objetos por ellas iluminadas. También hay que señalar que la curva de sensibilidad se desplaza, en condiciones de baja iluminación (visión escotópica), hacia las radiaciones de longitud de onda más corta (efecto Purkinje), presentando, en este caso, el máximo para una longitud de onda de 507 nm (verde-azul).

Por otra parte, es preciso advertir que no todos los seres son igualmente sensibles a las diferentes longitudes de onda. Si bien se denomina espectro luminoso al conjunto de radiaciones que afectan al órgano humano de la visión, la producción de luz implica, en muchos casos, la emisión de radiaciones de longitudes de onda no visibles para el hombre pero que sí le influyen de otras maneras (sensación de calor, efectos sobre la piel, etc.), y que, indudablemente, afectan de manera muy diversa a otros animales (que, por ejemplo, pueden tener espectros de visión distintos al del hombre) y plantas.

- **Efectos.**

- 1. Deslumbramiento**

El ojo humano se adapta al nivel medio de luminancia que exista, en un momento dado, en su campo de visión. Cuando, dentro de ese campo de visión, el valor medio de la luminancia es excesivo o, más comúnmente, cuando aparecen objetos excesivamente brillantes con relación al entorno o cuando se combinan los dos casos anteriores, se produce el fenómeno del deslumbramiento, ocasionado por la incapacidad del ojo para adaptarse simultáneamente a fuertes diferencias de luminancia.

El deslumbramiento puede ser directo (luminaria brillante en el campo de visión) o reflejado (espejos, superficies acristaladas, etc.). Asimismo, se puede distinguir entre un deslumbramiento molesto, incómodo, pero que no impide la visión y un deslumbramiento perturbador que interfiere en el proceso visual e impide la percepción de los objetos, tanto si se produce por dispersión de la luz en el sistema óptico del ojo (deslumbramiento por velo), que da lugar a una reducción en el contraste de luminancias, como si es provocado por la aparición o desaparición repentina de fuentes de luz brillantes respecto al entorno visual, que dan lugar a un proceso de adaptación del ojo (deslumbramiento de adaptación) a la nueva situación, con la consiguiente pérdida de percepción de los objetos durante este proceso.

Naturalmente, si bien es este deslumbramiento perturbador el que siempre debería ser evitado, dado que es el que provoca mayores situaciones de peligro, principalmente en la industria y en la circulación viaria, no hay que olvidar tampoco que el posible cansancio o distracción provocado por el deslumbramiento molesto también afecta a la capacidad de reacción de quien lo sufre.

También hay que hacer notar que, en zonas comerciales y de recreo principalmente, así como en ciertos ambientes (discotecas, etc.), en ocasiones se busca deliberadamente un cierto grado de deslumbramiento que dirija la atención hacia determinadas zonas o provoque un determinado estado de ánimo. Y se plantea la cuestión de que mucha gente asocia, sin más, el exceso de luz e, incluso, el deslumbramiento con sensaciones de euforia e incluso, de seguridad, provocando un proceso de realimentación que demanda cada vez una mayor cantidad de luz. Se debe tomar conciencia (y aquí se echa de menos la extensión en la sociedad de una cierta "cultura luminotécnica") de que mucha iluminación sin control y buena iluminación son conceptos contrapuestos. Como indicó en unas recientes jornadas el Presidente del Comité Español de Iluminación (CEI), D. Fernando Ibáñez, "*se trata de alumbrar, no de deslumbrar*".

Un ejemplo crítico, por sus consecuencias, de este problema lo constituye el alumbrado relacionado con el tráfico rodado. Si bien pocos ponen en duda el binomio alumbrado-seguridad (datos de la Comisión Internacional de Iluminación CIE muestran que el alumbrado en las vías de tráfico rodado reduce el total de accidentes en un 30% durante las horas sin luz natural), y parece también que están suficientemente claros cuales son los principios del alumbrado "correcto", son, en cambio, numerosas las críticas sobre la forma en que dicho alumbrado se lleva realmente a cabo. Exceso de potencia instalada, luminarias

mal apantalladas, paso brusco de zonas iluminadas a zonas oscuras y viceversa, instalaciones al lado de carreteras con proyectores incorrectamente dirigidos, etc. son algunos de los inconvenientes con que se suelen encontrar los conductores nocturnos, ya bastante afectados en sus capacidades por las propias condiciones de oscuridad y por los faros de los vehículos que circulan no sólo en sentido contrario, sino también por los que lo hacen en su mismo sentido.

Para finalizar este apartado, hay que indicar que los factores que más influyen sobre el deslumbramiento y, por tanto, sobre los que se deberá actuar, son:

- El tipo de distribución luminosa.
- La altura de montaje de las luminarias.
- La dirección de los haces.
- La luminancia del fondo.

2. Resplandor luminoso nocturno: efecto sobre las observaciones astronómicas.

El brillo del cielo de noche resulta de la reflexión de la radiación (visible y no visible), dispersada por los componentes de la atmósfera (moléculas de gas, aerosoles y partículas de materia) en la dirección de la observación. Este brillo consta de dos componentes separados:

- El brillo natural del cielo, producido por la radiación de los astros y por los procesos luminiscentes que tienen lugar en las zonas altas de la atmósfera.
- El brillo artificial del cielo, atribuible a fuentes de radiación artificiales, tanto las que emiten directamente su luz hacia el cielo (con diferencia los más perjudiciales), como las que dirigen el flujo luminoso hacia superficies u objetos que reflejan parte de la luz recibida hacia la atmósfera. Es a este componente del brillo celeste al que se denomina resplandor luminoso nocturno.

El resplandor luminoso nocturno produce un velo en el campo de visión que dificulta las observaciones astronómicas nocturnas que se realizan en las longitudes de onda pertenecientes o próximas al espectro visible. Naturalmente, también es muy importante considerar la posible emisión directa de luz sobre los propios observatorios.

En efecto, dado que este velo tiene una luminancia L_v propia que se añade tanto a la luminancia del objeto observado como a la del fondo, el contraste se modifica de la forma siguiente:

$$C' = \frac{(L_o + L_v) - (L_f + L_v)}{L_f + L_v}$$

$$C' = \frac{L_o - L_f}{L_f + L_v}$$

Este nuevo contraste es siempre menor que si no existiera la luminancia de velo, por lo que, cuando ésta aumenta, se puede cruzar el umbral límite que permite distinguir un objeto contra su fondo y, por tanto, éste “desaparece”. En astronomía, la clasificación visual se basa en una escala logarítmica, escala de magnitudes en la que la magnitud cero corresponde a estrellas muy luminosas (si bien no las más luminosas). Cuanto mayor es la magnitud de una estrella, tanto más débil es su imagen. Así. Por ejemplo, el límite para la detección ocular está alrededor de la magnitud 6. La luminancia de velo provoca una disminución en la magnitud límite [1], de forma que sólo los cuerpos celestes más brillantes se pueden distinguir, perdiéndose la visión de, por ejemplo, objetos de tanta significación astronómica y cultural como la Vía Láctea.

Dado que este fenómeno está ocasionado por la interacción de la luz con las partículas presentes en la atmósfera, resulta evidente que sus efectos dependen en gran medida de condiciones tales como la humedad ambiental, la presencia y disposición de las nubes, nieblas, polvo, presencia de partículas contaminantes, como aerosoles, humos, etc.. Por desgracia, fenómenos como la contaminación atmosférica son crónicos en grandes y medianas ciudades o zonas industriales, en las que la contemplación del cielo estrellado se ha convertido en una auténtica leyenda urbana.

Los efectos del resplandor luminoso nocturno están además muy influenciados por el espectro de emisión de las fuentes de luz que lo ocasionan: cuanto mayor sea la zona del espectro en que emite, tanto mayor será su impacto, al invadir un mayor número de longitudes de onda. Además, la región ultravioleta del espectro es particularmente importante en astronomía, por la información que proporciona sobre

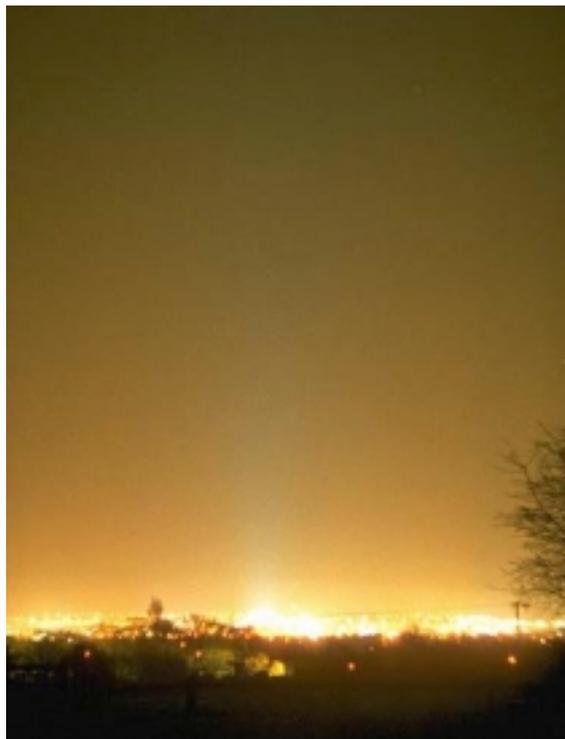
los astros lejanos. Por otra parte, las emisiones de luz con longitudes de onda más corta, como el azul y el ultravioleta, se dispersan más en la atmósfera que las de mayor longitud (razón del cielo azul), provocando un mayor resplandor luminoso.

Atendiendo a su espectro de radiación, se pueden ordenar las lámparas más utilizadas en el alumbrado según su efecto contaminante. Las lámparas menos contaminantes son las que emiten con mayor longitud de onda y dentro del espectro visible. Así, en general, se tiene, de menor a mayor efecto:

- Lámparas de vapor de sodio a baja presión.
- Lámparas de vapor de sodio a alta presión.
- Lámparas incandescentes convencionales.
- Lámparas incandescentes halógenas.
- Lámparas fluorescentes tubulares y compactas.
- Lámparas de vapor de mercurio a alta presión.
- Lámparas de mercurio a alta presión con halogenuros metálicos¹.

