

III SEMINARIO SOBRE ACTIVIDADES ESPACIALES Y DERECHO

MADRID 2013

**III SEMINARIO SOBRE ACTIVIDADES
ESPACIALES Y DERECHO
MADRID 2013**

INSTITUTO IBEROAMERICANO
DE DERECHO AERONÁUTICO Y DEL ESPACIO,
Y DE LA AVIACIÓN COMERCIAL
Organismo Consultivo de Naciones Unidas

MADRID, 2013

SEXTA PONENCIA

DERECHO A LAS ESTRELLAS: CULTURA ESPACIAL Y CALIDAD DEL CIELO NOCTURNO

Por D. Carlos Herranz Dorremochea
*Físico. Responsable de Comunicación
del Colegio Oficial de Físicos.
Miembro de la Red Española de Estudios
sobre la Contaminación lumínica*

*Cuando miro de noche en el fondo
oscuro del cielo
las estrellas temblar como ardientes
pupilas de fuego,
me parece posible a dó brillan
subir en un vuelo
y anegarme en su luz, y con ellas
en lumbre encendido
fundirme en un beso*

Gustavo Adolfo Bécquer

Rimas, 1871

*El hombre no permanecerá siempre en la Tierra;
su búsqueda en pos de la luz y el cosmos le conducirá
a penetrar los límites de la atmósfera, tímidamente al
principio, para conquistar al fin todo el espacio solar.*

Konstantín Eduárdovich Tsiolkovski

Carta a Boris Nikitin Vorobiev, 1911

*Los cielos, que han sido y son una inspiración para
toda la Humanidad, están empezando a desaparecer
e, incluso, a resultar desconocidos para las
generaciones más jóvenes. Se está perdiendo
rápidamente un elemento esencial de nuestra
civilización y cultura y esta pérdida afectará a todos
los países de la Tierra.*

IAU / ICSU / UNESCO

*Declaración sobre la reducción de impactos
ambientales adversos para la astronomía, 1992*

LA LLAMADA DE LA GALAXIA

El anhelo de los viajes al espacio tiene sus orígenes en los cielos de la Tierra. De igual modo que la contemplación del profundo azul del océano desde la orilla de la playa dio velas a los sueños en otros continentes, la inmensidad del cosmos ha sido también una invitación a ir a su encuentro desde tiempos remotos. Cabe imaginar a los clanes nómadas de los primeros humanos reunidos alrededor de un fuego al caer la noche, señalando esos innumerables «fuegos» lejanos que cubrían su cielo raso. ¿Habría, quizás, otros «clanes» también allá arriba? Cuando apenas quedan hoy en nuestro planeta ámbitos por explorar, el espacio exterior constituye esa última frontera a la que nos asomamos en esta época, siquiera tímidamente, para expandir los límites de lo accesible y, quizás, encontrar un día compañía en el universo.

En nuestra natural impaciencia, los relatos de ficción fueron el cauce preferido para especular, divulgar y propiciar el debate sobre la posibilidad del viaje espacial. Aunque fueran frecuentes en la literatura desde los comienzos de nuestra era, las fantasías interplanetarias experimentaron una gran eclosión a partir de mediados del siglo XIX, fuertemente inspirados en los progresos de la ciencia y en la constatación de una pluralidad de mundos. La divulgación popular de los descubrimientos astronómicos sobre los planetas y de los estudios preliminares de sus características y condiciones de habitabilidad –a menudo llenos de engañosa inventiva– contribuyó a que estas novelas encontraran aceptación entre la imaginación de un público amplio. En las últimas décadas del siglo, la esperanza en sociedades utópicas en las que eludir los problemas y enfrentamientos sociales (quizás posible en otras «Tierras») y en la liberación de toda cadena y opresión (donde escapar a la gravedad



Figura 1. La Vía Láctea se muestra en todo su esplendor en un firmamento casi natural (*Daniel López / El Cielo de Canarias*).

representaba la aspiración última de esa libertad) dieron nuevo impulso a su popularidad y aportaron una dimensión filosófica a su contenido lúdico o técnico.

