



Coléxio Oficial de
Enxeñeiros Técnicos Industriais
de A Coruña



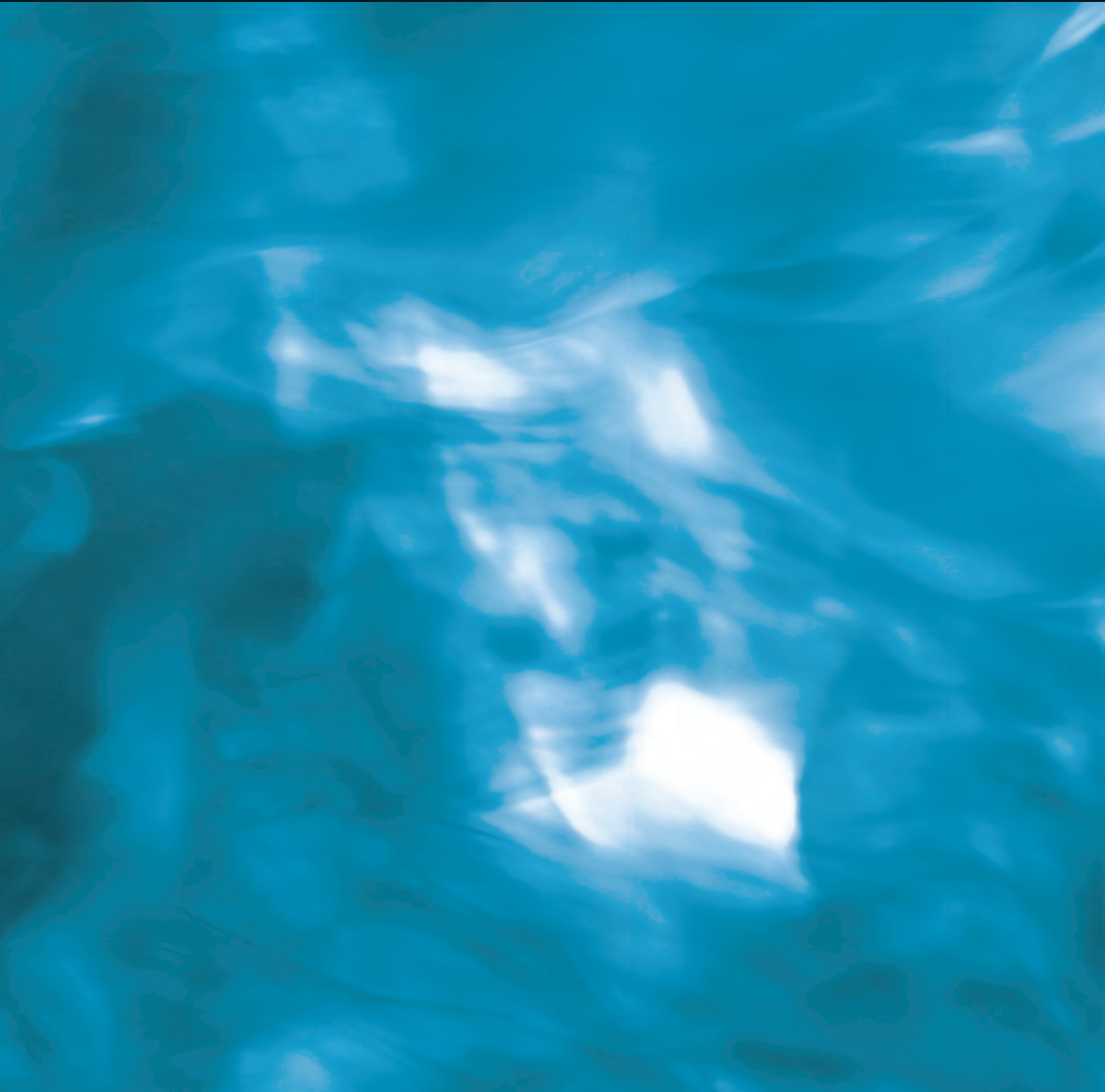
COETICOR presenta el libro denominado CONTAMINACIÓN LUMÍNICA, editado por la FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Alicante, que recoge las conclusiones del Grupo de Trabajo de Contaminación Lumínica, formado en CONAMA 08 (*Congreso Nacional de Medio Ambiente. Cumbre del Desarrollo Sostenible*), celebrado a finales de Noviembre de 2006 en Madrid.

En dicho Grupo de Trabajo participó D. Guillermo Leira Nogales, miembro de la Junta de Gobierno de COETICOR (ver pág. 13 del libro).

Nuestra FUNDACIÓN GALICIA INNOVA figuró como Entidad Colaboradora en el mencionado Congreso, al que asistió su Presidente y Decano del Colegio, que coordinó el Grupo de Trabajo de Residuos, así como otros representantes de Colegio que, a su vez, intervinieron en distintos grupos y mesas de trabajo.



Contaminación Lumínica



CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Edita:

**Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología
del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Alicante
de la Comunidad Valenciana**

Colaboran:



Maquetación e impresión:

Estudio GLO - Alicante

ISBN: 978-84-611-8217-6

Depósito Legal: A-698-2007

CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Julio 2007

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	11
COLABORADORES TÉCNICOS	13
MIEMBROS DEL COMITÉ TÉCNICO	14
• Relatores	14
• Coordinador	14
1. Marco legislativo entorno a la contaminación lumínica.	15
1.1 Experiencias legislativas y acciones realizadas	15
1.1.1. Marco legislativo para la prevención de la contaminación luminosa en catalunya y acciones realizadas por el departamento de medio ambiente y vivienda de la generalitat de catalunya	15
1.1.2. Acciones realizadas por el Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Catalunya	16
• Mapas de protección del medio ambiente frente a la contaminación luminosa	16
• Ayudas a entes locales para redactar planes y ejecutar proyectos de adecuación del alumbrado a la normativa.	19
• Aplicación del Decreto 82/2005 y los beneficios sociales y ambientales.	20
• Difusión de la prevención a la contaminación luminosa.	21
1.1.3. Actuaciones llevadas a cabo por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía	22
• Introducción	22
ACTUACIONES	25
OTRAS ACTUACIONES EN EJECUCIÓN	29

2. Influencia de la contaminación lumínica sobre la salud y la biodiversidad, concienciación ciudadana	31
• Contaminación Lumínica vs Biodiversidad	31
• La Contaminación Lumínica vs la salud	33
• La Contaminación Lumínica vs el turismo	35
3. Investigación relacionada con la contaminación lumínica	37
• EFICIENCIA ENERGÉTICA Y RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO ...	37
- Lámparas fluorescentes	37
- Lámparas de vapor de mercurio a alta presión	38
- Lámparas de vapor de sodio a baja presión	38
- Lámparas de vapor de sodio a alta presión	39
- Balastos electrónicos.	40
4. Infraestructuras y experiencias entorno a la contaminación lumínica	42
4.1 Control y gestión del alumbrado en cascos urbanos y viales	42
4.1.1 Introducción.	42
4.1.2 Regulador crepuscular.	42
4.1.3 Interruptores horarios astronómicos.	43
4.1.4 Telegestión de redes de alumbrado.	44
4.2 Mapas lumínicos y modelos de predicción	46
4.2.1 Aplicación de sistemas GIS para la elaboración de mapas lumínicos.	46
• Fase 1: Evaluación previa	48
• Fase 2: Estudio de campo	50
• Fase 3: Diagnóstico general	51
• Fase 4: Diagnóstico de detalle	52
• Fase 5: Implantación y mantenimiento del Plan de Gestión.	53
• Fase 6: Propuesta de Plan de Acción.	53
- a. Objetivos y líneas estratégicas de actuación.	54
- b. Programa de actuaciones	54
- c. Plan de participación	55
• Fase 7: Propuesta de Ordenanza Municipal	55

RESUMEN Y CONCLUSIONES:	56
4.2.2 Modelado de iluminación.	59
• Modelado con 3D Studio Max.	59
- Fase 1: Fotografía de la zona.	60
- Fase 2: Digitalización.	61
- Fase 3: Modelado 3D de los elementos.	61
- Fase 4: Modelo digital terrestre.	62
- Fase 5: Materiales.	62
- Fase 6: Iluminación.	64
- Fase 7: Acabado (Rendering).	64
- Fase 8: Integración y fotomontaje 3D.	64
4.2.3 Aplicación de la herramienta Indalwin para el diseño de la iluminación de una calle.	67
4.3 LÍMITES DE ILUMINACIÓN	73
4.3.1 Protocolo de Kyoto y producción de gases de efecto invernadero	73
4.3.2 Influencia iluminación viaria en seguridad	79
4.4 PUBLICIDAD E ILUMINACIÓN ARQUITECTÓNICA	80
4.4.1 Iluminación dinámica	80
4.4.2 LEDs RGB	81
5. Conclusiones del Grupo de Trabajo de Contaminación Lumínica ...	83
6. Glosario de términos	85
6.1. Luz, contaminación lumínica y eficiencia energética	85
6.2. Parámetros luminotécnicos	86
6.3. Equipos de alumbrado	88
7. Legislación autonómica relacionada	90
8. Referencias Bibliografía	91
9. Páginas web y otras referencias	93

INTRODUCCIÓN

Continuando con la línea marcada en los *Estatutos de la Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Alicante de la Comunidad Valenciana*, si bien con anterioridad prestábamos nuestra atención a la *Peritación de Incendios* con la publicación de un trabajo, elaborado por D. José Vicente Vallino Díez-Montero, ahora nos satisface poder presentar en nuestra colección de publicaciones técnicas un tema de actualidad referido al medio ambiente. Nos referimos, concretamente a la *Contaminación lumínica*, cuyo texto fue presentado al VIII Congreso Nacional de Medio Ambiente celebrado en Madrid, del 27 de noviembre al 1 de diciembre de 2006, y como fruto de la tarea desarrollada por el Grupo de Trabajo 26 del citado Congreso, en el que se aunó la investigación y la experiencia de gran número de profesionales, bajo los auspicios del Consejo General de Colegios Oficiales de Peritos e Ingenieros Técnicos Industriales, que delegó la coordinación del mismo en el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Alicante, más concretamente en la persona de D. Alberto Martínez Sentana, en representación del mismo.

Este trabajo, indudablemente es de gran importancia para todos aquellos técnicos preocupados por el tema medioambiental, tanto por lo novedoso del mismo, como por las puertas que se abren a futuros estudios sobre la contaminación lumínica. El poder llevar a cabo esta publicación, es gracias a la autorización que, amablemente nos ha sido concedida por la Fundación CONAMA, organizadora del citado Congreso Nacional de Medio Ambiente, con el objetivo de difundir aún más este tipo de problemática.

Desde aquí nuestro agradecimiento, de nuevo, a CONAMA y a todos aquellos que intervinieron en la redacción de dicha ponencia, con la esperanza que esta nueva publicación de nuestra Fundación, sirva para marcar los objetivos establecidos en la misma.

Antonio Luis Galiano Pérez
Presidente del Patronato

COLABORADORES TÉCNICOS

Josep María Berengueres, Ayuntamiento de Barcelona + Estefanía Cañavate García, Egmasa + Alberto Contreras de Lucas, Red Eléctrica de España + Juan Contreras González, Consejería de Medioambiente. Junta de Andalucía. + Javier Díaz Castro, Instituto de Astrofísica de Canarias + Jacobo Díaz Pineda, Asociación Española de la Carretera + Alejandro Enebral Fernández, Ferrovial + David Elwes, Red Eléctrica de España + Lluís Gustems i Romeo, Oficina para la prevención de la contaminación lumínica. Departamento de Medioambiente y Vivienda de la Generalitat de Catalunya + Enrique Holgado Pérez, Diputación Provincial de Ciudad Real + Fernando Ibáñez, Comité Español de Iluminación + Guillermo Leira Nogales, Ayuntamiento de A Coruña Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de A Coruña + Carlos Lozano, Universidad Politécnica de Madrid + Manuel Luna de Toledo, Protección del cielo. Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid + Susana Malón, Centro de Acústica Aplicada + Sixto Marco Lozano, Ayuntamiento de Elche + Vicente Martínez García, Consejo General de Colegios Oficiales de Peritos e Ingenieros Técnicos Industriales + Piedad Molina-Niñirola Moreno, Ferrovial + Fermín Osle Uranga, Ayuntamiento de Madrid + Juana Pierre Gómez, Colegio de Abogados de Madrid + Francisco Pujol Clapes, Protección del cielo. Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid + Alfonso Ramos Learra, Indalux + Joan R. Sarroca, Comité Español de Iluminación + Mercè Terradellas i Vilaró, Oficina para la prevención de la contaminación lumínica. Departamento de Medioambiente y Vivienda de la Generalitat de Catalunya

MIEMBROS DEL COMITÉ TÉCNICO

Relatores

Alberto Martínez Sentana, Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Alicante y en representación del Consejo General de Colegios Oficiales de Peritos e Ingenieros Técnicos Industriales + Helia Camacho Belis, Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Alicante + Antonio Casáñez Ventura, Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Alicante

Coordinador

Alberto Martínez Sentana, Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Alicante y en representación del Consejo General de Colegios Oficiales de Peritos e Ingenieros Técnicos Industriales

MARCO LEGISLATIVO ENTORNO A LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

1.1. EXPERIENCIAS LEGISLATIVAS Y ACCIONES REALIZADAS

1.1.1. Marco legislativo para la prevención de la contaminación luminosa en catalunya y acciones realizadas por el departamento de medio ambiente y vivienda de la generalitat de catalunya

El Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Catalunya tiene el compromiso con la sociedad catalana de impulsar y favorecer la transición de las actividades humanas hacia un desarrollo sostenible. En el ámbito de la iluminación exterior promueve la aplicación de las mejores tecnologías disponibles a partir de las experiencias en iluminaciones, que han dado buenos resultados y son respetuosas con el ambiente natural.

La contaminación luminosa es el aumento del fondo de brillo del cielo nocturno debido a la dispersión de la luz procedente de la iluminación artificial. El aumento de luz artificial puede provocar algunos efectos de consumo inútil de recursos naturales, de perturbación del medio receptor, de afectación a las personas, de secuestro de la visión natural del cielo nocturno y poner en peligro el equilibrio de determinados ecosistemas.

El 31 de mayo de 2001, el Parlamento de Catalunya aprobó la Ley 6/2001 de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno.

El 3 de mayo de 2005, el Gobierno de la Generalitat de Catalunya, dictó el Decreto 82/2005, sobre prevención de la contaminación luminosa, por el cual se aprueba el Reglamento que desarrolla la Ley 6/2001 de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno.

La prevención de la contaminación luminosa tiene como objetivo mantener, tanto como sea posible, las condiciones naturales de la noche.

Una de las finalidades de la normativa ambiental catalana es respetar el derecho de las personas a disfrutar de la visión del cielo nocturno sin que esto suponga una renuncia a disponer de la iluminación exterior, necesaria y suficiente para realizar las actividades humanas, pero minimizando los efectos negativos sobre el medio ambiente. Se trata, simplemente, de recuperar las ventajas, que un abuso del progreso mal entendido ha hecho perder innecesariamente, garantizando que, una buena iluminación de los espacios, donde se desarrolla la actividad humana con una instalación correcta de la iluminación exterior sea posible, y a la vez, facilite una buena observación del cielo nocturno.

1.1.2. Acciones realizadas por el Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Catalunya

Mapas de protección del medio ambiente frente a la contaminación luminosa.