De acuerdo con el Comité 50 de la Unión Astronómica Internacional (UAI), se recomienda que, en un observatorio de alta calidad, el aumento en el brillo del cielo nocturno debido a la iluminación artificial no supere el 10% del brillo natural más bajo en el fondo del cielo, medido a 45° sobre el horizonte, en un rango espectral de 300 a 1000 nm.

Finalmente, cabe señalar que, además de estos fenómenos, el paso de rutas aéreas en las proximidades de los observatorios o la contaminación por radio frecuencia, en el caso de las observaciones radio astronómicas, también perturban la labor de los astrónomos profesionales.



¹ Recientemente, han salido al mercado unas lámparas de halogenuros metálicos con temperatura de color de 3000 K, con muy baja radiación ultravioleta (menos del 15% de emisión por debajo de los 440 nm respecto a la radiancia total) lo que las hace casi tan benignas como las de sodio de alta presión.

3. Luz intrusa.

Con este término se suele designar la invasión de luz artificial fuera del área de iluminación prevista, con las molestias o perjuicios que esto puede provocar en las zonas adyacentes. Si bien el fenómeno visto anteriormente del resplandor luminoso nocturno se puede considerar como un caso particular de luz intrusa, este problema, tanto por razones históricas como por su especificidad se trata de manera independiente.

Un ejemplo característico de este tipo de contaminación luminosa lo constituye la invasión de las viviendas por luz procedente generalmente, bien del alumbrado público, bien de proyectores que iluminan grandes áreas industriales o comerciales próximas, en niveles tales que pueden llegar a perturbar el descanso nocturno, situación ésta que se ve agravada en ciertas épocas del año, como el verano, en que, para evitar la intrusión de luz, hay que utilizar cortinas, persianas, etc. que impiden la ventilación. El resultado es la ausencia de reposo, con sus secuelas (fatiga, estrés, etc.).

Otro ejemplo de luz intrusa se tiene en la iluminación de muchas playas y paseos marítimos en los que, además de las áreas objeto de iluminación, conseguida con mayor o menor fortuna, son iluminadas grandes extensiones de agua, llegando incluso a provocar deslumbramiento por reflexión, por no hablar de los posibles efectos sobre la flora y la fauna costeras [2]. Reflexiones semejantes se pueden hacer con respecto a la degradación, por esta causa, de otros tipos de parajes naturales.

En cualquier caso, todos los fenómenos aquí descritos, de deslumbramiento, resplandor luminoso nocturno o luz intrusa, evocan la sensación de derroche de luz y, en definitiva, de derroche energético, con las consecuencias medioambientales y económicas que esto implica.

Para finalizar este apartado sobre los efectos de la contaminación lumínica, resulta obligado hacer referencia al trabajo realizado por el Comité Técnico TC 5 –12 de la División 5 de la Comisión Internacional de Iluminación CIE que, a finales de 1995 elaboró un borrador de informe técnico bajo el título “*Guía sobre limitación de los efectos de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior*”. En este texto, que se ha incorporado como un anexo a la “*Guía para la reducción del resplandor luminoso nocturno*”, informe técnico elaborado por el Comité Español de iluminación CEI, se concretan cinco tipos de efectos específicos (sobre observaciones astronómicas, sobre residentes, sobre ciudadanos, sobre usuarios de sistemas de transporte y sobre sistemas de señalización de transportes) ocasionados por la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior, al tiempo que proporciona un conjunto de valores orientativos recomendables para aplicar a los parámetros luminotécnicos que más influyen en los efectos relacionados.

4.- OTROS EFECTOS ASOCIADOS A LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.

Al tratar el problema de la contaminación lumínica no se pueden dejar de abordar otras secuelas añadidas que, si bien no suponen efectos tan inmediatos como los contemplados anteriormente, sí que plantean importantes interrogantes sobre las últimas consecuencias de este tipo de contaminación.

- **Efectos energéticos**

En primer lugar, de manera evidente, puesto que estamos hablando de luz que alumbrada, muchas veces en exceso, lo que no debe, se está produciendo un sobreconsumo energético. Además, por el comportamiento del ojo humano, niveles de iluminación elevados en una instalación llevan a extender estos niveles a las instalaciones adyacentes que, en caso contrario, se perciben como oscuras, pudiéndose llegar a una escalada incontrolada de excesos cuando los diseñadores tratan de resaltar su instalación frente a las vecinas. Este exceso de energía consumida no sólo tiene efectos económicos, evaluados de forma directa en la factura de la luz, lo que ya de por sí debería hacer pensar a los diversos responsables, sino que además, esa producción extra conlleva un incremento significativo en el consumo de recursos naturales no renovables (centrales eléctricas con combustibles fósiles) y la consecuente emisión a la atmósfera de sustancias que, como el CO₂, influyen de manera decisiva en el efecto invernadero u otras, como el SO₂, causantes de las lluvias ácidas.

Considerando de manera global el problema de la iluminación y el medio ambiente, y con objeto de cuantificar la magnitud del problema a tratar, se muestran a continuación las conclusiones a las que se

ha llegado [3] sobre los beneficios que, con la tecnología actual, produciría en el mercado español el cambio de lámparas y equipos asociados instalados por otros de mayor eficiencia energética:

Ahorros posibles en el mercado español	10.200 Gwh/ año	50% consumo en iluminación 150.000 millones de pesetas
Mejora medioambiental	3,4 millones de Tn de carbón u otros combustibles	1,7 Tn de mercurio 3,4 millones de Tn de CO ₂ 34.000 Tn de SO ₂ 10.500 Tn de Nox

Naturalmente, el proceso de sustitución de los equipos actuales por otros más eficientes debe ir aparejado con una adecuada gestión de residuos [4], junto con la investigación en nuevos productos con un menor contenido de productos tóxicos, con una vida útil más larga y que, a la vez, sean susceptibles de reutilización y reciclado.

No obstante lo aparatosas que puedan resultar las cifras anteriores, hay que advertir que, teniendo en cuenta que, de la energía final consumida en España, sólo el 17 %, aproximadamente, lo es en forma de energía eléctrica y que, de este porcentaje, sólo corresponde al alumbrado artificial eléctrico un porcentaje del orden del 15%, se deduce que el consumo final de energía achacable a este concepto no llega al 3% del total consumido. No parece, pues, que el ahorro a conseguir en este sector, si bien no despreciable, vaya a ser, globalmente, muy significativo. Pero la cuestión que se plantea es que, ante el enorme incremento del consumo de energía que lleva aparejado el actual modelo de desarrollo, que también tratan de seguir muchos países no desarrollados, todos los sectores industriales y sociales deben adoptar una cultura de aprovechamiento de los recursos naturales, más si, como en el caso que nos ocupa, los cambios a introducir son amortizables en plazos razonablemente cortos y aportan ventajas adicionales a las puramente energéticas.

Afortunadamente, la sociedad es cada vez más sensible a estos problemas. Acuerdos internacionales, como el Protocolo de Kioto (1997), a consecuencia del cuál, la Unión Europea se compromete a limitar durante el período 2008-2010 sus emisiones de gases de efecto invernadero hasta alcanzar una reducción de un 8% del nivel de sus emisiones en 1990 o de Decisiones del Consejo de Ministros de Medio Ambiente de la U.E. como el Tratado sobre la Carta de la Energía o el Protocolo de la Carta de la Energía sobre la Eficacia Energética y los Aspectos Medioambientales Relacionados, fomentan la aplicación de principios de eficacia energética compatibles con el desarrollo sostenible [5].

- **Efectos biológicos/fisiológicos**

Al tratar el tema de los posibles efectos de la contaminación lumínica sobre los seres vivos, hay que empezar advirtiendo que se trata de una cuestión todavía pendiente de numerosos estudios, no obstante lo cual, ya se pueden mostrar numerosos ejemplos que ilustran sobre las posibles consecuencias que un empleo incorrecto de la luz puede tener sobre los seres vivos.

De forma genérica, la luz cumple un papel fundamental en el desarrollo de la vida. Fenómenos como la fotosíntesis de las plantas y la conversión luz-calor se hallan en la base de la cadena vital. En la vida animal no sólo afecta a la función visual, sino que influye en todas las glándulas de secreción interna y, en consecuencia, en el comportamiento del organismo completo del hombre y los animales [6]. Además, los ciclos estacionales y el ciclo día-noche rigen funciones tan importantes como los ritmos circadianos, los períodos sueño-vigilia y los ciclos reproductores de los animales. La luz es el sincronizador más potente de los ritmos biológicos. Por tanto, la alteración de los ciclos luminosos naturales puede producir trastornos en el comportamiento de funciones esenciales para la vida de los individuos y de las especies.

Los efectos de la luz pueden ser directos, como la acción sobre la retina, indirectos, como la iluminación del cuerpo de un animal e inducidos, como sería el caso de un gallo que, por invasión de luz artificial, cantase antes del amanecer y perturbara el sueño de otros individuos.

A continuación, sin intención de ser exhaustivos, se exponen, de forma más concreta, algunos de estos posibles efectos.

1. Sobre el hombre:

La intensidad de la iluminación es un factor determinante del estado psicobiológico de los usuarios [7]. En efecto, las altas intensidades luminosas, acompañadas normalmente de situaciones de deslumbramiento, además de ocasionar el correspondiente cansancio visual, favorecen la ansiedad y el estrés. Por el contrario, las bajas intensidades lumínicas favorecen la depresión. Además, la luz es un estímulo que se suma a otros (temperatura, ruido, espacio, momento del día, etc...). La interacción de todos los estímulos exteriores provoca, en ocasiones, resultantes biológicas y emocionales no previstas, como cambios en la tasa cardíaca o la aparición de conductas agresivas. Se ha podido comprobar cómo, reduciendo el deslumbramiento, se reduce el número de actos vandálicos cometidos.