Según sus propios testimonios, aquellas extraordinarias lecturas que hoy llamaríamos de ciencia-ficción impactaron en la adolescencia y juventud de muchos visionarios y pioneros de la astronáutica. Con el cambio de siglo, la fascinación ante los rápidos desarrollos en las *nuevas tecnologías* del momento, sobre todo la aeronáutica, tuvo el efecto de espolear en aquellos la firme creencia en la posibilidad del siguiente paso lógico, la navegación espacial. Y con este estímulo surgieron las primeras redes informales y luego asociaciones estables de aficionados que, entrado ya el siglo XX, aunaron esfuerzos para mantener vivo el sueño. Pronto se pudo pasar del papel al taller y a la plataforma de lanzamiento, hasta que el interés militar en la incipiente técnica de los cohetes impuso sus propias prioridades.

A lo largo de este simplificado curso de acontecimientos, las redes de iluminación eléctrica extendían poco a poco su hegemonía sobre los sistemas de alumbrado de combustión de gas. Pero aquellos hombres y mujeres de distintas culturas y países entregados en cuerpo y alma a la ambición del viaje espacial tuvieron la oportunidad de compartir una visión cotidiana de la bóveda celeste en todo su esplendor. El fulgor centelleante de las estrellas en un cielo aún límpido, que inspiró a pintores y poetas, fue también reclamo y faro en los albores de la astronáutica.

NUESTRA VENTANA AL UNIVERSO: EL ESPACIO DESDE LA TIERRA NOCTURNA

La posibilidad de experimentar de algún modo el entorno para comprenderlo y hacerlo más cercano es una de las características de las ciencias de la naturaleza y, en este sentido, el observador del cielo es un naturalista más que se acerca a la noche para encontrar los objetos de su interés. No en vano, el firmamento tachonado de estrellas es el mayor paisaje de la naturaleza al que tenemos acceso en nuestras vidas. En noches despejadas y sin luna, al ir poniéndose el sol se abre ante nuestros ojos un panorama sobrecogedor de los alrededores de la galaxia en la que nos encontramos inmersos junto con el Sol y toda su cohorte de mundos. A lo largo de la noche, y de una noche a otra, este paisaje en apariencia apacible e inamovible cambia y suscita nuestra natural curiosidad. A veces de manera majestuosa e imperceptible,



Figura 2. En un entorno urbano resulta casi imposible ocultarse de las luces artificiales para poder observar el firmamento (*Astronomía na Beirarrúa*).

como el vagabundear de los planetas entre las estrellas del fondo, y otras de forma inesperada y repentina, como cuando la Tierra barre en su órbita a un enjambre de meteoroides que penetran en la atmósfera en forma de estrellas fugaces.

Es sorprendente todo lo que podemos ver en el cielo nocturno, ya sea a simple vista o con la ayuda de unos simples prismáticos: las cordilleras de la Luna, los planetas y sus satélites, las constelaciones, estrellas de colores diversos, cúmulos, nebulosas o galaxias. Sin embargo, lo más



Figura 3. La noche cerrada ya no existe en las inmediaciones de áreas urbanas. En la imagen, Pamplona a medianoche desde varios kilómetros de distancia. Las nubes potencian el alcance del resplandor asociado (F. Jáuregui / *Cel Oscuro*).

propio de la noche no son las estrellas, sino la falta de claridad. Así como de día vemos el aire de la atmósfera de la Tierra brillando con su familiar tono azul (que hasta da adjetivo a este color), de noche no existe una fuente luminosa natural tan potente para que se haga evidente nuestra vital envoltura gaseosa. Solo en las noches de luna llena el cielo llega a mostrarse con un azul marino intenso que delata su presencia. Así pues, lo característico de las noches despejadas es que apenas vemos el aire y, por tanto, podemos ver lo que hay detrás. Es, por así decirlo, una ventana abierta al espacio.