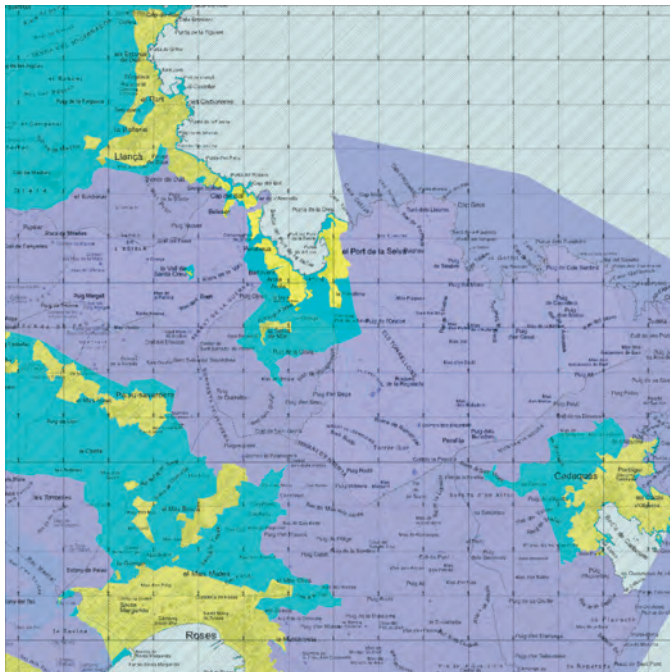
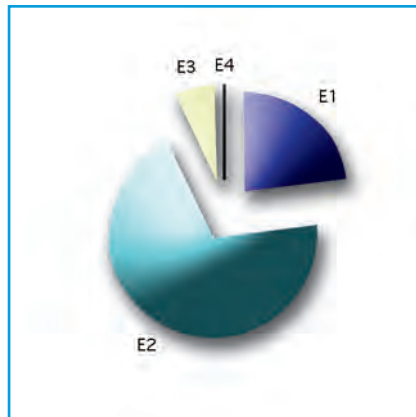
El Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Catalunya ha presentado, el 2006, las propuestas de zonificación de los municipios catalanes, según la protección de la contaminación luminosa. Estos mapas fueron remitidos a cada uno de sus ayuntamientos, de acuerdo con lo que prevé el Decreto 82/2005, de 3 de mayo, por el cual se aprueba el reglamento de desarrollo de la Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno, para que los ayuntamientos propusiesen las modificaciones razonadas a la zonificación de su término municipal. El Departamento tiene previsto aprobar definitivamente el mapa de protección de toda Catalunya antes de junio de 2007.

El mapa de protección hacia la contaminación luminosa en Catalunya toma como punto básico de referencia el planeamiento urbanístico. El mapa prevé diversas zonas de protección, atendiendo, por un lado, la necesidad de mantener una correcta iluminación, en aquellas áreas en que se desarrolla la actividad humana y la protección, tanto como sea posible, de los espacios naturales y la visión natural del cielo nocturno.

Estos dos ejes, la correcta iluminación y la protección del medio ambiente, determinan finalmente la concreción de cuatro tipologías de zonas de protección, desde las E1, de máxima protección de la contaminación luminosa, a las E4, de menor protección, correspondientes a los espacios de uso intensivo durante la noche.

La zonificación del Departamento es la siguiente:

- Zona E1, de máxima protección: 7.463 km² (23% de Catalunya). Corresponde a las áreas coincidentes con los espacios de interés natural, las áreas de protección especial, y las áreas coincidentes con la red Natura 2000.
- Zona E2, de alta protección: 22.358 km² (70% de Catalunya). Se considera zona E2 el suelo no urbanizable fuera de un espacio de interés natural, de un área de protección especial o de un área de la Red Natura 2000.
- Zona E3, de moderada protección: 2.073 km² (7% de Catalunya). Son las áreas que el planeamiento urbanístico califica de suelo urbano o urbanizable.
- Zona E4, de baja protección: 0 km² (0% de Catalunya). Son áreas en suelo urbano de uso intensivo por la noche en actividades comerciales, industriales o de servicios, y también viales urbanos principales.

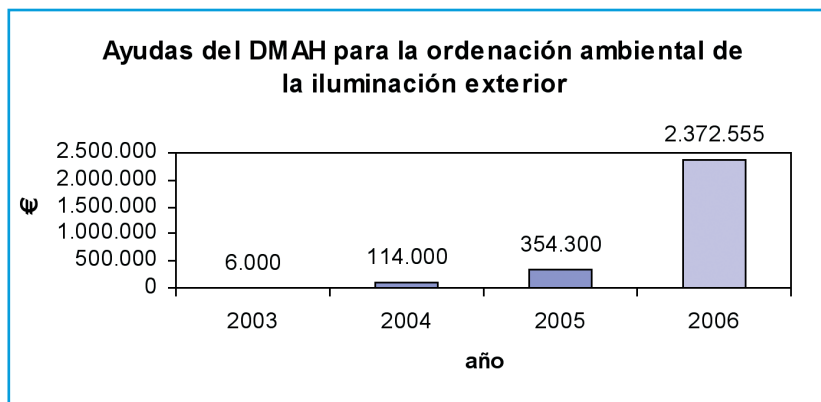


Ejemplo de zonificación. Mapa del municipio " Port de la Selva".

Ayudas a entes locales para redactar planes y ejecutar proyectos de adecuación del alumbrado a la normativa.

La normativa catalana establece que los ayuntamientos han de formular un plan municipal de adecuación de la iluminación exterior existente en su municipio. Estos planes han de concretar el programa de actuaciones que se llevarán a cabo, para adaptar la iluminación pública, contemplando las acciones para promover la adecuación de la iluminación exterior de titularidad privada.

El Departamento de Medio Ambiente y Vivienda ha incrementado, muy substancialmente, las ayudas a las entidades locales entre los años 2004 y 2006. Así, este año el Departamento destina inicialmente 900.000 euros para redactar los planes municipales y ejecutar los proyectos de adecuación de la iluminación exterior; pero, el éxito de la convocatoria hizo que se ampliara su esfuerzo económico hasta los 2.372.555,55 euros que finalmente se han atorgado.



Aplicación del Decreto 82/2005 y los beneficios sociales y ambientales.

El Decreto 82/2005, además de regular la zonificación de Catalunya para proteger el territorio de la contaminación luminosa, establecer los plazos para la adecuación de la iluminación exterior existente, y promover ayudas para los ayuntamientos, para la adecuación del alumbrado exterior, establece: las características de las instalaciones y los aparatos de iluminación (lámparas, pantallas, luminarias ...), según las zonas de protección donde están ubicadas; regula la intensidad luminosa emitida en las diferentes zonas; determina una regulación horaria para la iluminación y el flujo luminoso; fija el Observatorio Astronómico del Montsec como punto de referencia, haciendo constar su área de influencia.

Con la aplicación de este Decreto, se calcula que se producirá un ahorro directo en el consumo de electricidad de 160 gigawatts-hora, lo cual supone un total de 11 millones de euros al año. Además, se evitará la combustión equivalente a 14.000 toneladas de petróleo. También, si se considera que toda la energía ahorrada tiene su origen en la combustión de recursos fósiles, podría decirse que se evitaría la emisión a la atmósfera de 50.000 toneladas de dióxido de carbono, 1.000 toneladas de monóxido de carbono y 2.400 toneladas de dióxido de nitrógeno.

La inversión asociada a la adecuación de las actuales instalaciones de iluminación exterior de Catalunya se valora en unos 40 millones de euros. Esta inversión queda compensada por el ahorro energético anual que produce la misma, de tal manera que, el coste de la inversión se puede amortizar en menos de cuatro años.

Difusión de la prevención a la contaminación luminosa.

La Web del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda dispone, desde principios de 2006, de un nuevo apartado dedicado a dar a conocer las diversas acciones emprendidas en relación al nuevo vector ambiental, la energía luminosa.

El Departamento de Medio Ambiente y Vivienda ha incorporado el nuevo vector “energía luminosa” en las solicitudes de autorización o licencia ambiental, en las actividades sometidas al régimen de intervención integral de la Administración ambiental y en las actividades e infraestructuras sometidas a evaluación del impacto ambiental.

Se han reeditado 2.500 ejemplares del cuaderno de legislación número 53, el cual permite difundir la Ley 6/2001 y el Decreto 82/2005, para atender las peticiones de los profesionales y ciudadanos. Los 13.000 ejemplares editados el 2005 se han agotado. También se ha hecho una campaña de difusión entre los profesionales del sector que intervienen en la iluminación exterior. Se han distribuido entre los ayuntamientos 5.000 ejemplares del opúsculo de 16 páginas titulado *Prevención de la contaminación luminosa* y se han enviado a los ayuntamientos 500.000 banderines sobre prevención de la contaminación luminosa, para promover y facilitar la sensibilización de los ciudadanos.

El Departamento propone iniciar un debate en Catalunya para conciliar el paisaje urbano nocturno y las políticas medioambientales, teniendo presente las nuevas corrientes arquitectónicas que utilizan la luz para hacer visibles los grandes edificios durante la noche, cosa que permite crear un paisaje singular que imprime carácter a las ciudades, haciendo uso de las nuevas tecnologías. El debate sería liderado por el Departamento de Medio Ambiente y Vivienda conjuntamente con organizaciones de profesionales de urbanismo y de arquitectura, para avanzar hacia una ciudad más sostenible.

1.1.3. Actuaciones llevadas a cabo por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía

Introducción

Andalucía ha visto crecer la población y extensión de sus pueblos y ciudades de manera acelerada en los últimos años. Este crecimiento lleva asociado un incremento de las instalaciones de alumbrado exterior para la iluminación nocturna de las nuevas áreas urbanas, dada la necesidad de ofrecer un umbral de seguridad y bienestar a la población que las habita.

En el desarrollo de las instalaciones de alumbrado exterior, al igual que ha sucedido con otras actividades humanas vinculadas al progreso, se desconocía, en sus orígenes, el impacto que éstas podrían provocar sobre las personas y el medio ambiente, por lo que se han diseñado y ejecutado durante décadas sin considerar criterios ambientales. Sólo con el transcurso del tiempo se han podido constatar los efectos adversos producidos por las mismas.

Andalucía cuenta con dos observatorios astronómicos profesionales internacionales de muy alto nivel científico, que operan en el rango de luz visible. Se trata de los observatorios de Sierra Nevada y Calar Alto (Centro Astronómico Hispano Alemán), situados en las provincias de Granada y Almería, respectivamente. El primero pertenece al Instituto de Astrofísica de Andalucía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). El segundo es fruto de un convenio entre el Max Planck Institute für Astronomie de Alemania y el CSIC, siendo el segundo en importancia en Europa y el primero de la Europa continental.

Además de éstos, existen otros observatorios para la investigación científica, con telescopios más pequeños, como el de la Sagra en Collados de la Sagra (Granada), el BOOTES-2 en La Mayora (Málaga) y el BOOTES-1 en el Arenosillo (Huelva), que pertenecen a consorcios o convenios entre diferentes instituciones. También en suelo andaluz se encuentra el

Observatorio de la Armada, en San Fernando (Cádiz), del último tercio del siglo XVIII.

Asimismo, se ubican en diferentes lugares de Andalucía observatorios de carácter divulgativo.

La mayoría de ellos se ven afectados, en mayor o menor medida, por los efectos de la contaminación lumínica, ya que al hacerse las observaciones por contraste con el fondo del cielo, un incremento del brillo disminuye este contraste e impide ver objetos cuyo resplandor sea similar o inferior al provocado artificialmente.



*Observatorio de Sierra Nevada.
Fuente:telescopios.org/
Observatorio_Sierra_Nevada.htm.*



*Observatorio de Calar Alto.
Al fondo se pueden ver
las luces de Gergal.
Fuente:www.allthesky.com/
observatories/calto-e.html*

Han sido los requerimientos por parte de los observatorios astronómicos, las voces de ecologistas y de la sociedad en general y la concienciación de instituciones relacionadas con la iluminación, unidos al agotamiento de los recursos energéticos, los que han movido al Gobierno andaluz a tomar medidas para la protección del cielo nocturno frente a la contaminación lumínica.

Las primeras iniciativas llevadas a cabo en Andalucía en este sentido fueron:

- Aprobación en el Parlamento de Andalucía de dos Proposiciones no de Ley:
 - Proposición no de Ley 6-01/PNLC-000039, relativa a protección de la calidad del cielo en Andalucía y lucha contra la contaminación lumínica, aprobada por la Comisión de Medio Ambiente. Sesión celebrada el 31 de mayo de 2001. Orden de publicación del día 4 de junio de 2001 (BOPA núm. 157, Pág. Núm. 8.502. Andalucía, 28 de junio de 2001).
 - Proposición no de Ley 6-01/PNLC-000038, relativa a protección de la calidad astronómica de los observatorios de Calar Alto y Sierra Nevada, aprobada por la Comisión de Medio Ambiente. Sesión celebrada el 31 de mayo de 2001. Orden de publicación del día 4 de junio de 2001 (BOPA núm. 157, Pág. Núm. 8.502. Andalucía, 28 de junio de 2001).
En ellas se instaba al Gobierno Andaluz a llevar a cabo actuaciones relacionadas con la contaminación lumínica, entre las que se encontraban el estudio de la magnitud del problema, contando con el asesoramiento de una comisión científica, la elaboración de una normativa de protección al respecto, la protección de la calidad astronómica de los observatorios de Calar Alto y Sierra Nevada, fijando su área de influencia.
- Actuaciones de oficio sobre contaminación lumínica y eficiencia energética por parte del Defensor del Pueblo Andaluz.
- Iniciativas de algunos ayuntamientos que incorporan a la normativa municipal criterios para la protección de la calidad del cielo nocturno.

ACTUACIONES

La Junta de Andalucía va a incorporar a su ordenamiento jurídico la regulación de la protección del cielo frente a la contaminación lumínica, mediante la Ley de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, cuyo texto es una compilación revisada y actualizada de la legislación ambiental autonómica.

El proyecto de dicha Ley ha sido aprobado por el Consejo de Gobierno de la Junta de Andalucía el pasado mes de septiembre de 2006.

Concretamente, en materia de contaminación lumínica, la nueva Ley tiene por objeto establecer las medidas necesarias para:

- Prevenir, minimizar y corregir los efectos de la dispersión de luz artificial hacia el cielo nocturno.
- Preservar las condiciones naturales de oscuridad en beneficio de los ecosistemas nocturnos en general.
- Promover el uso eficiente del alumbrado, sin perjuicio de la seguridad de los usuarios.
- Reducir la intrusión lumínica en zonas distintas a las que se pretende iluminar, principalmente, en entornos naturales e interior de edificios residenciales.
- Salvaguardar la calidad del cielo y facilitar la visión del mismo, con carácter general, y, en especial, en el entorno de los observatorios astronómicos.

Asimismo, se determina el ámbito de aplicación y se establecen las siguientes restricciones de uso:

- El uso de leds, láseres y proyectores convencionales que emitan por encima del plano horizontal con fines publicitarios, recreativos o culturales.
- La iluminación de playas y costas, a excepción de aquellas integradas física y funcionalmente, en los núcleos de población.
- El uso de luminarias no monocromáticas en la zona de influencia del punto de referencia y en la zona de influencia adyacente.
- Uso de aerostatos iluminativos con fines publicitarios, recreativos o culturales en horario nocturno.
- Instalación de rótulos luminosos en zonas E1.

A fin de garantizar niveles de iluminación adecuados, se prevé la zonificación del suelo de la Comunidad Autónoma según cuatro tipos de Áreas Lumínicas:

E1. Áreas oscuras.	<ul style="list-style-type: none"> i. Zonas en espacios naturales con especies vegetales y animales especialmente sensibles a la modificación de ciclos vitales y comportamientos como consecuencia de un exceso de luz artificial. ii. Zonas de especial interés para la investigación científica a través de la observación astronómica dentro del espectro visible.
E2. Áreas que admiten flujo luminoso reducido.	Terrenos clasificados como urbanizables y no urbanizables, no incluidos ambos en la zona E1.
E3. Áreas que admiten flujo luminoso moderado.	<ul style="list-style-type: none"> i. Zonas residenciales en el interior del casco urbano y en la periferia, con densidad de edificación media - baja. ii. Zonas industriales. iii. Zonas destinadas a uso turístico, comercial o terciario. iv. Zonas dotacionales con utilización en horario nocturno. v. Sistema general de espacios libres.
E4. Áreas que admiten flujo luminoso elevado.	<ul style="list-style-type: none"> i. Zonas incluidas dentro del casco urbano con alta densidad de edificación. ii. Zonas de elevada actividad nocturna de carácter comercial, turístico y recreativo.