Desde el punto de vista puramente físico, el empleo de cierto tipo de lámparas parece estar directamente relacionado con afecciones del sistema ocular como la fotokeratitis (inflamación de la córnea) y la fotoconjuntivitis (inflamación de la conjuntiva)¹. En efecto, dado que la radiación natural tiene, por la absorción de la capa de ozono, un bajo contenido en las bandas espectrales que provocan estos efectos, cabe achacarlos a fuentes de radiación artificiales con alto contenido en UV-C, como las lámparas de vapor de mercurio a alta presión y las incandescentes halógenas. También la absorción continuada de radiación UV-A parece tener influencia sobre la formación de cataratas. En cambio, a pesar de la directa relación que existe entre radiación ultravioleta y la producción de efectos actínicos sobre la piel (beneficiosos y perjudiciales), parece que estos efectos se producen con exposiciones de la piel a la radiación natural del Sol y no por iluminación artificial (salvo, claro, los radiadores especiales UV). Así, un estudio realizado por la División VI de la C.I.E. no encontró ninguna evidencia de asociación entre el riesgo de padecer melanoma y la exposición a la iluminación fluorescente, si bien recomendaba, al no poder excluir por completo la existencia de riesgo, que los niveles de radiación emitidos por las fuentes se mantuvieran tan bajos como fuera posible.

Asimismo, no se puede dejar de insistir en el efecto fisiológico del deslumbramiento, ya explicado en apartados anteriores. El deslumbramiento es contrario a los criterios básicos de la iluminación como medio para permitir el adecuado desarrollo de las actividades humanas, afecta directamente a la seguridad y al confort visual.

Para terminar este epígrafe, y como contrapartida a lo dicho anteriormente, se debe dejar claro que una buena iluminación, adecuada a la tarea para la que se instala, al aumentar las condiciones de visibilidad, mejora las capacidades visuales (agudeza visual, visión binocular, visión periférica, visión cromática), que, entre otras ventajas adicionales, incrementa la sensación de seguridad, y que, como sucede en el caso de las carreteras, contribuye también a disminuir el deslumbramiento.

2. Sobre los animales y las plantas:

La mayor parte de los animales viven principalmente en la noche [8]. Muchos animales han desarrollado complejos sistemas para adaptarse a la oscuridad. Asimismo, otros organismos se han adaptado para aprovecharse de esa mayor actividad nocturna. En el mundo nocturno, unos seres se esconden para no ser descubiertos por sus depredadores y otros lo aprovechan para sus ataques. La fauna y la flora nocturnas precisan de la oscuridad para sobrevivir y mantenerse en equilibrio. Otros animales diurnos precisan de la noche para descansar y este descanso exige una oscuridad suficiente. En definitiva, se rompe el equilibrio poblacional de las especies (que son sensibles a radiaciones de distinta longitud de onda) favoreciendo a unas en detrimento de otras.

El impacto producido varía ampliamente según el tipo de instalación de alumbrado [9]. Así, se puede hablar de instalaciones puntuales, como los faros costeros, con un impacto local más o menos significativo, de instalaciones zonales, como centros urbanos, comerciales o industriales que provocan múltiples modificaciones en el medio, en función de la fauna autóctona del lugar y de instalaciones lineales, como carreteras y autopistas, que producen un efecto barrera o de aislamiento entre ambos lados de la instalación.

La proyección de luz artificial en el medio nocturno natural, al perturbar los ciclos naturales de día y noche, con la consiguiente alteración de multitud de procesos biológicos, puede ser la causa de numerosos efectos nocivos, como en los ejemplos que se muestran a continuación:

- Altera el equilibrio entre depredadores y presas, bien por la imposibilidad de cazar sin ser visto, bien por la posibilidad de ser cazado al quedar visible.

- ❑ Provoca deslumbramiento y desorientación en las aves, siendo perjudicadas de manera particular las aves migratorias.
- ❑ Bloquea la migración de ciertas especies, como la anguila, especialmente al principio del período.
- ❑ Altera los ciclos de ascenso y descenso del plancton marino, lo que influye a su vez en la alimentación de las especies marinas que habitan en las cercanías de las costas.
- ❑ Favorece la depredación de arrecifes por parte de los mariscadores furtivos.
- ❑ Afecta al ciclo reproductivo de los insectos que, en muchas ocasiones, son incapaces de atravesar las barreras de luz que forman las instalaciones de alumbrado artificial. En otras ocasiones, como en el caso de las luciérnagas, que han desarrollado un modo de comunicación basado en la emisión de señales luminosas de muy baja intensidad, el velo de luz dificulta la comunicación y, por tanto la reproducción.
- ❑ El empleo de lámparas que emiten gran cantidad de radiación ultravioleta como, en general, las de vapor de mercurio, provoca la abundancia de insectos voladores alrededor de los focos de luz equipados con ese tipo de lámparas. Esto se debe a que los insectos, especialmente los nocturnos, son más sensibles que los humanos a las radiaciones azules y ultravioletas, mientras que son prácticamente ciegos para longitudes de onda superiores a 600 nm. En este sentido, las lámparas de sodio son menos agresivas. A su vez, la concentración de insectos puede atraer especies depredadoras que proliferan en detrimento de otros insectívoros incapaces de cazar en las mismas condiciones.
- ❑ Los insectos, o, más ampliamente, los artrópodos, son la fuente de proteínas más importante del planeta. Son el principal alimento de muchas especies de vertebrados y de invertebrados a la vez que desempeñan un papel fundamental en la polinización de muchas plantas. Su disminución desequilibra la base de la cadena trófica.
- ❑ Sobre la flora los efectos más importantes son, probablemente, los inducidos por la disminución de los insectos en general, así como la de los que realizan la polinización de multitud de plantas con flores que se abren de noche. Otro efecto es el adelanto de la floración, modificando su ciclo natural. A su vez, cambios en la vegetación de una zona modifican el hábitat de otros animales.

En conclusión, es necesario mantener un ambiente luminoso similar al natural en características espectrales, energéticas y variaciones temporales, con el fin de no producir efectos biológicos no deseables sobre el hombre y los animales.

• Efectos culturales

Por último, aunque no por ello de menor importancia, nos encontramos con los efectos culturales que, uno de los aspectos de la contaminación lumínica, el resplandor luminoso nocturno, puede acarrear a la sociedad. Y no se trata sólo de las dificultades que ocasiona a la labor investigadora de los astrónomos profesionales, que ven desplazados sus observatorios a lugares cada vez más remotos, o de los problemas con que se encuentran los astrónomos aficionados, que tienen que recorrer distancias cada vez mayores para poder satisfacer su curiosidad. Ni tampoco sólo de la pérdida lamentable de la maravilla estética que supone la mera contemplación del firmamento cuajado de estrellas, junto con los fenómenos celestes. La cuestión tiene incluso raíces más profundas. Está en la base misma de la civilización humana. Mitos, religiones, ciencia, arte, cultura oficial y cultura popular han mantenido, a lo largo de la historia de la humanidad, estrechas relaciones con esa región misteriosa e inalcanzable. Incluso en nuestros días, es evidente la fascinación que sigue despertando. Porque el vértigo que proporciona la contemplación del cielo estrellado no es sólo físico. Es la constatación de nuestra verdadera dimensión en el Universo. Está en el origen de muchas “preguntas fundamentales”. Si dejamos de ver cotidianamente las estrellas, ¿no corremos el riesgo de despreciar lo que ignoramos?, ¿no estaremos perdiendo la conciencia de lo que somos?. Y, encima, resulta que esta pérdida afecta principalmente a la población que vive en torno a las grandes ciudades y centros industriales, es decir, a lo que se suele considerar los sectores más activos de la sociedad.

Para terminar este apartado, nada más ilustrativo que el párrafo siguiente [10]:

“El cielo ha sido y es una inspiración para toda la humanidad. Sin embargo, su contemplación se hace cada vez más difícil e, incluso, para las jóvenes generaciones empieza a resultar desconocido. Un ele-

mento esencial de nuestra civilización y cultura se está perdiendo rápidamente, y esta pérdida afectará a todos los países de la Tierra”

5.- FUENTES DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.

El proceso de generación y propagación del fenómeno de la contaminación lumínica, en su acepción más general, se ha de analizar a partir del proceso de la generación de la luz artificial, su entorno y la forma de utilización del alumbrado o fin del mismo.

Existe una serie de modelos empíricos que tratan de determinar los niveles de contaminación lumínica cenital a distintas distancias debidas a núcleos de población [11]. La búsqueda de un modelo matemático único de comportamiento tanto para las fuentes de luz y su agrupación como para su propagación y dispersión en un medio tan heterogéneo como es la atmósfera, es muy complejo. La necesidad de utilizar hipótesis de simplificación hace que dicho modelo matemático se comporte con poca precisión, no obstante lo cual todos estos estudios y modelos constituyen un notable avance en esta investigación.

Cabe decir que la inmensa mayoría de los estudios realizados están dirigidos hacia la reducción del resplandor luminoso nocturno o, lo que es lo mismo, la proyección de luz hacia el cielo, pero se debe contemplar también el efecto de dicha contaminación sobre el medio ambiente, es decir, hay que ampliar los estudios de impacto medioambiental por deslumbramiento o por luz intrusa.

• Elementos del alumbrado.