Durante la mayor parte de nuestra historia, las estrellas y la banda de la Vía Láctea (el perfil de nuestra galaxia vista desde dentro) han sido una compañía cotidiana, sirviendo de frecuente inspiración y guía a exploradores, artistas, filósofos y científicos, hasta el punto de que la necesidad de interpretar de modo adecuado la observación de los fenómenos del firmamento ha sido la causa de profundas revoluciones en la historia del pensamiento. Fueron los astros los que posibilitaron además la medida precisa del tiempo, la orientación y la navegación. De la observación de sus movimientos surgiría asimismo la formulación de la mecánica celeste, que fundamentó la idea misma y el desarrollo práctico de la astronáutica.

Hoy en día, sin embargo, resulta paradójico que tengamos acceso por los medios de comunicación –especialmente a través de Internet– a los últimos descubrimientos de la astrofísica o de la exploración espacial, mientras tenemos tan atrofiada nuestra capacidad de experiencia en este ámbito. El cielo nos parece lejano e inaccesible y ya no capta nuestro interés, porque la visión de las estrellas ha ido quedando enmascarada tras una suerte de marea blanca que la contamina y cuyo avance ha resultado imparable, especialmente con el advenimiento de la iluminación eléctrica asequible, como si se tratase de un precio inevitable a pagar por nuestro desarrollo y bienestar. Cuando percibimos el resplandor de una ciudad, que se ha convertido en el invitado no deseado de nuestras noches, de nuevo lo que estamos viendo es el aire de nuestra atmósfera, iluminado con un color entre anaranjado y lechoso, dependiendo del tipo de luz que emitan las farolas y focos. Y ello significa que se cierra nuestra ventana al exterior.

Curiosamente, en ocasiones también es posible llegar a *ver* el espacio, allí donde la alta atmósfera se diluye antes de dejar paso casi al vacío. Las partículas del llamado viento solar son desviadas por el campo magnético terrestre hacia las zonas polares y, especialmente

cuando su afluencia en los máximos de actividad solar es más abundante, se producen los vistosos fenómenos luminosos conocidos como auroras, cuando esas partículas (sobretudo protones muy energéticos) impactan contra los átomos de la alta atmósfera a unos pocos centenares de kilómetros de altura. Así, estos átomos se calientan y emiten luz por el exceso de energía recibida, haciendo que el espacio brille con colores diversos que son característicos para cada altura (pues están relacionados con la distinta distribución de los átomos). El consiguiente espectáculo, muy sutil, solo es visible de noche, normalmente en latitudes cercanas a las regiones polares, así como desde el mismo espacio, donde los astronautas incluso tienen la ocasión de pasar a su través. Hoy en día, cuando las perspectivas de auroras son favorables, en lugares como Islandia las autoridades han de autorizar el apagado de los alumbrados públicos (y animar a los particulares a hacer lo propio) para que, al menos durante un rato, los ciudadanos puedan disfrutar de unas condiciones aceptables para su contemplación, reduciendo un tanto la luz parásita que proviene de farolas y focos.

Siempre habrá quien lo considere la menor de las pérdidas, pero es lamentable que un paisaje tan sugerente y hermoso como el firmamento negro tachonado de miles de estrellas desaparezca sin más de nuestras vidas para convertirse en una rareza, a visitar quizás por vacaciones en algún remoto país despoblado o en una reserva natural protegida. Lo cierto es que ya tenemos en las aulas de nuestras universidades la primera generación de ciudadanos que no cuentan entre sus vivencias con la sobrecogedora contemplación del espectáculo natural de la galaxia que nos envuelve, capaz de suscitar la constatación personal de sentirse parte del cosmos. Debería resultar evidente el empobrecimiento cultural que esto conlleva para nuestra sociedad. En su aparente delicadeza las estrellas nos aportan buenas dosis de humildad y son, de hecho, un recuerdo perenne de nuestro origen. Como gustaba recordar el astrónomo y divulgador Carl Edward Sagan (1934-1996), «estamos hechos de materia de estrellas».

LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA DE LA ATMÓSFERA

El alumbrado de exteriores constituye, sin duda, un triunfo tecnológico y una conquista social, que ha permitido extender la actividad laboral o de ocio a las 24 horas, con innegables ventajas que durante mucho tiempo han eclipsado a los perjuicios asociados. Este fenómeno de contaminación por luz es origen de un amplio abanico de problemas, algunos de los cuales apenas se han comenzado a documentar por los científicos expertos en los diversos campos implicados, y se trata de un concepto aún mal comprendido en algunos ámbitos. En general, por *contaminación lumínica* se entiende la introducción directa o indirecta de luz artificial al entorno, con la consiguiente alteración de la oscuridad natural del medio nocturno. Desde un punto de vista práctico, cabe definirla como la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones, horarios o rangos espectrales inadecuados para las actividades previstas en la zona en que se han instalado las luminarias.

Es un error común pensar que es un fenómeno restringido a las ciudades, como ocurre con la contaminación acústica o la del aire. En ausencia de obstáculos, la luz de las poblaciones se esparce por la atmósfera de igual modo que hace la luz del Sol durante el día, rebotando de molécula en molécula (esparcimiento de Rayleigh), creando así inmensos halos luminosos hasta más de doscientos kilómetros en derredor y provocándose un efecto de adición que ha extendido el fenómeno en mayor o menor medida a todo el territorio. Por su parte, la bruma y la contaminación del aire de las ciudades por partículas (aerosoles en suspensión) no hace sino amplificar estos resplandores (esparcimiento de Mie). En ambos

casos la luz azul (longitudes de onda corta) experimenta un mayor efecto que la luz roja (longitudes de onda larga), esparciéndose como mínimo cuatro veces más en el caso de un aire puro sin aerosoles. Como se verá, esta realidad física no puede dejarse de lado a la hora de considerar qué alumbrado es más adecuado o menos contaminante.

La consecuencia más comprobable y mejor conocida de la contaminación lumínica es que, a causa de este resplandor de origen artificial en la atmósfera, se obstruye la visión del cielo nocturno para la mayoría de la población de los países desarrollados. Se estima que en nuestro país en torno al 70% de los habitantes vivimos en áreas desde donde la Vía Láctea ya no es visible. En realidad, desde la mayoría de los centros urbanos apenas se ven ya habitualmente unas cuantas estrellas y cerca del 40% de la población ni siquiera puede ver el cielo con adaptación a la visión nocturna (visión escotópica) a causa de su claridad. Esta pérdida de un patrimonio natural y de un recurso cultural y de ocio constriñe además el desarrollo de un turismo astronómico, de gran potencial en nuestro país, y condiciona la observación científica del universo en los observatorios astronómicos. En efecto, en el aspecto profesional de la astronomía el impacto de este fenómeno es devastador, pues ocasiona graves dificultades para la observación sistemática de los fenómenos del firmamento. La luz artificial provoca una disminución del contraste de las imágenes, y algunas frecuencias luminosas de los astros que se desean estudiar, cuando coinciden con las artificiales, quedan completamente enmascaradas. Es desolador pensar cómo, tras haber viajado a través de increíbles distancias, la frágil luz de galaxias remotas pueda perderse al final de su viaje en el resplandor inútil de nuestro propio cielo.

Conviene señalar que el cielo no es totalmente negro ni en las mejores condiciones de observación. La luz solar esparcida por la materia interplanetaria (luz zodiacal), junto a la que emite la alta atmósfera (por las sacudidas energéticas de los átomos, sometidos a la fuerte radiación del Sol durante el día), así como la que proviene del conjunto de estrellas y galaxias, incluso si son demasiado débiles para que podamos verlas individualmente, producen un fondo luminoso no despreciable para un moderno detector astronómico, aunque apenas si es discernible a simple vista para un ojo entrenado. Esto constituye un límite a la visibilidad de los astros débiles, y es lo que se denomina luz natural del cielo nocturno (véase tabla 1).

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

Tabla 1. Niveles de iluminación aproximados (modificada de RICH 2006 y OTPC).