Además de las zonas descritas, el texto contempla la determinación de enclaves concretos, denominados “puntos de referencia”, donde no sólo es necesario el grado de protección estipulado para la zona en la que se encuentran, sino que además necesitan estar rodeados de una zona de influencia adyacente.

La Consejería de Medio Ambiente determinará las Áreas E1 y los puntos de referencia, mientras que los ayuntamientos deberán establecer el resto de Áreas Lumínicas, dentro de sus términos municipales, en función de los usos predominantes del suelo.

Con objeto de desarrollar los preceptos generales recogidos en la Ley, la Dirección General de Prevención y Calidad Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente (DGPCA, en

adelante), está elaborando, desde finales del año 2003, un borrador para el desarrollo reglamentario de la misma. Para ello, se ha constituido un Comité Científico y Técnico, cuyas funciones son asesorar a la DGPCA en los aspectos técnicos del nuevo texto y crear un marco adecuado de participación de todas las partes implicadas.

Forman parte de este Comité entidades relacionadas con la materia, como son los principales observatorios astronómicos ubicados en Andalucía, el Comité Español de la Iluminación, la Asociación Española de Fabricantes de Iluminación, la Federación Andaluza de Municipios y Provincias, Colegios Oficiales de Físicos y Arquitectos, empresas del sector de la iluminación, universidades andaluzas, administraciones públicas competentes, el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía y la Agencia Andaluza de la Energía, entre otros.

Su constitución tuvo lugar el 21 de abril de 2004, en la sede de la Delegación del Gobierno en Sevilla. En dicho acto, la DGPCA presentó a los asistentes el primer borrador del Reglamento, que sirvió como documento de trabajo para ésta y las sucesivas reuniones celebradas.

Posteriormente, el Comité se ha reunido en diversas ocasiones durante los años 2004 y 2005. En cada sesión, se ha debatido sobre el texto y se han realizado las propuestas oportunas para la mejora del mismo, considerándose los requerimientos y las necesidades de todas las partes.

La última sesión tuvo lugar en julio de 2005 alcanzándose, finalmente, un consenso sobre los principales contenidos del Reglamento, por parte de la mayoría de los integrantes del Comité.

El futuro Reglamento habrá de contemplar los siguientes aspectos:

- Definición de criterios y procedimiento para la determinación de las Áreas Lumínicas y puntos de referencia
- Establecimiento de límites de los parámetros luminotécnicos para cada tipo de alumbrado exterior regulado
- Designación de un régimen estacional y horario de usos de alumbrado
- Determinación de las competencias de las distintas administraciones públicas en materia de contaminación lumínica, en función de lo previsto en la futura Ley de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.

OTRAS ACTUACIONES EN EJECUCIÓN

Una vez que se apruebe la Ley de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, la Consejería de Medio Ambiente, comenzará los trámites administrativos correspondientes para la aprobación del Reglamento para la protección de la calidad del cielo frente a la contaminación lumínica.

No obstante, la DGPCA está llevando a cabo simultáneamente una serie de trabajos complementarios encaminados a facilitar a todos los agentes implicados, la implantación de esta nueva norma. Entre éstos, se encuentra la elaboración de una guía técnica de aplicación del Reglamento, que sirva como instrumento de apoyo a la interpretación del mismo, ampliando, cuando ello sea posible, la información en él recogida. Igualmente, se está desarrollando una memoria económica que evalúe la repercusión que tendrá para los ayuntamientos las actuaciones recogidas en el texto, especialmente en lo referente a las

posibles modificaciones de las instalaciones de alumbrado público de sus municipios.

De igual forma, se está trabajando en la creación de una Oficina de Protección del Cielo Nocturno Frente a la Contaminación Lumínica. La función de la misma será la de coordinar todas las actuaciones cuyas competencias tiene atribuidas la Consejería de Medio Ambiente en este campo, además de dar difusión al contenido del futuro Reglamento y asesorar a los ayuntamientos, empresas y ciudadanos en general en la implantación del mismo.

INFLUENCIA DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA SOBRE LA SALUD Y LA BIODIVERSIDAD, CONCIENCIACIÓN CIUDADANA

Contaminación Lumínica vs Biodiversidad

La Contaminación Lumínica, cada vez más conocida, reconocida y estudiada por expertos, supone un grave problema, tanto para humanos como para la flora y fauna del planeta. De este modo, nos sentimos obligados a divulgar y denunciar los aspectos más desfavorables que dicha acción produce en nuestra biodiversidad.

La principal causa negativa recae sobre el ciclo de la vida de los animales, ya que la desaparición de la oscuridad, modifica comportamientos (la reproducción, la socialización, los hábitos de caza, el alejamiento de su hábitat natural etc.) y costumbres de muchas especies.

La pérdida de la noche, ha sido creada por un crecimiento humano descontrolado, que no sólo ha invadido nuestras ciudades, sino que cada vez ha ido, y va ganando terreno en medios rurales y vírgenes. El gran derroche de energía y la mala utilización de la misma, supone una catástrofe ecológica.

Los insectos, fauna nocturna que, es mucho más numerosa que la diurna, necesita de la oscuridad para sobrevivir y mantenerse en equilibrio, por ser el mayor número en cuanto a especies; son, por consecuencia, los mayores perjudicados, pudiendo encontrarnos con superpoblaciones o paradójicamente, con la desaparición de los mismos grupos o especies, debido a la Contaminación Lumínica.

Éstos contribuyen a numerosas aportaciones al constituir elementos básicos de los ecosistemas, por ser base de cadenas tróficas en su relación con el resto de la fauna, principalmente, dado que son el alimento básico de muchas especies animales

y si no están controlados, el desequilibrio biológico se hace una realidad.

A pesar de ello, la naturaleza es sabia, e intenta compensar de manera equitativa los desperfectos, que en la mayoría de ocasiones el ser humano provoca. Pero ha llegado un punto, que este límite es superado, volviéndose irreversible.

Para poder contribuir positivamente, se han realizado estudios, par ver la manera de evitar este tipo de contaminación, creando decálogos de buenas prácticas medioambientales.

Como por ejemplo, no utilizar:

- Las lámparas de vapor de mercurio.
- Radiaciones azules y blancas.
- Puntos de luz demasiado altos.
- Proyectar la luz hacia arriba.

Podemos crear:

- Instalaciones con un buen diseño, creando puntos de luz bajos.
- Usar una adecuada iluminación con diseños de calidad
- Bajar la intensidad de la luz cuando no sea necesaria.
- Dirigir la luz hacia lugares donde se necesite.
- Usar controles de tiempo
- Minimizar el brillo deslumbrante.
- Utilizar lámparas de baja presión de sodio (VSBP)
- Fomentar una cultura en contra de la Contaminación Lumínica

Evitando el deterioro de la biodiversidad, y participando en el ahorro energético y en una buena sostenibilidad.

A continuación se han extraído las normas básicas de la utilización del alumbrado:



Esquema de recomendaciones proporcionado por la Oficina Técnica del Instituto de Astrofísica de Canarias

La Contaminación Lumínica vs la salud

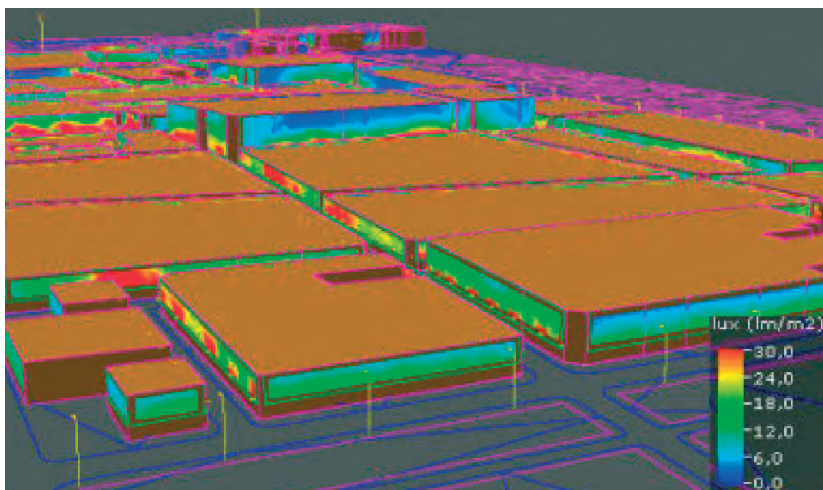
Algunos de los aspectos donde la Contaminación Lumínica tiene influencia sobre los humanos:

- Viandantes y conductores: Luces mal orientadas o demasiado potentes deslumbran, hacen perder agudeza visual y generan zonas de sombra muy contrastadas. Los automovilistas corren más en zonas sobreiluminadas.
- El aspecto astronómico: Impide la práctica de la Astronomía a muchos kilómetros de distancia del foco contaminante.

- La intrusión lumínica, es decir, luz exterior que de manera indeseada entra en las viviendas situadas por debajo del nivel de las farolas (bajos, primeros pisos y a veces hasta terceros). Evidentemente, esto es una forma de desperdicio energético con un claro perjuicio para el ciudadano, que incluso puede acarrear problemas de:

- Orden psicológico.
- Molestias, fatiga visual y estrés
- Dificultades para dormir
- Cambios hormonales, anímicos y de conducta
- Agresión a nuestra privacidad

Del Ayuntamiento de las Palmas de Gran Canarias se ha extraído información sobre cómo invade la luz de la calle en los edificios. Este mapa representa la luz intrusa valorada a partir del nivel de iluminación vertical, E_v (lux), en la fachada de los edificios.



La Contaminación Lumínica vs el turismo:

En último lugar debemos denunciar la sobre-iluminación de las ciudades costeras y turísticas, en las que es un fenómeno muy habitual. La iluminación de estas zonas es, en muchos casos, innecesaria, por todos los inconvenientes antes mencionados (problemas ecológicos, sociales y económicos, etc.).

No sólo es un hecho propio del verano. En estas poblaciones turísticas, debido a su clima agradable, es normal ver durante todo del año un exceso de luz, principalmente a lo largo de toda la costa, tal y como se puede observar en la fotografía. No queremos que las ciudades se queden a oscuras, sino que se modere el tipo y el número de luminarias instaladas.



Recuperando un extracto de un artículo de prensa hallado en Internet, cita: "pero como ciudad costera, Alicante tiene en su Puerto otro destino de ocio, con restaurantes de todos los gustos y precios, bares de copas, heladerías, bingos..., todo ello acompañado por unas magníficas vistas durante el día, y un fantástico colorido de luces durante la noche."(www.costasur.es). Asimismo, podemos reflexionar que no todo lo que reluce es, en nuestro caso, signo de turismo sostenible. Según los astrónomos, el problema en la ciudad es que el 50% de las farolas emite la luz hacia el cielo.

La contaminación lumínica se define como la dispersión en la atmósfera de los excedentes de luz que se producen en las ciudades. Normalmente, debido a una mala gestión de los sistemas de alumbrado, la luz de las farolas no se dirige hacia el suelo, sino que termina dispersándose, con el consiguiente desperdicio energético.

Debemos concienciar a los ayuntamientos de todas las ciudades, turísticas o no, para que se cree un marco legal adecuado donde se proteja la calidad del cielo.

Cabe decir, que gracias a Organismos, Instituciones, Asociaciones de investigación, la presión social y de los medios, ha hecho que cada vez vaya surgiendo más legislación de carácter local o autonómico sobre la Contaminación Lumínica, y que los malos actos que atentan sobre la biodiversidad, la salud..., puedan ser denunciados. No obstante, todavía hay mucho por conseguir.

INVESTIGACIÓN RELACIONADA CON LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

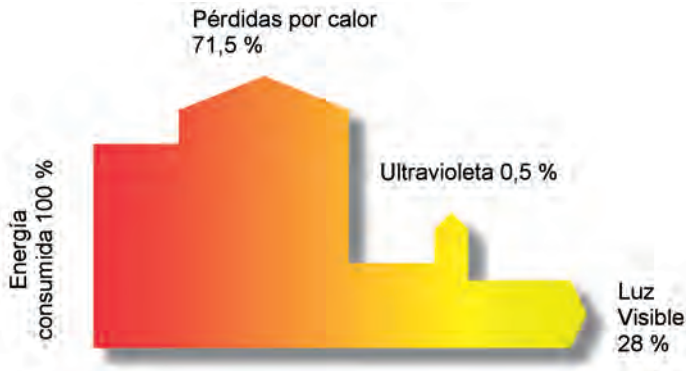
EFICIENCIA ENERGÉTICA Y RESPLANDOR LUMINOSO NOCTURNO

A lo largo de los años, las lámparas y luminarias han ido evolucionando de tal manera que transforman cada vez más energía en luz visible.

A continuación se muestran los balances energéticos de diversos tipos de lámparas.

Lámparas fluorescentes

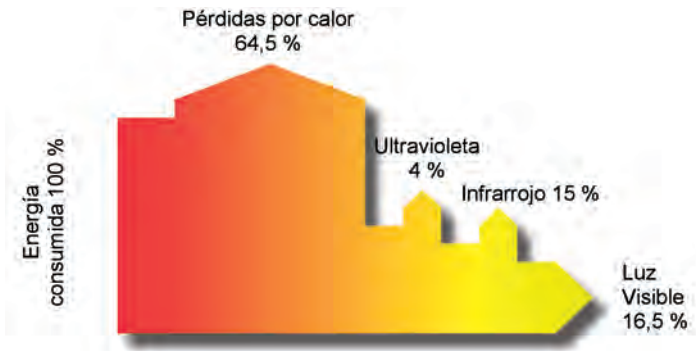
La eficiencia de estas lámparas depende de muchos factores: potencia, tipo y presión del gas de relleno, capa fluorescente del tubo, temperatura ambiente. La eficacia oscila entre los 38 y 91 lm/W, teniendo una vida útil entre 5.000 y 7.000 horas.



Balance energético de una lámpara fluorescente

Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

Generalmente estas lámparas no precisan de elementos auxiliares para el encendido, por lo que requieren menos mantenimiento. El principal problema que tienen es el arranque, en el que hay un periodo transitorio hasta que la lámpara funciona en régimen.

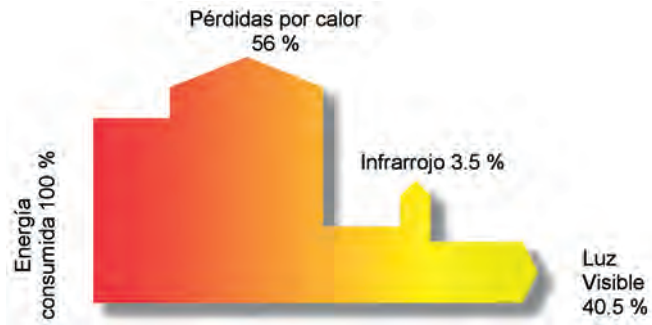


Balance energético de una lámpara de mercurio a alta presión

Este tipo de lámparas tienen una vida útil de unas 8.000 horas, con una eficacia que oscila entre los 40 y 60 lm/W, pudiendo incrementarse añadiendo un recubrimiento de polvos fosforescentes que convierten parte de la luz ultravioleta en visible.

Lámparas de vapor de sodio a baja presión

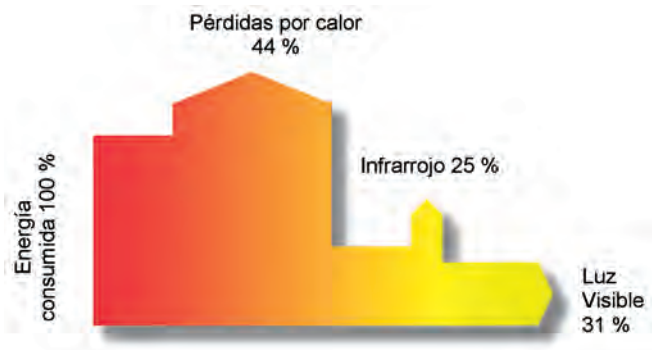
La vida media de las lámparas de vapor de sodio a baja presión es muy elevada, de unas 15.000 horas, una eficacia de entre 160 y 180 lm/W, y además, tiene una alta eficiencia, lo que la hace muy adecuada para su uso en alumbrados públicos.



Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a baja presión

Lámparas de vapor de sodio a alta presión

Estas lámparas son capaces de funcionar hasta 20.000 horas, teniendo una vida útil de entre 8.000 y 12.000. La eficacia de éstas se sitúa entorno a los 130 lm/W. El principal problema que tienen es que las condiciones de funcionamiento son muy exigentes, debido a las altas temperaturas que alcanza (hasta 1.000 °C), la presión y las agresiones que debe soportar el tubo de descarga. La tensión de encendido es muy elevada, y su tiempo de arranque es muy breve.



Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a alta presión

La tendencia actual y las recomendaciones de diversos organismos (IDAE, CEI, etc.) es que se sustituyan las lámparas convencionales y de vapor de mercurio por las de vapor de sodio a alta presión, ya que tienen mayor eficacia, una mayor eficiencia (transforman un 40% de la energía recibida en luz del espectro visible) y necesitan menor mantenimiento y reposición, ya que tienen una larga vida. Además, emiten luz en prácticamente todo el espectro visible, proporcionando una luz blanca mucho más agradable de las que proporcionan otras lámparas.

Balastos electrónicos.

Los balastos son componentes auxiliares de las lámparas fluorescentes, cuya utilidad es estabilizar la descarga del interior del tubo, con lo que se consigue también estabilizar la luz.

Para lograr tal objetivo, se aumenta la frecuencia de la tensión con la que se alimenta la lámpara de la tensión de la red (50 Hz) hasta frecuencias que oscilan entre 25 kHz y 40 kHz, según modelos. Al ser estas frecuencias superiores a las del espectro audible, son totalmente silenciosos.

Al incrementar la frecuencia de operación del tubo gracias al balasto, conseguimos elevar la eficiencia de la lámpara, manteniendo constante la potencia logramos y gracias al control electrónico, conseguimos reducir el transitorio hasta que la lámpara funcione en régimen a unos pocos segundos, evitando así el parpadeo, alargando la vida útil de la misma, ya que se evitan los picos de tensión que se producen en los transitorios.

Otra de las mejoras que incorporan los balastos electrónicos es la capacidad de compensar la potencia reactiva que vierten a la red, mejorando el factor de potencia global de la instalación y reduciendo la factura eléctrica.

Las técnicas más modernas permiten incluso hacer una regulación del flujo luminoso, actuando de manera que se

adapte a condiciones específicas de la zona a iluminar (amanecer y ocaso, baja visibilidad por lluvia, etc) en función del aporte de luz natural del entorno, pudiendo disminuir así la contaminación lumínica que provocan las luminarias.

4

INFRAESTRUCTURAS Y EXPERIENCIAS ENTORNO A LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

4.1 CONTROL Y GESTIÓN DEL ALUMBRADO EN CASCOS URBANOS Y VIALES.

4.1.1 Introducción.

El alumbrado público es un servicio básico para la ciudadanía, que supuso un consumo energético de 296 kTEP en el año 2000¹. El 95% de éste consumo corresponde a las instalaciones de alumbrado exterior.

En España hay instaladas 4,2 millones de luminarias, de las cuales, el 74% de las mismas tienen un rendimiento superior al 60%²

En cuanto al sistema de control de estas luminarias, respecto al encendido y apagado por regulador crepuscular, supone un 52% de la potencia total instalada en el alumbrado público, lo que la convierte en el sistema de control más utilizado, seguido por el control por reloj astronómico, un 47%, y el 5% restante se realiza mediante sistemas de telecontrol centralizado.³

A continuación describiremos los tres sistemas de control utilizados en la actualidad.

4.1.2 Regulador crepuscular.

Este sistema de regulación consiste principalmente en un diodo LDR (Light Dependent Resistor), capaz de cambiar su resistencia eléctrica según la luz que reciba del ambiente. Mediante su integración en un circuito, puede regular un relé capaz de poner en marcha la luminaria.

¹ Extraído de "Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012, Sector Servicios Públicos", publicada por el Ministerio de Economía.

² Extraído de "Alumbrado Público en España 2001", elaborado por el CEI

³ Extraído de "Alumbrado Público en España 2001", elaborado por el CEI

Este sistema es el más ampliamente utilizado por su sencillez y coste, pero implica una serie de problemas:

- Tiene un difícil mantenimiento, ya que se suele situar en las partes superiores de la luminaria.
- La envolvente protectora tiende a ensuciarse y a perder propiedades ópticas, debido a la incidencia de la radiación solar, por lo que va perdiendo su eficacia paulatinamente.
- El ajuste de la sensibilidad del regulador ha de hacerse manualmente (generalmente mediante un potenciómetro), por lo que el criterio de encendido/apagado puede variar para unas mismas condiciones ambientales.

4.1.3 Interruptores horarios astronómicos.

Gracias a la llegada de la microelectrónica, se han podido desarrollar sistemas capaces de calcular el orto y el ocaso del sol, en función de la latitud e integrarlos en sistemas compactos capaces de ser instalados en las luminarias y poder controlar los ciclos de encendido y apagado de las mismas, dando lugar a los interruptores horarios astronómicos.

Básicamente, son dispositivos de mando que llevan incorporado un algoritmo que, dependiendo de la latitud que se introduzca y el día en el que se esté, calcula el orto y el ocaso. Además, puede tener en cuenta otros factores como el día de la semana, el cambio de hora verano/invierno, regulación de la intensidad luminosa (teniendo varios niveles intermedios), etc.

Estos mandos se complementan con interruptores crepusculares, para poder encender el alumbrado en condiciones meteorológicas adversas.

4.1.4 Telegestión de redes de alumbrado.

Las mayores exigencias en confort y seguridad por parte de los ciudadanos, unidas a la necesidad de un consumo más eficiente, ha hecho necesario desarrollar sistemas capaces de controlar de manera centralizada el alumbrado público.

Esta tecnología se basa en el control del alumbrado a través de una red de telecomunicaciones centralizada en un Centro de Control. Éste es capaz de controlar, no sólo el encendido y apagado de las luminarias, sino otros aspectos como son:

- Control de la energía consumida (tanto activa como reactiva).
- Corrección del factor de potencia (reducción de la penalización en la factura eléctrica).
- Control de errores y fallos en la red de alumbrado (rotura de luminarias, contactos directos o indirectos que hagan saltar las protecciones diferenciales).
- Control de las horas de funcionamiento de la lámpara (mejor previsión para mantenimiento).
- Medida de la luminancia para el control de la intensidad.
- Regulación de la intensidad de la lámpara para adaptarla a las condiciones de la vía.
- Integración del control de iluminación con los sistemas de tráfico (semaforización, cámaras de control, apoyo a equipos de emergencia, etc.).

Todo ello redunda en una mejor eficiencia energética del alumbrado, mayor confort para el usuario final y una mejora del mantenimiento de la red.

El control del alumbrado dependerá en gran medida de la manera en que se transmita la información entre la Central de Control y las luminarias que conforman la red, pudiendo distinguir entre varios tipos de comunicación.

- Comunicación por RTB (Red Telefónica Básica). Cada balasto o armario de control ha de disponer de un módem, para poder intercambiar la información necesaria. Este sistema necesita además de la red eléctrica, la instalación de red telefónica para poder operar correctamente.
- Comunicación por GSM. En vez de utilizar la red telefónica básica, se utiliza sistemas de comunicación móviles. Esto permite controlar zonas donde sea dificultoso instalar una red telefónica (pedanías de municipios, zonas rurales, centros urbanos protegidos...), pero incrementa el coste de operación de los mismos.
- Comunicación por onda portadora o PLC (Power Line Communication). En las zonas donde esté disponible este servicio, se presenta como la opción más eficaz, ya que sólo requiere la instalación del módem correspondiente, y no necesita hacer uso de la red telefónica.

Además de tener en cuenta el modo en que se realizará la comunicación, debemos de observar los modos de funcionamiento de la red de alumbrado, habiendo 3 niveles de control.

- Nivel de balasto. En el caso que falle toda la regulación, siempre podrá autogestionarse de manera autónoma mediante un regulador crepuscular.
- Nivel de cuadro de control. Cada agrupación de luminarias alrededor de un cuadro de control, ha de ser capaz de gobernarse de manera autónoma, para que en el caso de que fallen las comunicaciones, siga funcionando el sistema de alumbrado público. A fin de regularlo, se utilizará, tanto el regulador crepuscular como el interruptor horario astronómico.
- Nivel de centro de control. Este nivel es el que decide cómo funcionará la red de manera global, recibe datos en

tiempo real de todas las terminales, gestiona los sucesos y las alarmas, almacena la información recibida en una base de datos y se integra con otros sistemas de control (tráfico, mantenimiento urbano, gestión energética, etc.)

En cuanto al software utilizado, existe una amplia variedad de los mismos, ya que esta tecnología es una aplicación directa de los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) que se vienen aplicando desde hace muchos años en el sector industrial.

4.2 MAPAS LUMÍNICOS Y MODELOS DE PREDICCIÓN

4.2.1 Aplicación de sistemas GIS para la elaboración de mapas lumínicos.

El incremento de la actividad nocturna en las ciudades, principalmente del ocio en todas sus versiones, ha venido acompañado de un no menos despreciable aumento de las necesidades de iluminación artificial durante este período, como elemento esencial para su normal desarrollo en condiciones adecuadas de seguridad y comodidad para los ciudadanos.

Este crecimiento, que algunos estudios cifran en un 45% desde el año 1990, sitúa a este sector entre los de mayor importancia relativa, en lo que a emisión de gases de efecto invernadero se refiere y entre los grandes incumplidores del protocolo de Kioto en las ciudades.

Por otro lado, la ausencia de un marco legal que regule la contaminación lumínica, así como la ausencia de una tradición en este campo del medio ambiente, ha dado como resultado que los proyectos técnicos, especialmente los más antiguos, hayan considerado este aspecto como un elemento secundario dentro del conjunto de parámetros a analizar, de ahí que, el

despilfarro en el alumbrado sea una tónica bastante habitual en nuestros municipios, al destinarse una parte muy importante de esta energía a alumbrar zonas no deseadas

Cuando hablamos de “contaminación lumínica” nos referimos a “la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones o rangos espectrales innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en que se han instalado las luminarias, que provoca la pérdida de noches con estrellas y afectan a las observaciones astronómicas”, tal y como definen algunas normas, pero si aplicamos una visión más amplia, existen otros aspectos de carácter económico, ecológico y social que también participan de tal definición, como la utilización abusiva de los recursos naturales, el sobreconsumo de energía, la agresión a los ecosistemas nocturnos y a su cadena trófica, la emisión de gases de efecto invernadero que se deriva, el peligro para viandantes y conductores, la intrusión lumínica o la producción de residuos peligrosos, entre otros.

Todo ello no debe entenderse como una limitación al confort lumínico nocturno, sino que se pretende la optimización de este medio sin menoscabo de las funciones para las que está concebido, es decir, no se trata de iluminar menos, sino mejor.

La mayoría de los ayuntamientos han desarrollado proyectos aislados, en materia de ahorro energético en alumbrado público. Sin embargo, se echa de menos estrategias comunes que permitan integrar todas las políticas en esta materia llevadas a cabo por los diferentes servicios municipales para optimizar los esfuerzos, tanto humanos como económicos, y conseguir así objetivos comunes de mejora.

Para dar cumplimiento a estos compromisos, es muy importante buscar metodologías fiables que permitan evaluar las ciudades desde el punto de vista de la contaminación lumínica, tal y como ocurre con otros vectores, como el ruido o la contaminación atmosférica, con mayor tradición legislativa. Para

ello, tal y como se está empezando a trabajar en ayuntamientos como el de A Coruña, se propone incidir en la búsqueda de un modelo para la gestión sostenible de municipios, exportable a cualquier territorio, basado en un sistema de diagnóstico que permita obtener indicadores comparables.

Como experiencia en el ámbito local, desde el Grupo de Trabajo 26 de Contaminación Lumínica de CONAMA se proponen algunas de las fases en las que se podría dividir un Plan para la gestión sostenible del alumbrado, basado en los mapas lumínicos como técnica de evaluación:

Fase 1: Evaluación previa

En esta fase se podría realizar un análisis de la información existente en materia de alumbrado público y privado en el municipio, sin perjuicio de las visitas de campo que haya que realizar para abordar con suficientes garantías las fases siguientes.

Normalmente los ayuntamientos carecen de buenas bases de datos de alumbrado, por lo que hay que intentar sentar dichas bases para una buena gestión de la información. Como punto de partida pueden revisarse los siguientes documentos:

- Un elemento fundamental es, fomentar en los ayuntamientos la realización de inventarios fiables sobre las instalaciones de alumbrado, y si fuese posible, integrados en herramientas GIS. Existe poca cultura de racionalización de consumos energéticos y uno de los primeros síntomas, en los que se detecta, es en el desconocimiento del número y características de los puntos de luz de que se dispone. En caso de no existir, hay que intentar disponer de cualquier otro estudio de campo que sea representativo de la realidad actual del municipio.
- Proyectos técnicos llevados a cabo por el ayuntamiento y documentación fin de obra.

- Herramientas informáticas de gestión del alumbrado público.
- Datos de consumos municipales en materia de alumbrado público y tarifas contratadas.
- La obtenida en las reuniones de coordinación con los responsables municipales del alumbrado público y con el resto de departamentos implicados para la obtención de información no escrita.

Del análisis de la documentación anterior se han de poder obtener al menos los siguientes datos:

- Consumos energéticos por cuadro de mando, por calle, por sector de la ciudad y totales.
- Tipos de luminarias, lámparas y báculos existentes en la ciudad, así como su estado, sus características lumínicas y distribución por el territorio municipal, analizando la configuración característica para cada tipo de vía, plaza o elemento que haga uso de la iluminación artificial.
- Tipo de regulación empleada.
- Sistema de encendido utilizado.
- Tarifas contratadas.
- Consumo energético anual por cuadro, calle, sector y total.
- Variación estacional y diaria de la demanda.
- Medios técnicos y humanos precisos para implantar el plan de gestión.

Si una entidad local no es capaz de disponer de una herramienta con la que gestionar esta información, no existirá un compromiso por la sostenibilidad de su alumbrado.

Una parte importante de esta fase será el análisis de los criterios de calidad existentes, tanto internacionales como nacional, autonómicos o locales en materia de alumbrado público y eficiencia energética, así como los objetivos de calidad y

zonificación que se prevean en función del tipo de vía o uso del suelo, definiendo las tipologías predominantes en el municipio.

Fase 2: Estudio de campo

Paralelamente al desarrollo de todas las fases de este estudio, se han de realizar trabajos de campo para determinar la validez de los datos obtenidos, efectuando las observaciones y mediciones necesarias para la verificación de resultados o llevar a cabo la corrección de las desviaciones observadas, que puedan surgir del análisis teórico. Este estudio puede realizarse utilizando cualquier metodología existente.

Algunas universidades españolas han determinado el brillo del cielo nocturno, mediante la determinación del resplandor de la fuente del cielo, a través de la medida de la magnitud V y el índice de color B-V utilizando fotometría CCD.

Dicha metodología no está al alcance de cualquier ayuntamiento, por lo que se podría buscar una metodología alternativa. En A Coruña, la participación de la Agrupación Astronómica Ío, puede dar como resultado una serie de observaciones en diferentes puntos de la ciudad, para comprobar la visibilidad del cielo nocturno, aplicando una metodología simplificada basada en observaciones, en días con condiciones óptimas, en las que se anotaría la fecha, hora, lugar, límite de magnitud de estrella detectada, fase lunar, condiciones de humedad, temperatura, "seeing"⁴ y tipo de luminarias predominante en la zona.