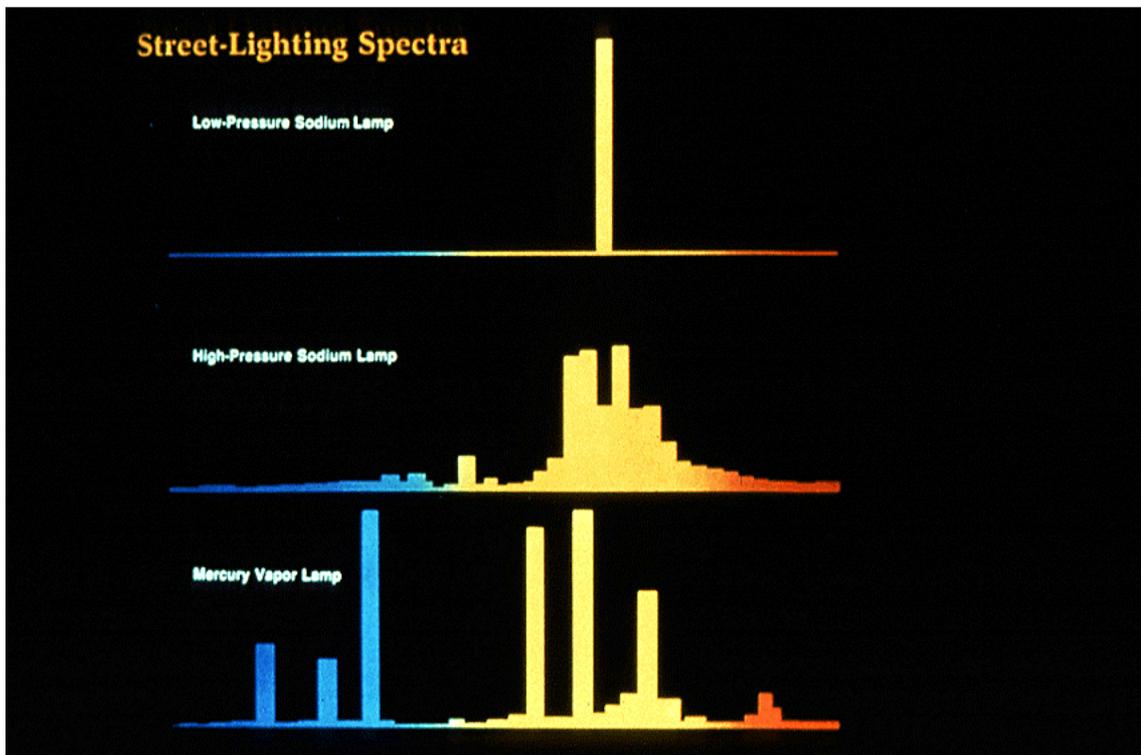
En el proceso de contaminación lumínica producido por el alumbrado intervienen: El propio sistema catadióptrico ² de la luminaria que por su configuración, disposición de la luminaria, etc. provoca una emisión de luz hacia direcciones no deseadas. La atmósfera en la que está inmersa dicha luminaria y su entorno, produce el fenómeno de esparcimiento de la luz al interaccionar ésta con las moléculas (gases componentes, agua, partículas en suspensión, etc.) que integran aquella). Asimismo, el pavimento y las superficies reflectantes situadas en el entorno de la luminaria, al ser alumbradas originan múltiples reflexiones de la luz de forma no controlada [12].

1. Lámparas y Luminarias.

Espectro de radiación.

No toda la luz generada por una luminaria se transmite en línea recta sino que una parte de la misma se esparce por efecto de la atmósfera, propagándose en todas las direcciones. En particular, parte de la luz que se dirige hacia el cielo vuelve a la superficie terrestre produciendo el efecto del resplandor luminoso. El análisis del esparcimiento de la luz en la atmósfera debido a moléculas gaseosas, modelado por Rayleigh, da como resultado el que el esparcimiento es mayor cuanto más pequeña es la longitud de onda de la luz [13]. Así, las lámparas que emiten más proporción de luz azul (vapor de mercurio) producen un mayor resplandor luminoso nocturno que aquellas con emisiones superiores en la banda del rojo (vapor de sodio) de longitudes de onda más largas. El esparcimiento debido a aerosoles o a partículas en suspensión, es tanto mayor cuanto menor sea el tamaño de las partículas y mayor sea la concentración de las mismas en la atmósfera [14].

² Catadióptrico, equipo óptico compuesto por espejos y lentes.



Distribución del flujo luminoso.

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

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

La función de las luminarias es la de proporcionar un control de la luz de forma que dirija el flujo luminoso hacia las direcciones adecuadas apantallando el restante flujo luminoso con el fin de crear la distribución de intensidad luminosa especificada. Así mismo, debe proporcionar sujeción y protección a las lámparas y sistemas catadióptricos así como a los equipos eléctricos y/o electrónicos asociados, asegurando las mejores condiciones de funcionamiento de las lámparas para las cuales ha sido diseñada. Por último, han de disponer de una seguridad mecánica y eléctrica así como de un índice de protección adecuado al uso al que se destinen.

Con respecto al resplandor nocturno, la emisión de luz contaminante de estos equipos es debida, bien a la emisión directa de la luz hacia el hemisferio superior, bien debida al sistema dióptrico³, normalmente utilizado como cierre transparente de la luminaria, que desvía parte del haz de luz hacia esas direcciones. La luz intrusa, por el contrario, es debida a la emisión de luz por parte de las luminarias hacia direcciones inadecuadas, que no siempre están comprendidas en el hemisferio superior.

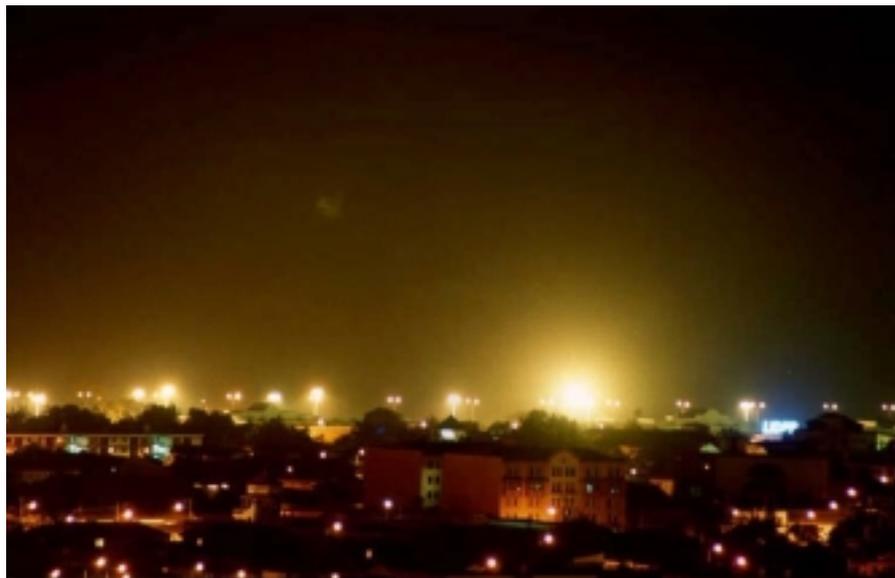
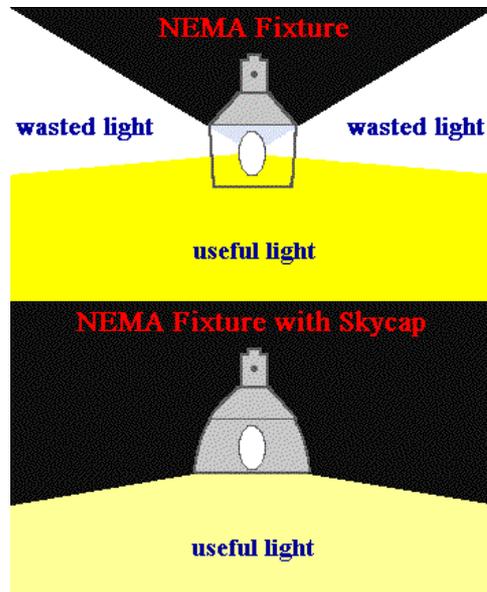
Desde el punto de vista constructivo, en general, las luminarias con cerramiento de vidrio curvo transparente emiten una mayor cantidad de flujo directo que las de vidrio plano, siendo más crítico y debiendo ser de menor valor el ángulo de apuntamiento en las primeras que en las segundas. En cada caso y para cada tipo de fabricante deberían obtenerse, mediante ensayos sobre dichos modelos, los valores del flujo directo para comprobar si es o no adecuada su utilización.

Para evaluar el grado de contaminación de las luminarias, desde el punto de vista del resplandor nocturno se define el flujo sobre el hemisferio superior de las mismas o flujo directo enviado al cielo (%FHS) que se define como el flujo emitido por una luminaria por encima del plano horizontal. Dicho plano corresponde a un ángulo gamma de 90°, en la representación (C, γ). Se expresa en tanto por ciento respecto del flujo total emitido por la luminaria. El restante flujo luminoso hacia el cielo corresponde al

³ Dióptrico, perteneciente o relativo a la dióptrica, o fenómenos de refracción de la luz.

pecto del flujo total emitido por la luminaria. El restante flujo luminoso hacia el cielo corresponde al proceso de reflexión de las superficies iluminadas, suelo, fachadas, etc.

Actualmente, se incluye en el computo del %FHS el flujo reflejado por las superficies reflectantes, con lo que este parámetro da una idea de la contribución media de la luminaria en la contaminación. Se estima y resta esta influencia en el cómputo de las intensidades máximas para cada ángulo gamma de forma que el valor así obtenido da una idea de la contribución máxima posible.



Pavimentos/superficies reflectantes.

La reflexión es el segundo factor más importante en la contaminación lumínica [15].

La luminosidad en pavimentos y superficies reflectantes esta directamente relacionada con las propiedades fotométricas de las mismas. Así, la luminosidad de una superficie se relaciona con el coeficiente de luminancia medio Q_0 del pavimento, de forma que, para una iluminancia dada, cuanto mayor es este factor más elevada es la luminancia de la calzada y menor el deslumbramiento. El factor especular S_1 evalúa la separación respecto de una reflexión difusa perfecta de una superficie dada, de forma que a igualdad de iluminancia cuanto menor es el factor especular más uniforme es la luminancia. Por tanto, 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 el entorno de las instalaciones astronómicas, para poder considerarse despreciable un flujo directo con respecto al flujo reflejado, el flujo directo ha de ser del orden de 1/10 del reflejado [16].

En cualquier instalación de alumbrado, existe una multitud de obstáculos en su entorno que generan múltiples reflexiones hacia todas las direcciones. En cada reflexión hay una pérdida sustancial de energía. Así, por ejemplo, dos reflexiones sobre superficies con coeficientes de reflexión del 20% harían que el rayo reflejado tuviese sólo el 4% de su intensidad inicial. Como la evaluación de estas pérdidas es muy compleja, es por ello por lo que en los modelos simplificados de estudio se ignoran estos elementos y se tienen en cuenta mediante un coeficiente global.

Para minimizar su efecto, se han de limitar los niveles de iluminación a los estrictamente necesarios en cada situación y momento. Una uniformidad en la iluminación mejora de forma indirecta el nivel de contaminación, ya que supone unos niveles luminotécnicos inferiores y por tanto una disminución en la reflexión. Por tanto, las luminarias deben tener una distribución fotométrica adecuada a la superficie a iluminar de forma que la distribución de la luz sea lo más uniforme posible. Las luminarias con cerramiento de vidrio curvo transparente parecen proporcionar, en general, una mejor distribución del flujo luminoso que las de cierre plano pues, según estudios recientes, [17] optimizan la relación entre el flujo directo y el flujo reflejado emitido hacia el hemisferio superior, siempre, claro está, que no resulte crítico el valor del flujo de radiación directamente emitido al hemisferio superior, como, por ejemplo, podría suceder en las proximidades de los observatorios astronómicos.

En las características constructivas, de composición, etc. de las calzadas de las vías de tráfico debería contemplarse las adecuadas propiedades reflexivas que resulten adecuadas para las instalaciones de alumbrado viario, con el fin de obtener la máxima luminancia y uniformidad en la iluminación.

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, polvo, aceite, seco o mojado, etc. hace prácticamente inviable un estudio completo de este fenómeno de la reflexión. Aún así, sería conveniente estudiar tipos de acabados superficiales para disminuir en casos específicos el poder reflectante de las superficies iluminadas.

• Sectores de utilización.

La contaminación lumínica se surge en aquellas zonas en la que se presenta una concentración de luminarias o elementos de proyección de luz que, generalmente, coincide con los núcleos de población o de grandes industrias. Entre otras muchas, se pueden clasificar los focos generadores de contaminación lumínica y en particular del resplandor luminoso nocturno [18] de la forma siguiente:

Alumbrado público en:

- Centros urbanos.
- Carreteras (incluyendo alumbrado interior de túneles).
- Costas. Alumbrado marítimo.

Otros tipos de alumbrado urbano:

- Seguridad.
- Deportivo.
- Publicitario.
- Ornamental.
- Zonas comerciales.
- Exterior viviendas.

Alumbrado de áreas específicas (grandes áreas al aire libre iluminadas con proyectores):

- Grandes nudos de comunicación: aeropuertos [19], puertos, estaciones de ferrocarril, etc.

- Grandes instalaciones deportivas.
- Sectores industriales [20]:
 - Energía.
 - Minería.
 - Siderurgia y Fundición.
 - Metalurgia no férrea.
 - Transformados metálicos.
 - Industrias Químicas y conexas.
 - Industria Textil.
 - Industria Alimentaria.
 - Industria de la Madera, Corcho y Muebles.
 - Industria de Materiales para Construcción.
 - Industria de la Piel, Cuero y Calzado.
 - Industrias Fabriles y Actividades Diversas.
 - Actividades Agrícolas y Agro-Industriales.
- Otras.

6.- SECTORES AFECTADOS POR LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.

El entorno visual, y la tarea que se ha de realizar en él, hace que los criterios de calidad del alumbrado sean diferentes según los casos. Está claro que las necesidades de iluminación de una gran ciudad son difícilmente compatibles con el nivel de oscuridad que precisa un observatorio astronómico y también son muy diferentes de las que precisa un pequeño núcleo rural. Por esta razón, a la hora de prever el alumbrado en una zona o lugar determinado, se debe realizar un estudio detallado de las necesidades, así como de los posibles efectos perturbadores que dicho alumbrado puede provocar en su entorno. Esto lleva, en una primera aproximación, a analizar la influencia de la contaminación lumínica sobre áreas definidas por su situación geográfica y por las actividades que en ellas se desarrollan.

Pero, naturalmente, hay, al menos, otra aproximación posible al título del apartado, cual es la definir qué sectores de la sociedad pueden ser los más activos a la hora de denunciar los problemas que origina este tipo de contaminación y cuáles son los que tienen en sus manos, de manera más directa, la adopción de medidas que eviten los posibles efectos nocivos o que solucionen los problemas ya planteados, sin olvidar, desde luego, que es la sociedad en su conjunto quien se ve afectada por el problema y que la solución sólo puede llegar con la connivencia de todos los sectores sociales.

• Sectores geográficos.

La utilización del alumbrado para las actividades humanas nocturnas con exigencias de iluminación precisas para incrementar la seguridad, mejorar la calidad de vida, preservar el entorno, etc., puede entrar en contradicción con la calidad del cielo nocturno y, en general, producir un fenómeno de contaminación lumínica. Con el fin de evitar que las consecuencias ambientales perjudiquen igualmente en todos los entornos, se han establecido unos criterios de zonificación o sectorización geográfica. Estos criterios actúan como marco de referencia para regular en primer lugar y, posteriormente, resolver, los posibles conflictos que pudieran derivarse de la necesidad del alumbrado nocturno.

Este sistema, establecido en principio para limitar las interferencias producidas por el resplandor luminoso nocturno en los observatorios astronómicos, que constituyen el denominado *punto de referencia* del sistema, permite implantar los requisitos de iluminación en una zona o sector geográfico en el que se encuentre un observatorio, facilitando además el establecimiento de los límites de iluminación en otros sectores del entorno de dicho centro [22]. Este modelo de zonificación es seguido también por varios países a la hora de establecer los requisitos que deben cumplir, en general, las instalaciones de alumbrado exterior para limitar el flujo luminoso sobre el hemisferio superior.

Para ello, se establecen los siguientes sectores geográficos o áreas a los que se adjudica un número clave:

- | | |
|---|-------|
| 1. Observatorios astronómicos. | ⇒ E 1 |
| 2. Parques naturales y áreas de especial belleza natural. | ⇒ E 1 |
| 3. Áreas rurales. | ⇒ E 2 |
| 4. Áreas urbanas residenciales. | ⇒ E 3 |

El resplandor luminoso nocturno en el cielo de una zona específica, en particular una en la que se encuentra un observatorio astronómico, es debido a las dimensiones de esa zona, a su propia iluminación y a la iluminación de las zonas colindantes. Por ello, para cada sector se establecen las siguientes restricciones o limitaciones:

Limitación sectorial por distancia.

La influencia de la iluminación de las zonas vecinas será función de las distancias entre las fronteras de las zonas implicadas. En primer lugar, se debe seleccionar la zona donde se encuentra ubicado el observatorio astronómico y, a continuación, se fijan las distancias mínimas, en kilómetros, recomendadas entre los límites de cada zona y el punto de referencia, así como entre los límites de las restantes zonas colindantes. Estas distancias mínimas recomendadas entre los límites de cada zona, que se exponen a continuación, se han obtenido de forma experimental [23], por lo que pueden estar bajo revisión.

Punto de referencia en E 1:

- Distancia mínima entre E 1 y límite E1-E2 : 1 km.
- Distancia mínima entre E 1 y límite E2-E3 : 10 km.
- Distancia mínima entre E 1 y límite E3-E4 : 100 km.

Punto de referencia en E 2:

- Distancia mínima entre E 2 y límite E2-E3 : 1 km.
- Distancia mínima entre E 2 y límite E3-E4 : 10 km.

Punto de referencia en E 3:

- Distancia mínima entre E 3 y límite E3-E4 : 1 km.

Punto de referencia en E 4: Sin límites.

Estos valores deberían ser incrementados teniendo en cuenta las dimensiones de los posibles centros urbanos existentes en los distintos sectores. Así, algunos miembros del Comité Técnico 4.21 del CIE proponen la sustitución de las distancias de 1 Km por un intervalo de 5 a 10 km; las de 10 Km por un intervalo de 25 a 50 Km; y las de 100 Km por el intervalo 100 a 150 Km. Los valores más bajos serían aplicables a zonas con concentraciones urbanas menores de 50.000 habitantes y los valores más altos para poblaciones de más de 100.000 habitantes.

Limitación en la elección del tipo de lámpara.

Esta elección se ha de basar en la zona de ubicación, en el tipo de instalación y en el horario de funcionamiento de la instalación de alumbrado. En general, se recomienda el uso de lámparas de descarga, preferentemente de vapor de sodio a alta presión en las zonas E4, E3 y E2 cuando se requiera un alumbrado nocturno de seguridad. En la zona E4 podrían utilizarse lámparas de vapor de mercurio a alta presión, halogenuros metálicos, etc., siempre que la iluminación lo requiera: cascos históricos, monumentos o edificios emblemáticos, etc. En la zona E1 se recomienda la instalación de lámparas de vapor de sodio de alta y baja presión, preferentemente estas últimas. Por último el empleo de lámparas más contaminantes debería quedar reducido a instalaciones de alumbrado definidas con un horario de funcionamiento determinado.

Limitación del Flujo hacia el Hemisferio Superior Instalado (FHS_{inst}).

El flujo hacia el hemisferio superior instalado emitido por una luminaria se define como aquel que se dirige por encima del plano horizontal. Se expresa en tanto por ciento del flujo total emitido por la luminaria.