Otra comprobación necesaria es la del nivel de iluminación a nivel de calle, que sea representativa del espacio tipo a analizar y contrastables con los métodos teóricos, en los que creemos debe estar basado el mapa lumínico.

⁴. Término que mide la calidad y transparencia del cielo de 1 a 5 (de peor a mejor). Existe referencial local en internet de este dato, totalmente actualizable.

Otro aspecto a determinar es la identificación de los sectores del territorio municipal con mayor potencial de emisión lumínica no deseada. También hay que establecer la tipología de alumbrado público y privado utilizado en cada calle y/o zona de la ciudad, los alumbrados singulares susceptibles de afectar al cielo nocturno e identificación de otros elementos destacables, tales como grandes industrias.

Fase 3: Diagnóstico general

A partir de los datos obtenidos en las fases 1 y 2, hay que buscar la forma de realizar un diagnóstico general de la ciudad en estudio, para lo cual se puede partir de herramientas GIS, cuyo esquema podría ser el siguiente:

- Ha de realizarse un tratamiento estadístico de los datos recopilados en el estudio sobre el alumbrado municipal, para la determinación de los tipos de alumbrado existentes en cada vía, plaza o parque público de la ciudad y se confeccionarán los mapas de flujo lumínico total y de densidad de flujo para cada calle, sector y totalidad del municipio, así como los de emisión lumínica, a partir de los datos estimados de flujo hemisférico superior instalado, diferenciando los focos de titularidad privada de los de titularidad pública.
- Debe efectuarse una zonificación de la ciudad, para la aplicación en cada división resultante de los objetivos de calidad que se hayan determinado en la fase 1, para cada uso a que esté destinado el alumbrado incluido en el ámbito de este estudio.
- Cuantificación de las emisiones indirectas de GEI, debidas al alumbrado artificial en cada sector del territorio analizado.
- Consumo y sobreconsumo de energía previsible en cada zona.
- Determinación de las luminarias que pueden considerarse más contaminantes por sus emisiones lumínicas no

deseadas, por la generación de residuos peligrosos y por sus emisiones de GEI.

- Calificación de cada zona en función de la entidad de la afección sobre el entorno.
- Análisis y conclusiones.

El territorio debe analizarse por calle y por sector de la ciudad, entendiendo por tal cualquier división administrativa que se encuentre perfectamente delimitada y reconocida por el ayuntamiento (p.ej. los distritos censales o los distritos postales), sin perjuicio de la necesidad de realizar un análisis global de todo el municipio.

Fase 4: Diagnóstico de detalle

A partir de los datos obtenidos en el diagnóstico inicial y una vez aplicados los objetivos de calidad previstos para cada zona, de acuerdo con el análisis efectuado en las fases anteriores, podrán desarrollarse estudios de detalle basados en la modelización de las emisiones lumínicas sobre el término municipal, a partir de modelos matemáticos.

Dicho estudio partirá de datos fiables del inventario de alumbrado, en cuanto a las características de las luminarias, estado de las mismas, datos de emisión, ubicación precisa, altura e inclinación.

La aplicación de la modelización tridimensional del flujo luminoso recibido a nivel de suelo, en las fachadas de las edificaciones y hacia el cielo, de manera que pueda ser exportable al sistema GIS municipal, puede ser la clave de este procedimiento de evaluación.

Cuando no se disponga de un inventario fiable, la aplicación de una estimación basada en visitas de campo, para definir configuraciones tipo pueden permitir contar con datos de entrada adecuados. En este caso, la metodología ha de ser suficientemente representativa y perfectamente justificada.

Los cálculos se realizarán mediante metodologías contrastadas y validadas, que reflejen de la realidad existente en la zona de estudio y la que pueda resultar de una determinada actuación. Hoy en día, se está trabajando en el desarrollo de herramientas de cálculo aplicables a ciudades a partir de software clásico de cálculos lumínicos, aunque lo cierto es que la falta de tradición se nota en la ausencia de modelos aplicables a ciudades. Las metodologías aún están naciendo y por eso creemos que, hay que plantearse si, realmente éste es el camino, y ha de trabajarse más en esta línea.

La herramienta de gestión así conseguida debe permitir obtener para cada calle o área del municipio, una serie de indicadores de sostenibilidad que permitan relacionar los parámetros logrados mediante cálculo (luminancias, iluminancias, flujo hemisférico superior, flujo hemisférico inferior, emisión de flujo superior, luz intrusa, deslumbramiento, sobre-iluminación, sobreconsumo energético, uniformidad, etc.) a los usos del suelo, a la población, a los diferentes tipos de edificación, a los espacios protegidos, al territorio, así como la combinación entre dichos parámetros (por ejemplo, flujo emitido/energía consumida).

Fase 5: Implantación y mantenimiento del Plan de Gestión.

El Plan de Gestión del Alumbrado debe permitir la actualización dinámica del mapa por parte del Ayuntamiento.

Debe establecerse un plan definido para la gestión del ambiente lumínico presente y futuro, que se obtendrá a partir del estudio realizado en las fases anteriores.

Fase 6: Propuesta de Plan de Acción.

Se determinarán las acciones que se consideren prioritarias para corregir los problemas producidos en la ciudad. Dicho plan incluirá como mínimo:

a. Objetivos y líneas estratégicas de actuación.

Se definirá el modelo de alumbrado que se quiere para el futuro, en base al diagnóstico desarrollado y a los objetivos de sostenibilidad de nuestra agenda 21 local.

Para cada objetivo (reducción de las emisiones lumínicas, emisiones de GEI, etc.) se indicarán las líneas estratégicas a seguir para la consecución de dichas metas.

b. Programa de actuaciones

Para cada línea estratégica se indicarán qué actuaciones a corto, medio y largo plazo se precisan implantar en el municipio, para la consecución de los objetivos previstos en el plan. Se jerarquizarán las actuaciones, de manera que se prioricen aquellas cuya necesidad es fundamental y su ejecución ha de realizarse en el corto plazo.

Para cada programa de actuación se indicará:

- Título.
- Descripción.
- Objetivos cuantificados.
- Normativa de referencia.
- Coste estimado de la medida.
- Plazo de ejecución.
- Cronograma.
- Grado de prioridad.
- Entidades implicadas.
- Nivel de compromiso.
- Análisis DAFO del programa.
- Asignación de responsabilidades.
- Posibles fuentes de financiación.
- Indicadores específicos.
- Justificación de la actuación según su aportación a la sostenibilidad del municipio.

Condiciones aplicables a los programas de actuación:

- Deben ser viables técnicamente.
- Deben ser viables desde un punto de vista económico. Para ello, se incluirá un apartado específico en el que se contemple un estudio económico-financiero de la instalación en el que se demuestre la rentabilidad de la propuesta así como el régimen de ayudas y subvenciones a que está sujeto y sus vías de financiación.
- Deben ser viables desde un punto de vista medioambiental. Las medidas propuestas no irán en detrimento de las condiciones ambientales preexistente.
- Las medidas adoptadas deben conseguir una reducción significativa de la contaminación lumínica, tal y como se define en este pliego, que las justifique.
- Deben ser viables desde un punto de vista social: En este apartado se especificará la influencia de este proyecto sobre los aspectos de tipo social, tanto para los usuarios de las instalaciones como para fabricantes, proveedores o instaladores.

c. Plan de participación

Se desarrollará un plan de participación con los agentes internos y externos necesarios para la consecución de los objetivos previstos en este plan de acción y metodología a seguir.

Fase 7: Propuesta de Ordenanza Municipal

Un elemento fundamental para la gestión del alumbrado pasa por la aprobación de Ordenanzas Municipales Reguladoras del alumbrado artificial.

Dicha ordenanza ha de redactarse en función de las peculiaridades observadas para cada ayuntamiento. Existe un modelo de ordenanza elaborada por el IDAE que es fácilmente adaptable a cualquier tipo de ayuntamiento.

RESUMEN Y CONCLUSIONES:

Se pretende abarcar el proceso de la gestión sostenible del alumbrado artificial (público y privado) presente en el municipio y la obtención del mapa lumínico de dicho territorio.

El alcance del plan de gestión debe incluir todo tipo de alumbrado realizado con instalaciones estables o esporádicas en recintos abiertos para su utilización nocturna, así como los destinados al alumbrado exterior viario y para peatones, alumbrados ornamentales de monumentos, espacios naturales y playas, de parques y plazas, alumbrados de seguridad, de instalaciones deportivas, áreas comerciales y de recreo, lugares de ocio nocturno, áreas de servicio, aparcamientos, rótulos y anuncios luminosos, iluminación de carteles publicitarios, escaparates de locales comerciales y fachadas de edificios de oficinas, alumbrados de viviendas particulares, de industrias, instalaciones portuarias, y cualquier otro alumbrado artificial susceptible de afectar al cielo nocturno.

Los objetivos primordiales que se pretenden son:

1. Planificar y coordinar las actuaciones en materia de gestión sostenible del alumbrado entre los diferentes departamentos implicados.
2. Realizar un diagnóstico general de los niveles contaminación lumínica existentes y evaluar su distribución en todo el término municipal, localizando zonas con instalaciones y otras deficientes sobre las que, aún estando en condiciones adecuadas, exista riesgo de degradación a corto o medio plazo.

3. Determinar la influencia de la emisión lumínica en el entorno, especialmente sobre zonas protegidas y espacios naturales de interés, dentro y fuera del municipio, así como la contribución que realiza cada foco e instalación individual.
4. Conocer los flujos luminosos producidos por el alumbrado artificial, en la ciudad sobre cada superficie: calzada, fachadas y cielo.
5. Evaluar la conformidad de las principales instalaciones de alumbrado artificial, con los criterios de calidad internacionalmente establecidos y verificar la eficacia de las medidas correctoras que, en cada caso se determinen.
6. Disponer de una herramienta, que permita conocer el impacto que producen las instalaciones de alumbrado artificial de la ciudad, prediciendo el que puede ocasionar la implantación de nuevas instalaciones de alumbrado, visualizando cualquier cambio sobre la situación preexistente en el municipio y, en general, diagnosticar la calidad del servicio ofrecido por cualquier instalación presente en el mismo.
7. Contar con un banco de pruebas, que permita ser exportado a otros municipios.
8. Conocer la entidad de la emisión de gases de efecto invernadero causadas por el alumbrado público y la que resultaría de la aplicación de los planes de acción.
9. Conocer el consumo energético en alumbrado público y la entidad del sobreconsumo generado por la iluminación deficiente.
10. Disponer de un plan para reducir el consumo energético municipal en alumbrado público, así como las emisiones de gases de efecto invernadero producidas, y los residuos peligrosos generados por estas instalaciones.

11. Analizar los diferentes objetivos de calidad del municipio y realizar una zonificación en función de los resultados obtenidos.
12. Establecer un sistema de indicadores de sostenibilidad para las instalaciones de alumbrado, que tenga en cuenta los aspectos lumínicos, energéticos y de emisiones de gases de efecto invernadero, en relación con la población, el territorio, las diferentes zonas de la ciudad y los tipos de instalación.
13. Poder atender a las quejas de la ciudadanía de forma eficaz y ofrecer información ambiental adecuada.
14. Conocer las principales actuaciones a desarrollar, para corregir hasta los límites económicamente viables, todas las desviaciones detectadas para la consecución de los objetivos de calidad ambiental de la ciudad y mantener al máximo posible las condiciones naturales de las horas nocturnas en beneficio de la ciudadanía y de los ecosistemas, en general.
15. Obtener una mejora en los costes energéticos derivados de la deficiente gestión del alumbrado público.
16. Disponer de una normativa municipal que regule esta materia, de acuerdo con las peculiaridades detectadas en este plan.
17. El ámbito del plan se referirá a la totalidad del término municipal, incluyendo zonas rurales, áreas de protección especial y el propio casco urbano.

Evidentemente, los medios disponibles por los ayuntamientos españoles son muy diferentes y quizás, haya que trabajar en la búsqueda de metodologías simplificadas aplicables a cualquier entidad local, para que no existan excusas económicas para la sostenibilidad. Sólo hay que redistribuir y optimizar los recursos existentes. La eficiencia energética hará el resto.

4.2.2 Modelado de iluminación.

Modelado con 3D Studio Max.

A lo largo del año 2005-6, Red Eléctrica de España ha desarrollado una metodología basada en una herramienta informática, que permitirá analizar la contaminación lumínica que podría producir una subestación eléctrica en proyecto, partiendo de los planos y del análisis de la ubicación.

En el año 2005, se seleccionaron dos subestaciones eléctricas existentes y, de ellas, se han analizado y desarrollado los modelos 3D de luminarias, aparamentas, edificios, revestimientos, barreras de contención lumínica en superficies existentes, así como el terreno circundante, con el fin de estudiar la contaminación lumínica que se produce en el entorno

Para realizar la simulación, se ha utilizado una herramienta informática (3D Studio Max), capaz de generar los modelos 3D, aplicar texturas específicas y trabajar con diferentes focos de luz para poder evaluar el impacto lumínico de la subestación.

A partir de los datos obtenidos, se ha elaborado una metodología de estudio que permitirá simular la situación de nuevos proyectos, lo que facilita el detallar las recomendaciones a la hora de instalar luminarias en una subestación de nueva creación y las posibles medidas correctoras a aplicar.

En el año 2006, se ha continuado el estudio con objeto de verificar la metodología y la efectividad de la herramienta informática utilizada.

Se ha partido de dos Subestaciones sin construir y cuyas luminarias estarán implantadas a finales de octubre. Todos los datos obtenidos, del antes y después, de la construcción serán analizados para verificar la eficiencia de la metodología y herramienta informática desarrollada.

La metodología propuesta es la siguiente:

Fase 1: Fotografía de la zona.

Será preciso, tanto un equipo fotográfico adecuado (cámara fotográfica digital de alta gama. Objetivos, trípodes con nivel, filtros, etc.), como un equipo para posicionar de manera correcta la cámara sobre el terreno y recogida de datos (cartografía detallada, GPS, brújula, altímetro, prismáticos, etc.)

La selección de los puntos de vista, desde los cuales se tomarán las fotografías, se determinan en gabinete, marcando sobre la cartografía y anotando las coordenadas U.T.M. de los posibles puntos factibles de ser usados como definitivos. En la metodología desarrollada se plantea una malla plana y continua de puntos distribuidos, en una cuadrícula uniforme, en función de las características del emplazamiento y del tipo de proyecto analizado. Posteriormente se elige la fecha de la toma de datos de campo, teniendo en cuenta aspectos que puedan modificar las evaluaciones tales como: necesidad de ausencia de luna, cielos despejados, etc. Una vez sobre el terreno, durante el día, se verifica la determinación de los puntos desde los cuales se tomarán las fotografías, teniendo en cuenta la posible existencia de obstáculos que dificulten la visión. En cuyo caso, se usarán puntos alternativos, también determinados en los trabajos de gabinete.

Durante la realización de las fotografías diurnas y nocturnas y para cada una de ellas, se anotarán una serie de datos que, posteriormente nos servirán para la realización de la integración.

- Datos fotográficos.
- Posición y orientación de la cámara.
- Entorno (fecha, hora, altura del sol, azimut del sol, iluminación).

Fase 2: Digitalización.

Se procede a un volcado en formato digital de las fotografías, para su posterior uso informático.

Fase 3: Modelado 3D de los elementos.

A partir de la digitalización de planos de detalle de los elementos del proyecto se construyen, digitalmente y en tres dimensiones, todos y cada uno de dichos elementos. Como resultado se obtienen bases de datos gráficas, que contienen las coordenadas de todos los vértices que describen cada objeto.

En el modelado hay que tener en cuenta, el nivel de detalle que va a ser necesario, que dependerá de la distancia a la que se van a situar las cámaras en los objetos sintéticos. Un exceso de detalle puede provocar la sobrecarga del equipo, de modo que el modelo final se haga inmanejable por dicho equipo.

Una vez definido el nivel de detalle necesario, se procederá a comenzar el modelado.