Establecer valores de limitación del % FHS_{inst} puede resultar un asunto muy controvertido si no se incluyen otros aspectos importantes tales como el entorno donde se encuentra situada la luminaria, la forma y concentración del haz, el régimen horario de funcionamiento, etc. A modo de indicación, se establecen los siguientes valores límite para el flujo hacia el hemisferio superior instalado para cada tipo de zona, supuesta la luminaria situada en una zona abierta y a partir de las 24 horas:

- E 1 ⇒ 0 % FHS_{inst}
- E 2 ⇒ 0 a 1 % FHS_{inst}
- E 3 ⇒ 0 a 3% FHS_{inst}

E 4 \Rightarrow 0 a 5 % FHS_{inst}

En el interior de los centros urbanos (espacios limitados por edificios y arboledas), se recomienda:

E 1 - 0 % FHS_{inst}

E 2 - 0 a 5 % FHS_{inst}

E 3 - 0 a 15% FHS_{inst}

E 4 - 0 a 25 % FHS_{inst}

Adecuación de las características fotométricas de los pavimentos y superficies reflectantes.

Dado que una parte importante de la emisión de flujo luminoso hacia el hemisferio superior es debido a efectos de reflexión, sobre todo en el pavimento, sería conveniente añadir algún tipo de restricción en cuanto al uso de superficies con índices de reflexión elevados tales como pavimentos y grandes superficies verticales como edificios con fachadas acristaladas.

Ajuste temporal de los niveles de iluminación.

En muchos casos es posible una reducción de los niveles de iluminación, manteniendo la uniformidad de la misma, como, por ejemplo, en las vías de tráfico, zonas peatonales, a partir de cierta hora de la noche siempre que no provoque una merma en la seguridad tanto del tráfico como de los peatones. Para otros tipos de iluminaciones, tales como las ornamentales, publicidad, etc., a cierta hora de la noche simplemente deberían apagarse.

Con respecto al otro tipo de contaminación lumínica, la iluminación intrusa o luz molesta o perturbadora, también se han hecho estudios de carácter empírico y, por tanto, sujeto a futuras modificaciones a medida que vayan siendo cotejados mediante la experiencia [24]. Por tanto, los valores presentados son meramente indicativos y obtenidos tomando como base a los siguientes efectos ocasionados por la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior:

Efectos sobre las observaciones astronómicas.

Efectos sobre los residentes.

Efectos sobre los ciudadanos.

Efectos sobre los usuarios de sistemas de transportes.

Efectos sobre sistemas de señalización de transportes.

Se utiliza la misma clasificación sectorial implantada para la reducción del resplandor luminoso en el cielo con el nombre de Zonas Medioambientales. Para cada zona se establecen diferentes requisitos para la restricción de la luz perturbadora, dependiendo de las actividades que se realicen en dichas zonas y suponiendo implantado un horario de reducción para la iluminación⁴. Los valores máximos [25] permitidos son los siguientes:

Zona E 1

FHS_{inst} : 0 %

Iluminancia vertical (EV) en las ventanas: 2 lux y 0 lux en horario reducido.

Intensidad (I) de la fuente (1): 15.000-30.000 cd y 0 cd en horario reducido

Luminancia media (Lm) de los edificios (2): 0 cd/m²

Deslumbramiento perturbador (TI) (3): 10 %

Zona E 2

FHS_{inst} : 5 %

Iluminancia vertical (EV) en las ventanas: 5 lux - 1 lux (horario reducido)

Intensidad (I) de la fuente: 15.000-30.000 cd y 500 cd en horario reducido

Luminancia media (Lm) de los edificios: 4 cd/m²

Deslumbramiento perturbador (TI): 10 %

Zona E 3

FHS_{inst} : 15 %

Iluminancia vertical (EV) en las ventanas: 10 lux - 5 lux (horario reducido)

Intensidad (I) de la fuente: 15.000-30.000 cd y 1.000 cd en horario reducido

⁴ A menudo denominado *toque de queda*, suele estar implantado por reglamentos y ordenanzas municipales.

Luminancia media (Lm) de los edificios: 6 cd/m²
Deslumbramiento perturbador (TI): 15 %

Zona E 4

FHS_{inst}: 25 %

Iluminancia vertical (EV) en las ventanas: 25 lux - 10 lux (horario reducido)

Intensidad (I) de la fuente: 15.000-30.000 cd y 2.500 cd en horario reducido

Luminancia media (Lm) de los edificios: 12 cd/m²

Deslumbramiento perturbador (TI): 15 %

NOTAS:

(1) Se aplica para cada fuente de luz en la dirección del potencial de la molestia.

(2) Para evitar una iluminación excesiva se limita la luminancia en los edificios de forma que esté acorde con la luminosidad general de la zona.

(3) TI expresado como incremento de umbral de contraste en tanto por ciento.

Los valores de las intensidades de la fuente corresponden a zonas fuera del área a alumbrar. Los valores del deslumbramiento perturbador corresponden a los establecidos por la CIE [26] para los distintos tipos de alumbrado.

• **Instituciones y grupos sociales afectados.**

El problema de la contaminación lumínica afecta cada día a más sectores de la sociedad, debido al crecimiento en número de instalaciones de alumbrado de distinto tipo: alumbrado público, alumbrado publicitario, alumbrado de seguridad, etc., que normalmente no respetan ciertos criterios de diseño y niveles de iluminación mínimos recomendados para evitar la contaminación lumínica.

Se pueden señalar como instituciones y grupos sociales que actualmente debaten el tema de la contaminación lumínica a los siguientes:

Astrónomos profesionales y asociados.

Grupos de ecologistas.

Fabricantes.

Ayuntamientos.

Consejerías del Medio Ambiente (Comunidades Autónomas).

Otros organismos oficiales.

Las organizaciones indicadas deberían intervenir en los desarrollos de las futuras normativas que regulen la contaminación lumínica, estableciendo distintas zonas ambientales y, para cada una de ellas, decretando los niveles de iluminación, adecuación de horarios de funcionamiento, homologación de tipos de luminarias y lámparas, etc. Por otra parte, a los organismos oficiales les correspondería velar por el cumplimiento de dichas normas y disponer del suficiente poder sancionador contra el incumplimiento de las mismas.

Los precursores en el tema de la contaminación lumínica, con un numeroso currículum de estudios e informes sobre el resplandor luminoso nocturno, son los citados en primer lugar. Todo el trabajo de investigación basado en observaciones astronómicas se encuentra absolutamente supeditado a la ausencia de este tipo de contaminación medioambiental. Tanto por la importancia del trabajo que se desarrolla en los observatorios astronómicos, como por la escasez de emplazamientos adecuados para realizar estas observaciones, es por los que la problemática de contaminación para estos centros ha de realizarse de modo separado.

En otro ámbito están los grupos ecologistas y otras asociaciones defensoras del medioambiente en general. Su cometido es encauzar las actividades conducentes a una mejora del medioambiente. En el caso que nos ocupa analizan los efectos que la contaminación lumínica provoca sobre las personas, animales y plantas, que, aunque no se manifiesten de forma inmediata, puede provocar a largo plazo alteraciones físicas y del comportamiento.

La inclusión en la relación de grupos sociales afectados de las empresas fabricantes de equipamiento es debido a que, como concedoras del medio, en la mayoría de los procesos de normalización son una parte fundamental en el desarrollo de las propias normas y su regulación.

Los Ayuntamientos y las Comunidades Autónomas son, en definitiva, los organismos con poder legislativo y sancionador encargados de establecer el régimen regulador de las instalaciones de alumbrado exterior, así como de su inspección y control.

El último epígrafe incluye todas aquellas instituciones oficiales y organizaciones nacionales e internacionales, como puede ser la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), que proporcionan foros internacionales de discusión científica y tecnológica y generan un intercambio de información entre países. Estas organizaciones en general proporcionan guías para la aplicación de los procedimientos de desarrollo de las normas nacionales e internacionales, estableciendo los principios básicos y los procedimientos de medida en el campo de la luminotecnia. También preparan publicaciones sobre las normas y otros estudios concernientes a su materia. Además, mantienen una agrupación y una interacción técnica con otras organizaciones internacionales relacionadas con la ciencia, la tecnología y la normalización en el campo de la luminotecnia.

7.- MEDIDAS PARA REDUCIR LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.

La complejidad y diversidad de entornos que rodean a las zonas influenciadas por una iluminación hace que la reducción del fenómeno de contaminación lumínica sea muy complicado, ya que existen factores fundamentales que son difícilmente controlables tales como el estado de la atmósfera, estado de las superficies reflectantes, etc. Aún sabiendo que algunos efectos de la contaminación lumínica son inevitables y de que pueden entrar en colisión intereses opuestos de los distintos sectores afectados, se proponen en principio las siguientes líneas de actuación, basadas en la corrección de las causas generadoras de la contaminación lumínica indicadas en el apartado quinto.

• Establecimiento de Zonas de Actuación.

Es evidente que no todos los tipos de contaminación lumínica son iguales, ni que todos inciden de la misma forma en puntos geográficos distintos.

Así esta muy claro, y existe una amplia bibliografía al respecto, sobre las causas, efectos y forma de reducir el resplandor luminoso nocturno en zonas próximas de los observatorios astronómicos [27][28].

Por otra parte, el ritmo de crecimiento que desarrolla la contaminación lumínica lleva a la conveniencia de que en cada zona de actuación se deban realizar estudios de impacto lumínico de cada instalación de alumbrado, incluyendo además un entorno de, al menos, 500 m alrededor de la misma. El estudio debería contemplar, entre otros, los siguientes aspectos:

* Intrusión de luz en propiedades ajenas (ventanas de viviendas, edificios hospitalarios, etc.), zonas de ocio, parques y parajes naturales, zonas residenciales, etc.

* Deslumbramiento en vías públicas, zonas peatonales, entornos marítimos y aeroportuarios, etc.

• Empleo de lámparas y luminarias adecuadas.