Para que el resultado infográfico sea lo más realista posible, es necesario crear y seleccionar los materiales adecuados que se van a aplicar sobre las distintas partes de los modelos.

Para el modelado de líneas, los modelos son:

- Torres y aisladores.
- Cables.
- Modelo digital del terreno.

Para el modelado de las subestaciones, los elementos a sintetizar son:

- Plataforma, acceso, caminos interiores, explanación y taludes.
- Cerramientos y vallas.
- Edificios.

- Pórticos, embarrados y transformadores.
- Conductores.
- Luminarias.

Para el modelado del medio natural y social existente, será necesario realizar los modelos de los diferentes estratos de vegetación (herbáceo, arbustivo y arbóreo) y edificaciones presentes.

Fase 4: Modelo digital terrestre.

La colocación de los elementos utilizados en la simulación visual tiene lugar en las tres coordenadas cartesianas (X,Y,Z). Las correspondientes a X e Y, son introducidas por teclado de manera numérica o directamente digitalizadas mediante tableros, a partir de su representación en mapas y planos.

La tercera dimensión (Z), normalmente, viene dada a través de un programa CAD. Es su posición, en el terreno la que caracteriza su relación espacial con otros elementos. Debemos conocer, además, en qué partes del terreno asienta el escenario de simulación y cuáles bloquean la visión de los elementos tridimensionales sintéticos.

Para ello, utilizaremos una alternativa, que comporta la metodología y hace necesario el proceder, en primer lugar, a obtener el modelo digital del terreno, el cual será importado como un elemento tridimensional más y que sólo que será utilizado para cortar los objetos tridimensionales entrantes. El resultado será, que los objetos quedarán ocultos tal y como lo estarían en la realidad.

Fase 5: Materiales.

Los materiales de los objetos que configuran un escenario 3D, determinan el comportamiento en cuanto al color que la superficie de éstos tienen frente a las fuentes de iluminación. Un dato necesario de cada material utilizado en el proyecto,

desde el punto de vista infográfico, es la descripción numérica de las características esenciales de la superficie de ese objeto: color y cantidad de difusión, tipo de reflexión, rugosidad, transparencia, grado y color de emisión de la luz.

En esta metodología se utiliza cuatro tipos diferentes de materiales.

- **Materiales planos:** para cada uno de los puntos de una superficie, el programa aplica las mismas condiciones de absorción, difusión y reflexión de la luz. El color a aplicar vendrá en función de esas condiciones, la naturaleza de la luz y del color del objeto. Este tipo de materiales simplifica mucho el cálculo para los equipos.
- **Mapeados de color:** Se obtiene el color de cada uno de los puntos de la superficie de un objeto 3D, a partir de una imagen que represente el detalle al ser proyectado o mapeado. Se utiliza en el caso de parques de subestaciones, en el que se proyectan vías de acceso y pavimento, así como edificios auxiliares en los que se pueden proyectar puertas y ventanas. También es muy útil en el caso de árboles y demás elementos vegetales.
- **Mapeados de rugosidad:** Los detalles del terreno son difíciles de representar, al igual que ciertos aspectos de los materiales de los elementos de una subestación, como pueden ser transformadores, seccionadores, etc. Cierta grado de rugosidad puede ser simulado, mediante la aplicación de mapeados de rugosidad o "bump-mapping"
- **Mapeados de transparencias:** Se aplican principalmente en la generación de los contornos de los árboles y otros elementos vegetales, así como para la representación de la malla de alambre de los cerramientos.

Fase 6: Iluminación.

La iluminación, junto con la edición de los materiales, es fundamental para la obtención de imágenes realistas. La determinación de las condiciones de iluminación de un escenario, comprende distintos aspectos diferentes de las fuentes principales de luz. Considerar o no dichos matices, determina el grado de realismo de la imagen resultante y los valores de iluminancia obtenidos con el modelo.

En la metodología desarrollada se utiliza iluminación por cálculo de radiosidad, con exposición por pseudocolor en escala de colores o grises, para determinar los valores con máxima iluminancia.

Además, se deben tener en cuenta las características de los puntos de luz que se vayan a utilizar, ya que la precisión del estudio de la contaminación lumínica depende, en gran medida, de la correcta simulación de los balastos y luminarias.

Fase 7: Acabado (Rendering).

El cálculo del color resultante de la aplicación de una fuente de luz sobre un objeto con un material definido puede ser obtenido de diferentes maneras, en función del acabado deseado y del tiempo de computación, siendo uno función del otro.

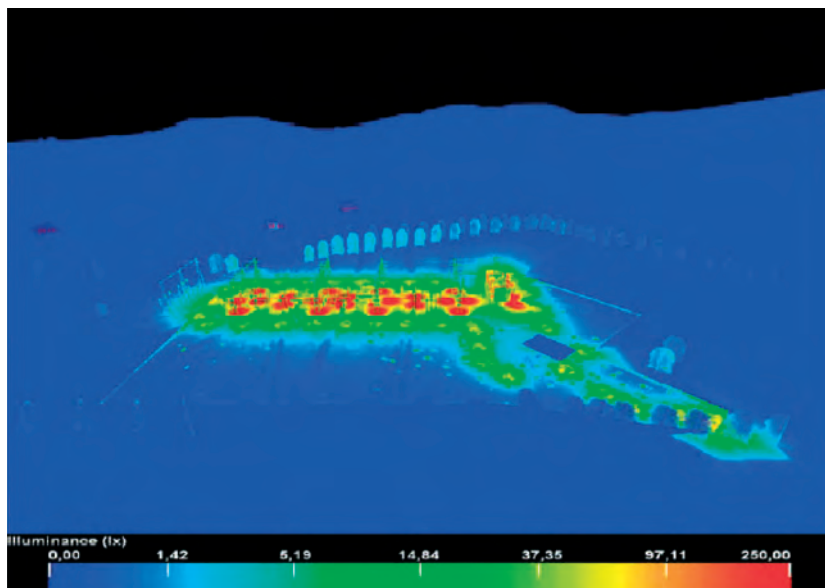
Fase 8: Integración y fotomontaje 3D.

Se persigue la superposición de los elementos del proyecto sobre los escenarios de base.

Para ello, se utiliza la técnica de Hibridación Real – Sintético (HRS), que es la técnica más utilizada hoy en día, en simulación visual en ingeniería y arquitectura.

Los elementos del proyecto son sintetizados por ordenador y el escenario, es una fotografía real digitalizada del paisaje, que albergará dicho proyecto, proponiéndose la utilización del propio programa de síntesis de imágenes, para la integración de ambos materiales.

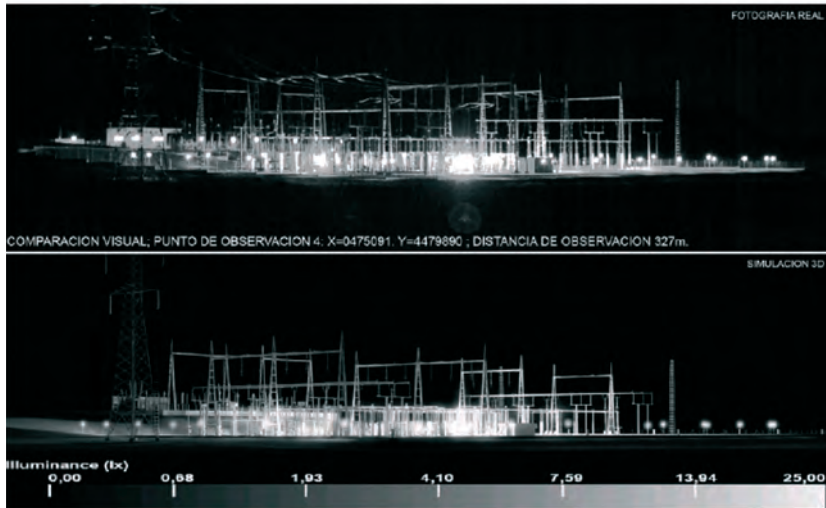
A continuación se muestran una serie de imágenes relativas al estudio en cuestión.



Simulación en perspectiva aérea de una subestación eléctrica durante la noche. Las gamas de colores del azul al rojo indican los valores de iluminancia.



Vista lateral de la subestación iluminada (con simulación de la barrera vegetal)



Comparación de una subestación existente y su simulación

En función de la resolución necesaria, para realizar la simulación, se requerirán capacidades de cálculo mayores y mejores, y más efectivos sistemas de almacenamiento y gestión de imágenes. Las resoluciones típicas utilizadas, para la simulación visual sobre las fotografías ampliadas a 20x25, es superior a 2.000 píxeles en horizontal. Como es normal, las imágenes de síntesis tendrán que tener la misma resolución, que las del escenario real, lo que provoca un aumento en el tiempo de cálculo.

El coste en tiempo medio por fotograma terminado oscila, entre las 70 y 90 horas/hombre, dependiendo de la complejidad del escenario simulado y teniendo en cuenta que, la síntesis de imágenes, tiene una parte previa de modelado que supedita el resto de la simulación.

Como resultado de esta metodología aplicada al estudio de la contaminación lumínica provocada por las subestaciones, podemos obtener una serie de conclusiones:

- En la actualidad existen equipos informáticos, aplicaciones y especialistas que son económica y técnicamente rentables para su utilización en trabajos de simulación visual.
- La simulación visual en ingeniería es un trabajo multidisciplinar. Por tanto, debe organizarse un equipo que, al menos, cuente con un infografista, un paletista gráfico y un técnico de apoyo para las labores de fotografía y digitalización.
- El método de simulación visual conocido como Hibridación Real-Sintético se muestra como el más adecuado para su aplicación, en los proyectos de instalaciones eléctricas y de evaluación de la contaminación lumínica que éstas producen, por la calidad de los resultados obtenidos y su relación con el precio.
- La simulación visual ofrece diversos niveles de acabado, que pueden ser utilizados en diferentes fases de la concepción de un proyecto, ajustando de esta manera los costes dedicados a la simulación.
- A lo largo de la concepción de un proyecto es posible adelantar los impactos visuales, que cada alternativa tendrá en el escenario de implantación de la obra. Este aspecto, es muy útil para implicar al usuario final en la toma de decisiones, sobre las diferentes alternativas.

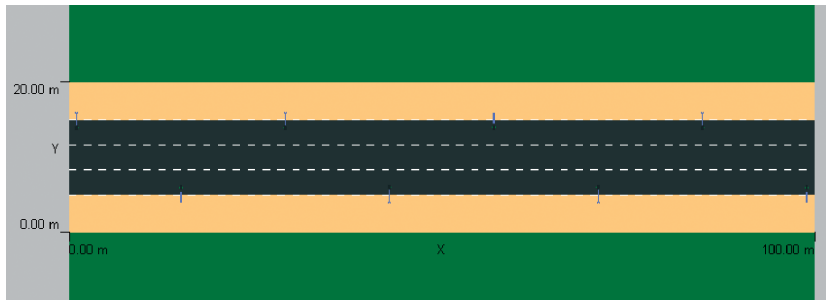
4.2.3 Aplicación de la herramienta Indalwin para el diseño de la iluminación de una calle.

Dentro de las aplicaciones informáticas desarrolladas para el cálculo y optimización de luminarias, el programa Indalwin, desarrollado por el grupo Indalux, ofrece diversos módulos para poder realizar el diseño de iluminación de viales, fachadas, interiores, proyección y decorativo.

En el apartado que nos ocupa, se muestra un ejemplo de cálculo de iluminación para una calle.

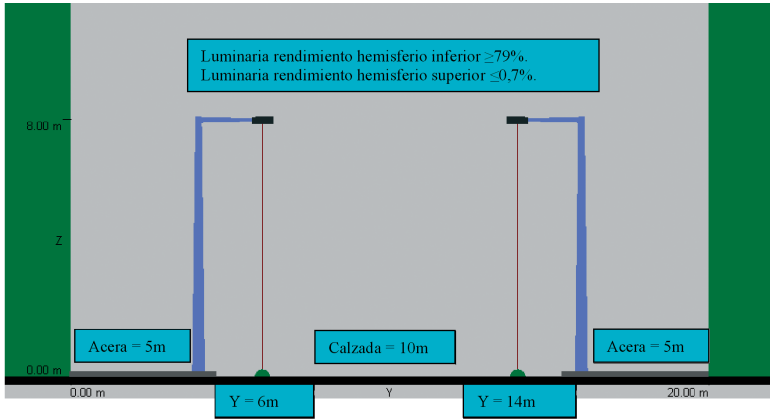
Los datos de partida del ejemplo son los siguientes:
Características geométricas de la calle.

- Longitud considerada 100 m.
- Anchura 20 m (acera 5 m; calzada 10 m; acera 5 m).
- Altura edificios 30 m.



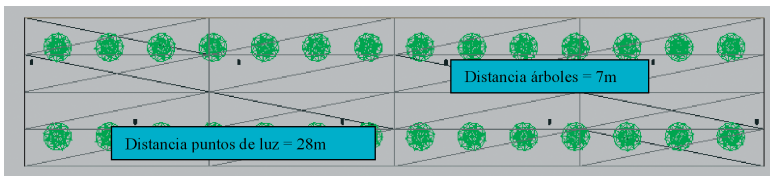
Posición de los puntos de luz:

- Altura punto de luz 8 m (h).
- Inclinación 0°.
- Aplomo sistema óptico a los 6 y 14 m.
- Luminaria con lámpara de 150 w vapor de sodio alta presión ampolla tubular ($\phi=14.500$ lm).
- Disposición puntos de luz en tresbolillo.



Posición luminarias y árboles:

- Árboles de 10 m de altura total (5 de tronco + 5 de copa).

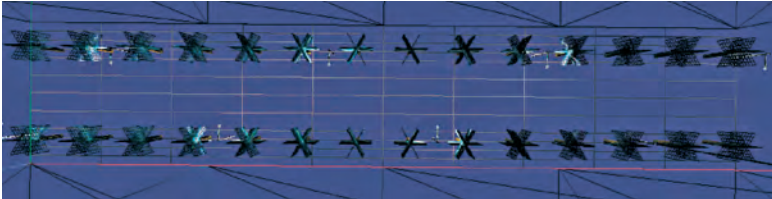


Otros datos tenidos en cuenta:

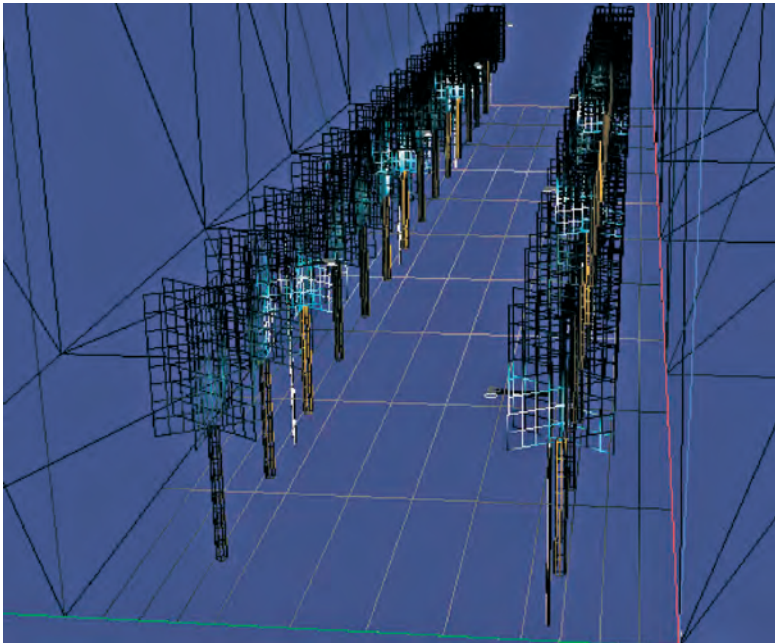
- Rdto. luminaria hemisferio inferior: 79,20%.
- Rdto. luminaria hemisferio superior: $\leq 0,7\%$.
- Rdto. total de la luminaria 79,90%.
- Flujo lámpara vapor de sodio alta presión, ampolla tubular 150 W: 14.500 lúmenes.
- Flujo total útil en la calle 11.585 lúm. x 8 lum. = 92.684 lúmenes.
- Factor de mantenimiento considerado para la instalación 80%.