Las recomendaciones para evitar el resplandor luminoso nocturno que afecta a las observaciones astrofísicas indican la preferencia de las lámparas de vapor de sodio a baja presión frente a las lámparas de vapor de sodio a alta presión. En el caso de utilizar estas últimas se restringe la zona y horario de utilización. Se ha de evitar el uso de lámparas de vapor de mercurio y está prohibido el uso de lámparas de halogenuros metálicos [29].

En general, se deben utilizar luminarias que dirijan el haz de luz en sentido descendente. Utilizar en general, y en el alumbrado público en particular [30], luminarias cuya emisión de luz hacia el hemisferio superior sea lo menor posible. En el caso de no poder cambiar el tipo de luminaria y el sentido de la iluminación al descrito se recomienda utilizar pantallas, rejillas, etc. para evitar la dispersión del haz luminoso.

No deberían utilizarse báculos de gran altura en el alumbrado público, salvo cuando las exigencias de diseño así lo requieran.

• Empleo de los valores de iluminación recomendados.

Utilizar los niveles de iluminación indicados en las normas, buscando la mayor uniformidad posible en la misma. Ya se ha comentado en apartados anteriores el posible efecto de realimentación que producen los niveles elevados de iluminación. En este sentido, habría que considerar los valores mínimos recomendados como valores objetivos a conseguir.

- **Establecimiento de variaciones temporales de los niveles de iluminación.**

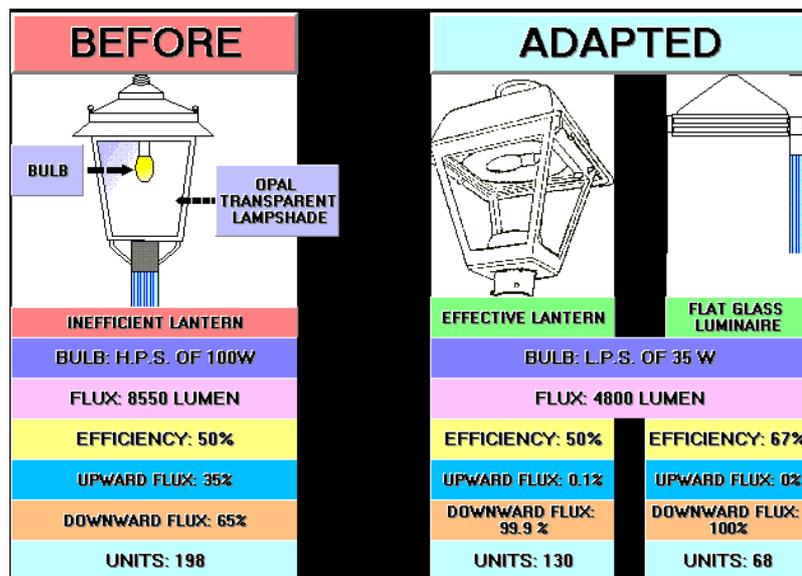
Establecer variaciones del alumbrado en función de la hora o de las condiciones atmosféricas presentes, a través de sistemas más o menos "inteligentes" que controlen los niveles de iluminación y los varíen según las necesidades en cada momento. En este apartado también se incluye el apagado de la iluminación ornamental a partir de ciertas horas.

- **Sustitución de los sistemas de alumbrado convencionales por sistemas modernos más eficaces.**

Sustituir en la medida de lo posible las instalaciones de alumbrado actuales contaminantes por otras nuevas que dispongan de luminarias más actualizadas en cuanto a criterios de contaminación lumínica [31] y utilizar en cada tipo de iluminación las lámparas recomendadas menos contaminantes.

- **Otras alternativas.**

En este apartado se incluyen todas aquellas opciones distintas a las comentadas que **inciden** en una mejora de la contaminación lumínica. Así, por ejemplo, se podría regular el horario de uso de las iluminaciones publicitarias. Hay que insistir también en la importancia de lanzar campañas de información y concienciación dirigidas, no sólo a los responsables públicos y proyectistas del alumbrado, sino también a la ciudadanía en general, con una especial atención a las generaciones más jóvenes.



8.- NORMATIVA Y RECOMENDACIONES.

El marco jurídico español actual en materia de alumbrado público es el siguiente:

- Normas e Instrucciones para alumbrado urbano del Ministerio de la Vivienda de 1965.
- Orden Circular 248/4 c y e de noviembre de 1974 del Ministerio de Obras Públicas, sobre disminución del consumo de energía eléctrica. Parcialmente derogada.
- Norma NTE-IEE/1978 Instalaciones de Electricidad del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
- Ley 31/1988, de 31 de octubre. 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 de 31/1988, de 31 de octubre, sobre Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias.

Los documentos que establecen las recomendaciones sobre los criterios de diseño y niveles de iluminación para alumbrado de vías públicas, de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), aplicables a la contaminación lumínica son:

- Publicación CIE 47: 1979. Alumbrado de Carreteras en Condiciones Mojadas.
- Publicación CIE 66: 1984. Pavimentos de Carreteras y Alumbrado.
- Publicación CIE 68: 1986. Guía para el Alumbrado de Áreas de Trabajo Exteriores.
- Publicación CIE 92: 1992. Guía para el Alumbrado de Áreas Urbanas.
- Publicación CIE 94: 1993 Alumbrado con Proyectorios.
- Publicación CIE 95: 1992. Contraste y Visibilidad.
- Publicación CIE 100: Fundamentos de la Tarea Visual en la Conducción Nocturna.
- Publicación CIE 115 1995. Recomendaciones para el Alumbrado de Carreteras con Tráfico Motorizado y Peatonal.
- Publicación CIE 126: Guía para Minimizar la Luminosidad del Cielo.
- Publicación CIE 136: 2000 Guía para la Iluminación de Áreas Urbanas.

A los que se ha de añadir el siguiente:

- Recomendaciones del Ministerio de Fomento 1.999 (carreteras y túneles)

9.- CONCLUSIONES.

- ❑ Concepto, diseño, cálculo y montaje de instalaciones de alumbrado con criterios de eficiencia energética.
- ❑ Selección de los diseños menos agresivos con el medio ambiente. Proyectos de alumbrado con estudio de impacto ambiental.
- ❑ Obtención de niveles de iluminación no superiores a los indicados en las normas.
- ❑ Instalación de lámparas de gran eficacia luminosa y, espectralmente, poco contaminantes.
- ❑ Control de la emisión de luz en el hemisferio superior y aumento del factor de utilización en el hemisferio inferior.
- ❑ Empleo de fuentes de energías alternativas y renovables.
- ❑ Adopción, desde los poderes públicos, de medidas de ahorro y control del alumbrado.
- ❑ Promulgación de normas, reglamentos y leyes.
- ❑ Investigación multidisciplinar.
- ❑ Campañas de información y concienciación.



10.- REFERENCIAS, BIBLIOGRAFÍA Y PORTALES WEB.

El elevado número de reseñas bibliográficas existentes sobre la contaminación lumínica no permite establecer un listado completo de las mismas. Es por ello por lo que se ha llegado al compromiso de citar sólo aquellas referencias españolas y, excepcionalmente, alguna extranjera, que consideramos puedan aportar unos conocimientos básicos sobre este tema.

No obstante, nos hemos permitido añadir, al final de este apartado, unas reseñas electrónicas correspondientes a portales web que se consideran muy interesantes. En ellos no sólo se pueden encontrar más reseñas bibliográficas de libros, artículos, estudios técnicos, comunicaciones a congresos y demás, sino que también permite visualizar imágenes, en algunos casos sorprendentes, de sucesos de contaminación lumínica, mejora en la instalación de luminarias, programas de ordenador para el control y diseño de iluminaciones, etc.

- **Referencias al texto.**

[1] Comité Internacional del Alumbrado "*Directrices para al minimización del brillo del cielo*". C.I.E. Publicación nº 126-1997.

[2] Galadí-Enríquez, David y Otero-Piñeiro, Dulcinea "*Cádiz, capital europea de la contaminación lumínica*".

[3] Soto, J. "*La iluminación y el medio ambiente. Modelos de optimización y eficiencia energética*". XXIV Simposium Nacional de Alumbrado. Avila 1998.

[4] Coves, J. y otros. "*Las lámparas de descarga como residuo industrial y urbano*". XX Simposium Nacional de Alumbrado. Gijón 1993.

[5] Urraca Piñeiro, José Ignacio. "*Aspectos ambientales de la propuesta de directiva sobre balastos de lámparas fluorescentes*". XXVI Simposium Nacional de Alumbrado. Ciudad Real 2000.

[6] Pons, A. "*Efectos actínicos de la radiación óptica*". XXIII Simposium Nacional de Alumbrado. Jerez. 1997.

[7] Trujillo, H. y otros. "*La iluminación como servicio público: una aproximación desde la psicología*". XXVI Simposium Nacional de Alumbrado. Ciudad Real. 2000.

[8] Dolsa, A. y otros. "*La problemàtica de la contaminació lumínica en la conservació de la biodiversitat*". I Sessió de treball sobre la Contaminación Lumínica. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya. 1998

[9] Ferrero, L. y otros. "*Alumbrado artificial: calidad de vida y sostenibilidad*". XXVI Simposium Nacional de Alumbrado. Ciudad Real 2000.

[10] UNESCO. Declaración de la IAU/ICSU/UNESCO. "*Reducción de Impactos Medioambientales Adversos para la Astronomía*". París, 2/07/92.

[11], [19], [21], Urraca Piñeiro, José Ignacio. "*Jornadas sobre el resplandor luminoso nocturno*". C.E.I. Julio de 2000.

[12] [13] Corróns, A. y otros. "*Influencia de los pavimentos en el medio ambiente visual*". Instituto de Física Aplicada. C.S.I.C.

[14] G Dolsa, Alonso; Albarrán, M^a Teresa. "*La problemàtica de la contaminació lumínica en la conservació de la Biodiversitat*". I Sessió de treball sobre la contaminación lumínica . Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya. Julio I de 1998.