- Flujo total útil en servicio en la calle = 74.147 lúm.
- Calzada considerada para el estudio R3 ($Q_0 = 0,007$).
- Reflexión de superficies verticales 20%.
- Superficie ocupada por el arbolado $\cong 20\%$.

La instalación de la calle, quedará tal y como sigue:



Vista en planta

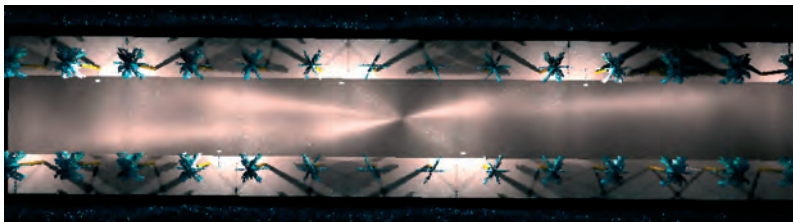
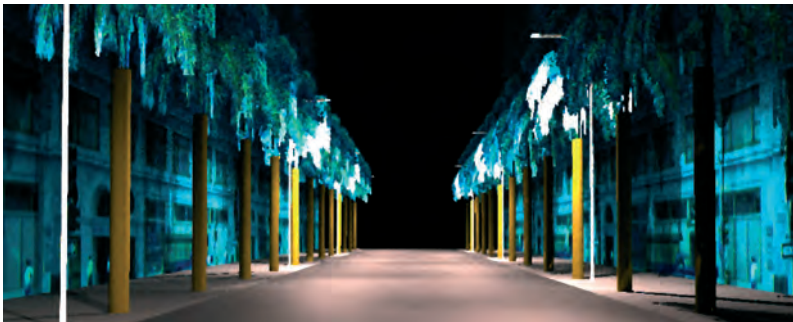


Vista 3D

Con estos datos de partida, obtenemos los siguientes resultados para una instalación con árboles y calculando las reflexiones:

Valores de iluminancia media (lux) en acera izquierda:	
Flujo utilizado 8.576 lúmenes	17,00
Valores de iluminancia media (lux) en acera derecha:	
Flujo utilizado 8.576 lúmenes	17,00
Valores de iluminancia media (lux) en calzada:	
Flujo utilizado 35.562 lúmenes	36,00
Valores de iluminancia media (lux) en plano a 10 m sobre la calzada:	
Flujo utilizado 6.240 lúmenes	3,12
Valores de iluminancia media (lux) en plano a 30 m sobre la calzada:	
Flujo utilizado 1.898 lúmenes	0,95

Gráficamente podemos observar los resultados en las siguientes ilustraciones:



Los resultados de la instalación con reflexiones y sin árboles son:

Valores de iluminancia media (lux) en acera izquierda:	
<u>Flujo utilizado 9.778 lúmenes</u>	<u>20,00</u>
Valores de iluminancia media (lux) en acera derecha:	
<u>Flujo utilizado 9.778 lúmenes</u>	<u>20,00</u>
Valores de iluminancia media (lux) en calzada:	
<u>Flujo utilizado 36.516 lúmenes</u>	<u>37,00</u>
Valores de iluminancia media (lux) en plano a 10 m sobre la calzada:	
<u>Flujo utilizado 6.924 lúmenes</u>	<u>3,46</u>
Valores de iluminancia media (lux) en plano a 30 m sobre la calzada:	
<u>Flujo utilizado 2.165 lúmenes</u>	<u>1,08</u>

Resultados con árboles y sin reflexiones

Valores de iluminancia media (lux) en acera izquierda:	
<u>Flujo utilizado 7.951 lúmenes</u>	<u>16,00</u>
Valores de iluminancia media (lux) en acera derecha:	
<u>Flujo utilizado 7.951 lúmenes</u>	<u>16,00</u>
Valores de iluminancia media (lux) en calzada:	
<u>Flujo utilizado 34.893 lúmenes</u>	<u>35,00</u>
Valores de iluminancia media (lux) en plano a 10 m sobre la calzada: Flujo utilizado 380 lúmenes	
<u>Flujo utilizado 380 lúmenes</u>	<u>0,19</u>
Valores de iluminancia media (lux) en plano a 30 m sobre la calzada: Flujo utilizado 120 lúmenes	
<u>Flujo utilizado 120 lúmenes</u>	<u>0,06</u>

Resultados sin árboles y sin reflexiones

Valores de iluminancia media (lux) en acera izquierda:	
<u>Flujo utilizado 9.255 lúmenes</u>	<u>19,00</u>
Valores de iluminancia media (lux) en acera derecha:	
<u>Flujo utilizado 9.255 lúmenes</u>	<u>19,00</u>

Valores de iluminancia media (lux) en calzada:	
Flujo utilizado 34.902 lúmenes	35,00
Valores de iluminancia media (lux) en plano a 10 m sobre la calzada:	
Flujo utilizado 461 lúmenes	0,23
Valores de iluminancia media (lux) en plano a 30 m sobre la calzada:	
Flujo utilizado 140 lúmenes	0,07

Podemos concluir que, el uso de programas informáticos para realizar la simulación de instalaciones de iluminación, nos permite hacer un diseño más eficaz de la misma, minimizando los efectos de la contaminación lumínica en la zona a estudiar y además, al apreciar los resultados gráficamente, podemos mostrarlo al usuario final, facilitando las modificaciones en la fase de diseño, reduciendo los tiempos y costes del proyecto.

4.3 LÍMITES DE ILUMINACIÓN

4.3.1 Protocolo de Kyoto y producción de gases de efecto invernadero

De acuerdo con la Decisión del Consejo 2002/358/CE de 25 abril de 2002, relativa a la aprobación del protocolo de Kyoto, España tiene el compromiso cuantificado de limitación de emisiones de no sobrepasar en más de un 15% los siguientes gases de efecto invernadero (GEI) en el periodo 2008-2012:

Comparado con los niveles del año 1990

- Dióxido de Carbono (CO₂).
- Metano CH₄.
- Óxido Nitroso N₂O.

Comparado con los niveles del año 1995

- Hidrofluorcarbonos (HFCs).
- Perfluorocarbonos (PFCs).
- Hexafluoruro de azufre (SF₆).

El Gobierno Español, se fija como objetivos que, las emisiones en el periodo 2005-2007, se estabilicen en la media de los tres últimos años, admitiendo un incremento adicional del 3,2% de las emisiones de CO₂, por la aportación de nuevas empresas.

El resultado final de obtener el 15% de las emisiones en el año 2012 (cumplimiento del protocolo de Kyoto), respecto al año 1990, se fundamenta en una fuerte reducción que no debe sobrepasar el 24% de las emisiones, distribuidas en base a:

- 15% del protocolo.
- 2% por la absorción de sumideros.
- 7% de los créditos obtenidos en el mercado de emisiones.

En el sector de la generación de energía eléctrica, las emisiones alcanzaron en el 2002, 98,5 millones de toneladas de CO₂. La primera cita de reducción la asigna el Gobierno con una previsión para el periodo 2005-2007 de 86,4 MT, es decir una reducción de 12,3%.

El consumo de energía eléctrica ha aumentado en el periodo 2000-2005 un 19%⁵, teniendo un consumo de 246.185 GWh.

El aumento en este periodo del consumo eléctrico en alumbrado público por habitante y año, ha sido del 14%⁶, desde 1995 a 2000, con la siguiente evolución:

⁵ Fuente: *Memoria Anual 2005 de REE*.

⁶ Fuente: INE / Ministerio de Economía

Año	Consumo de energía eléctrica (kWh / habitante y año)
1995	64
1996	67
1997	68
1998	69
1999	71
2000	73

Con estos datos se estima que la evolución del consumo en los siguientes años será de⁷:

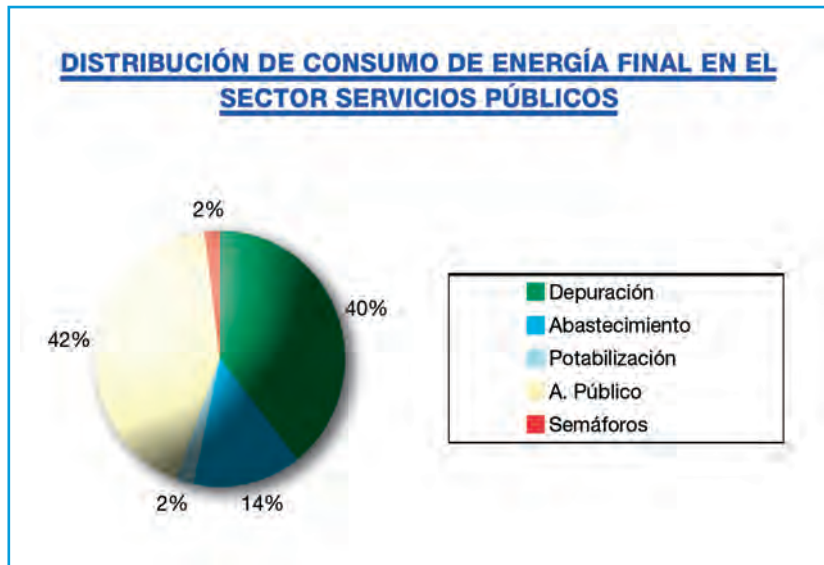
Año	Población (Millones de hab.)	Consumo (ktep)	Emisiones (Toneladas CO₂)
2000	39,9	261	1.377.558
2006	41,5	271	1.430.338
2012	42,5	278	1.462.784

A la vista de estos datos, se concluye que debe de buscarse una mayor eficiencia de los sistemas de iluminación, para tratar de minimizar las emisiones de CO₂.

La *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética 2004- 2012*, en el apartado de Servicios Públicos, prevé un escenario de "eficiencia energética" en el que se reducirán los consumos energéticos, por medio de una serie de inversiones y mecanismos que se describirán a continuación.

Los datos que a continuación se hacen referencia son de la suma de los consumos, tanto de alumbrado público, como de depuración de aguas, abastecimiento, potabilización y semáforos.

⁷ Fuente: *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012*, Sector Servicios Públicos, publicada por el Ministerio de Economía.



La evolución previsible del consumo energético del sector servicios públicos, según el escenario base, sería que, en 2012, se consumirían 808 ktep.

Aplicando las medidas descritas en el documento *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012*, se obtendría un ahorro energético en 2012 de 154 ktep, siendo el ahorro acumulado en total durante el periodo de 584,1 ktep, lo que supondría dejar de emitir 3,08 millones de toneladas de CO₂.

Las medidas que se proponen para mejorar la eficiencia energética del alumbrado público son las siguientes:

- Sustitución de las luminarias de vapor de mercurio de 50 lum/W, por otras de vapor de sodio más eficientes, de 100 lum/W.
- Sustitución de luminarias por otras de mayor rendimiento y lámpara de menor potencia.

- Instalación de sistemas de regulación del nivel luminoso, capaces de modificar los niveles de iluminación de la vía, en función de la utilización de la misma.
- Instalación de relojes astronómicos programables en cada cuadro de control, regulando así mejor los ciclos de encendido/apagado, reduciendo las horas de funcionamiento.
- Sustitución de semáforos que utilicen tecnología normal por tecnología LED.

Además de los medios, se proponen diversos instrumentos para conseguir la implantación de las medidas propuestas.

- Normativa: Se propone el desarrollo de una normativa estatal, con la finalidad de disminuir la contaminación lumínica, que sería desarrollada posteriormente por las CC.AA. y por los municipios, en función de las competencias.
- Apoyo económico: Se sugiere el diseño de una línea de apoyo económico, con el fin de aumentar la eficiencia de alumbrado público y semáforos, adaptándola a la realidad de cada ayuntamiento.
- Información: Se debería de realizar una campaña de sensibilización que vaya ligada a estas medidas y en particular, a las personas que tienen capacidad de decisión en los ayuntamientos (alcaldes, concejales, técnicos).

En términos económicos, la aplicación de estas medidas supondrían unos costes estimados de:

- Modificación del parque existente en el periodo 2004-2012

Medida	Parque afectado	Ahorro energético (ktep/año)	Inversión (millones de €)
Sustitución de lámparas de V.M. por V.S.AP.	840.000 p.l.	17.82	40.39
Sustitución de luminarias	1.092.000 p.l.	25.67	273.02
Instalación de sistemas de regulación del nivel luminoso	2.436.000 p.l.	32.12	146.41
Instalación de reloj astronómico	2.184.000 p.l.	3.76	9.19
Sustitución de tecnología convencional por LED en semáforos	102.000 p.l.	9.57	71.40
Total		88,94	540,41

Instalación del parque nuevo en el periodo 2004-2012

Medida	Parque afectado	Ahorro energético (ktep/año)	Sobrecoste de la inversión (M de €)
Instalación de lámparas V.S.AP.			
Instalación de luminarias			
Instalación de sistemas de regulación del nivel luminoso	179.000 p.l.	6,9	26,58
Instalación de reloj astronómico			
Sustitución de tecnología convencional por LED en semáforos	4.176 p.l.	0,4	2,05
Total		7,3	28,63

En este caso, el sobrecoste de la inversión se refiere a la diferencia de implantar lámparas de tecnología convencional, a lámparas de alta eficacia, suponiendo un crecimiento determinado de la demanda de iluminación.

4.3.2 Influencia iluminación viaria en seguridad

Una de las principales preocupaciones de la ciudadanía y del Estado es la gran cantidad de accidentes de tráfico que se producen y las muertes que ellos conllevan (4.741 en 2004⁸) De ellos, un 19% ocurrieron en vías urbanas y el 81% restante en vías interurbanas.

La tendencia actual es la de mejorar la iluminación de los viales, con el objeto de aumentar la visibilidad y disminuir los accidentes de tráfico, sobre todo los interurbanos.

En base a estudios estadísticos, se demuestra que la iluminación en los viales reduce los accidentes de tráfico mortales en un 65% y el 30% de los accidentes con heridos⁹.

Sin embargo, otras fuentes sugieren que, un exceso de iluminación viaria puede llegar a influir negativamente en la conducción, ya que al aumentar la sensación de seguridad, disminuyen las medidas que se ponen para mejorarla (mayor atención, disminución de la velocidad del vehículo, etc.).

Para explicar este hecho, Gerald J.S. Wilde formuló la teoría de la "homeostasis del riesgo subjetivo". Esta teoría sostiene que, cada conductor tiene inconscientemente un valor de referencia del riesgo al que puede exponerse. Este valor de referencia del riesgo puede, en un momento dado, separarse del riesgo real en función de numerosos factores como fatiga, hipovigilancia, distracción, intoxicación, sensación a veces abusiva de seguridad o, simplemente, por la (mala) impresión de disponer de toda la información necesaria para una buena conducción.

⁸. Fuente: *Principales cifras de la siniestralidad vial 2004*, publicado por la Dirección General de Tráfico

⁹. Fuente: *Alumbrado en carretera ¿garantía de seguridad?*, de Ángel Calero Torroba, comunicación del Congreso CIE 2005.

Por lo que, según esta teoría, la mejora producida por la iluminación en viales no es efecto de que se vea mejor simplemente, sino que existe mayor información referente al entorno, lo que permite al cerebro poder realizar mejor juicio de la situación. Este hecho produce que apreciemos que hay menor riesgo, por lo que nos expondremos más.

Para mejorar la calidad de la información que recibimos cuando conducimos, en condiciones de baja visibilidad, se han de tomar otras medidas complementarias a la iluminación de los viales, que también se han demostrado efectivas, como son los paneles con mensajes variables, utilización de medios de guiado y balizado (LEDs) y sistemas de navegación GPS capaces de alertar de la presencia de obras en la vía o atascos.