[16] Asociación Francesa del Alumbrado. Artículo nº 201 de la revista LUX de la A.F.E. 1998.

[15] [17] Díaz Castro, Francisco J.; Paz Gómez, Federico de la. "*Aplicación y resultados de la Ley de Protección de la Calidad Astronómica en las Islas Canarias*". XXIV Simposium Nacional de Iluminación . Avila.

[18] Artículo nº 201 de la revista LUX de la A.F.E. compara luminarias con cierre transparente curvo y plano. Estudio de Christian Remande.

[20] Campos, J. y otros. "*Impacto Luminoso del Aeropuerto de Madrid - Barajas*". 24 Simposium de Alumbrado. Avila 1998.

[22] Comité Internacional del Alumbrado:

"*Alumbrado de Carreteras en Condiciones Mojadas*". Publicación CIE 47:1979.

"*Pavimentos de Carreteras y Alumbrado*". Publicación CIE 66: 1984.

"*Guía para el Alumbrado de Áreas de Trabajo Exteriores*". Publicación 68: 1986.

"*Guía para el Alumbrado de Áreas Urbanas*". Publicación CIE 92: 1992.

"*Contraste y Visibilidad*". Publicación CIE 95: 1992.

"*Fundamentos de la Tarea Visual en la Conducción Nocturna*". Publicación CIE 100: 1992.

"*Recomendaciones para el Alumbrado de Carreteras con Tráfico Motorizado y Peatonal*". Publicación CIE 115: 1995.

"*Guía para Minimizar la Luminosidad del Cielo*". Publicación CIE 126: 1997.

"*Guía para la Iluminación de Áreas Urbanas*". Publicación CIE 136: 2000.

[23] Comité Internacional del Alumbrado:

"*Guía para la Reducción del Resplandor Luminoso Nocturno*". Publicación CIE.

"*Luz Molesta*". Publicación CIE. TC5-12.

"*Guía sobre la Limitación de los Efectos de la Luz Molesta Procedente de Instalaciones de Alumbrado Exterior*" Informe CIE.

- [24] Comité Internacional del Alumbrado. *"Guía para Minimizar la Luminosidad del Cielo"*. Publicación CIE.126 - 1997.
- [28] Comité Internacional del Alumbrado. *"Luz Perturbadora"*. Comité Técnico TC 5-12. CIE.
- [29] Comité Internacional del Alumbrado. *"Guía sobre la limitación de los efectos de la luz molesta procedente de instalaciones de alumbrado exterior"*. Borrador de informe técnico del CIE. Comité Técnico TC 5-12. 1995.
- [25] Comité Internacional del Alumbrado. *"Recomendaciones para el Alumbrado de Carreteras con Tráfico Motorizado y Peatonal"*. Publicación CIE 115. 1995.
- [26], [28] Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo. *"Resumen de criterios a seguir en las instalaciones de alumbrado que afectan a la calidad del cielo de Tenerife y La Palma"* Instituto de Astrofísica de Canarias. Enero 1997. Revisión 5.
- [27] Publicaciones del Comité Internacional del Alumbrado.
"Directrices para la minimización del brillo del cielo" Publicación CIE nº 126. 1997.
"Guía para la reducción del resplandor luminoso nocturno". Informe Técnico CEI. Marzo 1999.
- [29] Comité Internacional del Alumbrado. *"Recomendaciones para la iluminación de carreteras"*. C.E.I. 1998.
- [30] Instituto de Astrofísica de Canarias *"Lista de luminarias certificadas por el IAC, lista de proyectores"*. I.A.C. 1997

- **Bibliografía.**

- "Guía para la iluminación de áreas urbanas"*. Comité Internacional de Alumbrado (C.I.E.) Publicación nº 136.
- "Estudio de emisión hacia el hemisferio superior de diferentes tipos de luminarias y criterios para evitar la potencial contaminación lumínica"*. XX Simposium Nacional de Alumbrado. Francisco J. Díaz Castro, Federico de la Paz Gómez. La Laguna 1994.
- "Guía para el alumbrado de áreas de trabajo exteriores"*. Informe técnico. Comité Internacional de Alumbrado (C.I.E.). Publicación nº 68. 1986.
- "Guía para la iluminación de áreas urbanas"*. Informe técnico. Comité Internacional de Alumbrado (C.I.E.). Publicación nº 92. 1992.
- "Resumen de criterios a seguir en las instalaciones de alumbrado que afectan a la calidad del cielo en Tenerife y La Palma"*. Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo. Instituto de Astrofísica de Canarias (I.A.C.). Revisión: 5. Enero 1997.
- "Influencia de los pavimentos en el medio ambiente visual"*. A Corróns, J. Campos, J.K. Fontecha, A.Pons. Instituto de Física Aplicada - Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.S.I.C.)
- "El resplandor luminoso nocturno: Análisis luminotécnico"*. Alfredo Valero-Serós. SOCELEC S.A.
- "Guía para la reducción del resplandor luminoso"*. José Ignacio Urraca Piñeiro. Informe Técnico. Comité Internacional de Alumbrado (C.E.I.) Marzo 1999.
- "Recomendaciones prácticas para la iluminación de exteriores"*. Report RP-33-99. I.E.S.N.A.
- "Luz intrusa: investigación resultados y recomendaciones"*. Informe técnico TM-11-2000. Illuminating Engineering Society of North America (IESNA).
- "La iluminación como servicio público: una aproximación desde la psicología"*. XXVI Simposium de Alumbrado. Humberto M. Trujillo, Antonio Espín, José M. Osuna. Lugo Mayo 2000.
- "Contaminación lumínica. Situación presente y estrategias para el futuro"*. Horts, Pere. Tribuna Astronómica. Madrid. Febrero 1998.
- "Lighting Handbook"*. Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). 9th Edition. 1999.

- **Portales web relacionados con la contaminación lumínica.**

International Commission on Illumination (CIE).

<http://www.cie.co.at/cie>

Instituto de Astrofísica de Canarias.

OTPC (Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo)

<http://www.iac.es/OTPC>

Grup d'Estudis Astronòmics

<http://www.gea.cesca.es/>

Illuminating Engineering Society of North America (IESNA).

<http://www.iesna.gov>

Campaign for Dark Skies of the British Astronomical Association

<http://www.dark-skies.freemove.co.uk>

Le Comité National pour la Protection du Ciel Nocturne.

<http://www.iap.fr/saf/cnpcn1.htm>
Vereinigung der Sternfreunde - Fachgruppe Dark Sky
<http://www.uni-essen.de/initiative/vds/vfglicht.html>
Dark-Sky Switzerland.
<http://www.darksky.ch>
Light Pollution Programme of the Greek Ministry of Education
<http://www.epioan.gr/LP/lp.htm>
Finnish Amateur Astronomy
<http://www.funet.fi/pub/astro/html/astro-uk.html>
Anti-light pollution section of Astronomical Society
<http://www.dsn.dk/AS/sect/light.html>
Lichthinder Informatie Website
<http://www.lichthinder.vuurwerk.nl>
Astronomy on line: How Clear is your Sky? Mapping the Light Pollution
<http://www.eso.org/outreach/spec-prog/aol/market/collaboration/lpoll/>
International Dark-Sky Association.
<http://www.darksky.org>
Dark Sky of the Vereinigung der Sternfreunde.
<http://www.uni-essen.de/initiative/vds/vfglicht.html>
Campaign for Dark Skies (DfDS) by the British Astronomical Association.
<http://www.u-net-com/ph/cfds>
Kichtverschmutzung.
<http://www.ezinfo.ethz.ch/ezinfo/astro/light.html>
AAS Committee on Light Pollution, Radio Interference and Space Debris.
<http://www.aas.org/~light/pollution.html>
Battle Point Astronomical Association Light Pollution Page.
<http://bicommet.com/ritchieobs/pages/lights.htm>
Cerro Tololo Interamerican Observatory's (CTIO) Contaminacion Luminica Page.
http://www.ctio.noao.edu/light_pollution/
Defense Meteorological Satellite Program (DMSP)
<http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/dmsp.html>
Energy Efficient Lighting Association.
<http://www.cela.com>
Fred Schaaf's Light Pollution Notes.
<http://www.skypub.com/resources/lightpollution/lightpollution.html>
Astronomers and Light Pollution.
<http://www.skypub.com/resource/lightpollution/gnol.html>
Indiana Astronomical Society Light Pollution Page.
<http://www.al.com/ias/litepoll.html>
Light Pollution Information for Texans.
<http://www.limber.org/ida/lp.html>
Light Pollution in Quebec.
<http://astrosun.phy.ulaval.ca/astro/pol.lum.htm>
McDonald Observatory's Light Pollution Page.
<http://vc.as.utexas.edu/lighting/lightreduc.html>
Now England Light Pollution Advisory Group (NELPAG).
<http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/nelpag.html>
New Hampshire Citizens for Responsible Lighting.
<http://www.mv.com/users/lopez/nhcr/>
Ohio Light Pollution Advisory Council (OLPAC).
<http://www.olpac.org>
Pennsylvania Outdoor Lighting Council.
<http://www.epix.net/~ghonis/index.htm>
Rhodes University (South Africa).
<http://www.rucus.ru.ac.za/astrosoc/lightpollution/lightpollution.html>
Royal Astronomical Society of Canada Light Pollution Committee.
<http://www.rasc.ca/light/>
Sensible and Efficient Lighting to Enrich the Nighttime Environmente.(SELENE).
<http://www.ggw.org/selene/>
The International Society for Optical Engineering.
<http://www.spie.org/>
StarWatch UK - A Survey of Sky Brightness.

<http://www.u-net.com/ph/starw-uk/>

VdS Fachgruppe DARK SKY.

<http://home.t-online.de/home/06151295986/darksky.htm>

© V Congreso Nacional del Medio Ambiente - Grupo de Trabajo 20 - Contaminación Lumínica.