Debe de haber un cambio de mentalidad, a la hora de proyectar la iluminación de las vías, pasando de diseñar por parámetros meramente luminotécnicos, a ofrecer una mejor información visual de la vía.

4.4 PUBLICIDAD E ILUMINACIÓN ARQUITECTÓNICA

4.4.1 Iluminación dinámica

Gracias a las mejoras en automatización y luminotécnica, a principios de los 90, los técnicos de iluminación y diseñadores pudieron incorporar nuevas tecnologías a la iluminación de escenarios, utilizando los conocidos como proyectores inteligentes, capaces de aportar una nueva dimensión a este campo.

No se tardó mucho en aplicar esta técnica para iluminar espacios arquitectónicos y monumentos, naciendo así la iluminación dinámica.

La principal virtud de este sistema, es la capacidad que tiene para adaptarse a las condiciones del entorno, cambiando el color dependiendo de la hora en que esté, si las condiciones ambientales no son las adecuadas, así como el ángulo de

incidencia de la luz provocando nuevas sombras, haciendo que el edificio parezca que haya cambiado.

El funcionamiento de estos sistemas requiere unos conocimientos técnicos muy precisos, ya que no sólo se trata de la instalación eléctrica del mismo, que puede ser incluso en intemperie, sino también todo el proceso de control que requiere, ya que los proyectores llegan a ser verdaderos autómatas controlados por un ordenador, que ha de hacer los cálculos de trayectorias, de intensidad del haz, etc. También admiten en la actualidad configuraciones maestro-esclavo, actuando uno de los proyectores como maestro y el resto como esclavos.

Esta tecnología también permite utilizar una red de datos, ya sea cableada o "wireless" para controlar las trayectorias de los proyectores.

4.4.2 LEDs RGB

Aparte de la iluminación dinámica, cada vez está cobrando más fuerza la iluminación con LEDs RGB.

Estos pueden irradiar diversos tonos de color, mezclando los colores básicos de 3 chips (rojo, verde, azul), pudiendo en teoría, abarcar los 16,7 millones de colores del espectro RGB.

El uso de tecnología LED para iluminación arquitectónica y publicitaria, está cobrando cada vez más fuerza debido a las ventajas que poseen respecto de los sistemas convencionales, como son:

- Tamaño más pequeño, con lo que pueden ser montados incluso en letras pequeñas y estrechas con iluminación óptima. Además, permiten una gran flexibilidad a la hora del montaje.
- La tensión de funcionamiento de los LEDs se sitúa entre los 10 y los 24 VCC, por lo que se puede encuadrar en la normativa de muy baja tensión, pudiendo instalarse cerca de partes metálicas y en zonas húmedas, abriendo nuevas posibilidades de diseño.
- Los LEDs poseen una saturación cromática más alta que las

fuentes luminosas convencionales, lo que garantiza colores más brillantes. Además, gracias a la gran cantidad de colores disponibles, por no decir las posibilidades que tiene el uso de LEDs con tecnología RGB, se pueden mezclar para conseguir muchas más tonalidades cromáticas.

- Tienen una larga vida útil (desde 30.000 a 100.000 horas), por lo que suponen claramente un ahorro en costes de reposición y mantenimiento.
- Debido a que no tienen filamentos, ni tubos de cristal, ni electrodos, los LEDs disfrutan de una gran resistencia a roturas.

CONCLUSIONES DEL GRUPO DE TRABAJO DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

El tema central que ha tratado el Grupo de Trabajo sobre contaminación lumínica gira entorno a la concienciación social sobre esta problemática, no siempre entendida de esta forma. A partir de esto, es fundamental un análisis de la legislación existente y una profundización en los estudios y experiencias más destacables, en la tarea del control de la contaminación luminosa.

La Oficina para la Prevención de la Contaminación Luminosa del Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya, relató la experiencia obtenida en su oficina en estos años de aplicación de la Ley sobre Contaminación Luminosa y cómo algunas contradicciones que existen en la normativa, impiden su correcta aplicación. Sin embargo, esto no imposibilita el objetivo básico de la regulación ambiental de la iluminación exterior para la protección del medio ambiente de la noche. El objetivo principal del Decreto mediante el que se desarrolla la Ley es regular la iluminación artificial, que puede producir contaminación luminosa. Se hizo también hincapié en que se cumpliría básicamente la legislación, dirigiendo la luz exclusivamente hacia el objeto que se desea iluminar.

Desde la Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo (OTPC) de Canarias, se relató la experiencia que, desde 1988 legisla y protege la actividad del Observatorio del Roque de los muchachos, mediante la ley 31/88 y el R.D. 243/92, matizando que esta normativa no es de carácter ambientalista, sino de protección de una actividad humana, como es la investigación astronómica.

En el caso de la Junta de Andalucía, se explicó cómo y de qué forma se va a incorporar a su ordenamiento jurídico la protección frente a la contaminación lumínica, mediante la Ley de Gestión

Integrada de la Calidad Ambiental, cuyo texto es una compilación revisada y actualizada de la legislación ambiental autonómica. La Dirección General de Prevención y Calidad Ambiental de la Conserjería de Medio Ambiente (DGPCA), está elaborando un borrador para el desarrollo reglamentario de la misma. Por ello, se ha constituido un Comité Científico y Técnico, cuyas funciones son asesorar a la DGPCA en los aspectos técnicos y crear un marco adecuado de la participación de las partes implicadas.

En lo referente a las medidas llevadas a cabo, en la influencia de esta contaminación sobre la biodiversidad, el grupo FERROVIAL destacó la experiencia obtenida de la colaboración entre FERROVIAL y la SHILAP en la autopista de peaje R-4. Este es un caso paradigmático, debido a que esta vía se encuentra muy próxima a una reserva natural, El Regajal-Mar de Ontígola. Esta colaboración empresarial-científica ha desembocado en el descubrimiento de una nueva especie de lepidóptero.

Desde la perspectiva de los pequeños núcleos urbanos, desde la Diputación de Ciudad Real, con una experiencia de más de veinte años, se indica que resulta complicado llevar actuaciones en todos los municipios. Entre otras causas, por el grado de dispersión de los mismos y el coste económico que ello acarrea. Destacan desde su experiencia, que adquiere mucha relevancia el que no se generen diferencias notables en los alumbrados de nueva implantación con los antiguos, y que, frente a una disminución de intensidades, según las últimas reglamentaciones aparecidas, los usuarios perciban ese descenso de forma excesiva y reclamen un aumento. Se debe pues buscar lo "energéticamente sostenible", es decir, un equilibrio entre lúmenes/vatio.

En cuanto a la influencia de la iluminación de carreteras sobre la seguridad vial, la Asociación Española de la Carretera describe que, según un estudio por ellos realizado, una disminución o deficiencia de iluminación en carreteras, incrementa la accidentalidad. Por esto último se concluyó que es necesario alumbrar adecuadamente todo punto negro de las vías rodadas.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

6.1. LUZ, CONTAMINACIÓN LUMÍNICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA:

- a) Contaminación lumínica: 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.
- b) Eficiencia energética: relación entre la cantidad mínima de energía que se emplearía para alcanzar el objetivo previsto en una determinada actividad y la energía realmente consumida por dicha actividad.
- c) Dispersión de luz artificial: fenómeno ocasionado por emisiones directas y fenómenos de reflexión, refracción y transmisión de la luz artificial en materiales de la superficie terrestre o elementos integrantes de la atmósfera.
- d) Espectro visible: rango del espectro de radiación electromagnética al que el ojo humano es sensible.
- e) Intrusión lumínica: invasión del flujo luminoso hacia zonas que exceden del área que se pretende iluminar.
- f) Reflexión de la luz: fenómeno físico que se produce cuando la luz choca contra una superficie de separación entre dos medios con diferente naturaleza y/o estado de agregación y, como consecuencia, cambia de dirección y sigue propagándose por el medio del que provenía.
- g) Refracción de la luz: fenómeno físico que se produce cuando la luz desvía su trayectoria al atravesar una superficie de separación entre dos medios con

diferente naturaleza y/o estado de agregación, y como consecuencia, deja de propagarse por el medio del que provenía y pasa a propagarse por el medio sobre el que incide.

- h) Transmisión de la luz: fenómeno físico que se produce cuando la luz sufre una primera refracción al atravesar una superficie de separación entre dos medios, sigue su camino y vuelve a refractarse al pasar de nuevo al medio original.
- i) Punto de referencia: localizaciones concretas, donde no sólo es necesario el grado de protección estipulado por la zona donde se incluye, sino que necesitan estar rodeados de una zona de influencia adyacente

6.2. PARÁMETROS LUMINOTÉCNICOS:

- a) Rendimiento de una luminaria: relación entre el flujo luminoso total de la luminaria, medido en condiciones prácticas especificadas con sus propios equipos y lámparas, y la suma de los flujos luminosos de estas mismas lámparas cuando están fuera de la luminaria y funcionando con los mismos equipos en las condiciones especificadas.
- b) Depreciación luminosa (F_d): es la relación entre los valores lumínicos (iluminancia y luminancia) a mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores lumínicos iniciales (magnitud adimensional).
- c) Flujo luminoso (F): potencia emitida en forma de radiación visible y evaluada de acuerdo con su efecto sobre un observador fotométrico patrón CIE (su unidad es el lumen).
- d) Flujo hemisférico superior instalado (FHSINST): la

- 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 (magnitud adimensional).
- e) Iluminancia (E): relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente y la superficie sobre la que incide (su unidad es el lux).
 - f) Iluminancia media horizontal (E_m): valor de la iluminancia promedio horizontal de la superficie especificada (su unidad es el lux).
 - g) Iluminancia mínima horizontal ($E_{mín}$): menor valor de la iluminancia horizontal de la superficie especificada (su unidad es el lux).
 - h) Incremento umbral de contraste TI (%): medida de la pérdida de la visibilidad producida por el deslumbramiento perturbador ocasionado por las luminarias instaladas en las vías de tráfico rodado (magnitud adimensional).
 - i) Intensidad de flujo luminoso (I): flujo luminoso por unidad de ángulo sólido (su unidad es la candela).
 - j) Luminancia (L): relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una determinada dirección (su unidad es la candela / m^2).
 - k) Luminancia media (L_m): valor de la luminancia promedio de la superficie especificada (su unidad es la candela / m^2).
 - l) Relación entorno (SR): iluminancia media medida en zonas de 5 metros de ancho, a partir del bordillo de la calzada y del bordillo de la acera. Cuando el ancho de la calzada es inferior a 10 metros, el ancho seleccionado es la mitad de la calzada, y en el caso de calzadas de doble sentido de circulación, ambos carriles son tratados como una sola calzada, a menos

que estén separados en más de 10 metros. La relación entorno asegura que la luz dirigida a los alrededores de un objeto sea suficiente para que éste sea visible con claridad (su unidad es el lux).

- m) Uniformidad global de la luminaria luminancias (U_0): relación entre la luminancia mínima y la luminancia media en la superficie especificada (magnitud adimensional).
- n) Uniformidad longitudinal de luminancias (U_1): relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima en el mismo eje longitudinal de la superficie especificada (magnitud adimensional).
- ñ) Uniformidad media de iluminancias (U_m): relación entre la iluminancia mínima y la iluminancia media de la superficie especificada (magnitud adimensional).

6.3.EQUIPOS DE ALUMBRADO:

- a) Dispositivo luminotécnico de alumbrado exterior: aparato que produce, distribuye, filtra o transforma la luz artificial destinada al alumbrado exterior.
- b) Equipos auxiliares: conjuntos de elementos que hacen posible el encendido, corrección y regulación del nivel luminoso de las fuentes de luz (balastos, condensadores, arrancadores, relojes astronómicos, reguladores, etc.).
- c) Lámpara: dispositivo luminotécnico que produce radiación electromagnética, generalmente visible.
- d) Láser: dispositivo luminotécnico de generación mediante la amplificación de luz por emisión de radiación estimulada.
- e) Led: diodo electroluminiscente.
- f) Luminaria: dispositivo luminotécnico que distribuye

filtra o transforma la luz transmitida desde una o más lámparas y que incluye, excepto las propias lámparas, todas las partes necesarias para fijar y proteger las mismas y, cuando sea necesario, equipos auxiliares junto con los medios de conexión para conectarlos al circuito de alimentación.

- g) Proyector: dispositivo luminotécnico en el cual la luz se concentra en un ángulo sólido determinado por medio de un sistema óptico (espejos o lentes), con el fin de producir una intensidad luminosa elevada en una dirección determinada.
- h) Reflector de lamas: sistema óptico instalado en la luminaria destinado a controlar el flujo hemisférico superior, garantizar la eficiencia energética de la luminaria y disminuir el deslumbramiento.
- i) Sistemas automáticos de encendido, apagado, regulación y control: dispositivos que permiten el funcionamiento de la instalación de alumbrado a régimen variable.
- k) VSBP: lámparas de vapor de sodio de baja presión.
- l) VSAP: lámparas de vapor de sodio de alta presión
- m) VM: Lámpara de vapor de mercurio

LEGISLACIÓN AUTONÓMICA RELACIONADA

Canarias:

- 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 por el que se aprueba el Reglamento de la Ley 31/1988

Cataluña:

- Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno
- Decreto 82/2005 por el que se aprueba el Reglamento que desarrolla la Ley 6/2001

Islas Baleares:

- Ley 3/2005, de 20 de abril, de protección del medio nocturno

Navarra:

- 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

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

Breve introducción sobre aportación por parte de Alberto Contreras de Lucas como representante de Red Eléctrica de España (REE) en el apartado de I+D nuevas tecnologías

La problemática de la Contaminación lumínica en la conservación de la Biodiversidad

I Sesión de trabajo sobre la Contaminación Lumínica
Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya

Marco Legislativo para la Prevención de la Contaminación Luminosa en Catalunya I acciones realizadas por el Departamento de Medio Ambiente y Vivienda de La Generalitat De Catalunya. Sra. Mercè Terradellas i Vilaró; Sr. Lluís Gustems i Romeo. Oficina per a la prevenció de la contaminació lluminosa. Direcció General de Qualitat Ambiental. Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya.

Protección de la calidad del cielo frente a la contaminación lumínica. Acciones llevadas a cabo por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. OCTUBRE 2006

Alfons G. Dolsa, M^a Teresa Albarrán, 29 de julio del 1998

Traducción al castellano: Ferran Casarramona 6 de octubre de 2003

Los mapas lumínicos como herramientas para la gestión sostenible del alumbrado en municipios, Guillermo Leira

Nogales, Colexio Oficial de Enxeñeiros Técnicos Industriais de A Coruña

Iluminación Dinámica (1) Introducción, Conceptos, Tecnología

Gorm Teichert, Jesse Lilley, Eduard Baro, Alfred Sa, (CEISP)

Alumbrado de carretera: ¿garantía de seguridad?, Ángel Calero Torroba (CEISP)

“Nuevas posibilidades de iluminación con LEDs” Werner Diewand.

“Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012, Sector Servicios Públicos”, publicada por el Ministerio de Economía.

“Principales cifras de la siniestralidad vial 2004”, publicado por la Dirección General de Tráfico

Memoria Anual 2005 de REE.

PÁGINAS WEB Y OTRAS REFERENCIAS

Ministerio de Medioambiente <http://www.mma.es>

Oficina Técnica del Instituto de Astrofísica de Canarias

IDAE www.idae.es

Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya http://mediambient.gencat.net/cat/el_medi/atmosfera/lluminosa/inici.jsp

Comité Español de Iluminación <http://www.ceisp.com/>

Universidad de Zaragoza www.unizar.es

Ayuntamiento de las Palmas de Gran Canarias

www.indalux.es

www.osram.es

www.philips.es

www.aven.es

Campaña cielo oscuro Cantabria

Oficina Técnica para la Protección del Cielo Oscuro.
Diario Información de Alicante 21/04/02

www.silix.net

www.telvent.com/es/

www.etra.es

www.pamplonetario.org

www.celfosc.org

www.astrogranada.com



FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO
DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

del COITI de Alicante
DE LA COMUNIDAD VALENCIANA