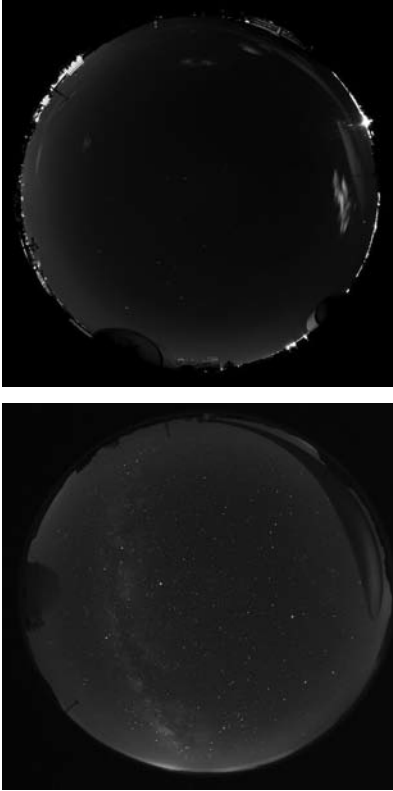


Figura 4. Imágenes del cielo completo tomadas con un monitor ASTMON, que mide el brillo del fondo del cielo: arriba, desde el Observatorio de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid; abajo, desde el Observatorio de Calar Alto (Sierra de Los Filabres, Almería) (*UCM / CAHA*).

En todas partes del mundo la contaminación lumínica amenaza directamente la rentabilidad y hasta la supervivencia de aquellos observatorios astronómicos ubicados en las inmediaciones de núcleos urbanos, y afecta sensiblemente a los situados en lugares más apartados. Desde hace décadas, los observatorios existentes han sido progresivamente envueltos por una zona urbana en expansión y han tenido que ser cambiados de lugar, creando nuevos observatorios en zonas poco pobladas. En España este ha sido el caso del Centro Astronómico de Yebes, en la provincia de Guadalajara, donde se trasladaron todas las actividades de observación del cielo del Observatorio Astronómico Nacional con sede en Madrid (y que, finalmente, ya ni siquiera puede realizar observaciones ópticas y se ha especializado solo en radioastronomía). O, también, del Observatorio de Sierra Nevada, donde el Instituto de Astrofísica de Andalucía transfirió sus telescopios desde la localización anterior del antiguo Observatorio de Cartuja, más cercano a Granada.

Lo cierto es que la tendencia de los astrónomos ha sido huir resignadamente del problema hasta que, una vez confinados a los mejores enclaves disponibles, se ha hecho imprescindible alzar la voz para procurar su protección y poder asegurar así para el futuro la calidad de sus cielos en el estado más natural posible. La astronomía mediante observatorios espaciales, que la astronáutica vino a hacer posible muy pronto, ha proporcionado una nueva vía de escape al problema de la contaminación lumínica y es, de hecho, imprescindible para algunos rangos espectrales como los

rayos X o el infrarrojo (que son absorbidos mayormente en la atmósfera). Pero no es factible pensar en trasladar toda la actividad astronómica profesional de un país o de todos los países al espacio, dado su alto coste y la competencia por asegurarse tiempo de observación, lo cual la hace prácticamente inaccesible a muchos astrónomos con menos experiencia o prestigio (por no mencionar la necesidad de realización de prácticas por parte de estudiantes de grado y de postgrado).

La contaminación lumínica tiene también una incidencia directa sobre la vigilancia del entorno espacial de la Tierra, en concreto en relación con la monitorización de basura orbital y con la búsqueda de asteroides en trayectorias cercanas a la Tierra. En el primer caso se trata de caracterizar con precisión el ambiente espacial para la protección de los satélites operativos y las estaciones tripuladas de posibles colisiones, así como poder predecir al máximo las condiciones de los reingresos en la atmósfera de satélites y astronaves al final de su vida, todos ellos riesgos nada desdeñables, como ha venido demostrando ya la historia de la astronáutica. La detección y el seguimiento de estos desechos se realiza tanto mediante radar como mediante sistemas ópticos que registran regularmente el brillo (por reflexión de luz solar) y el movimiento de los fragmentos, a menudo de pequeño tamaño o baja reflectividad, por lo que la

calidad de las observaciones depende de la disponibilidad de un cielo despejado y oscuro. No por casualidad, la Agencia Europea del Espacio dispone de una estación de observación óptica que utiliza en parte para esta tarea, situada en el complejo de telescopios del Observatorio del Teide, en la isla de Tenerife. Sin embargo, aunque elevado y aislado, este observatorio no goza de una protección estricta frente a los estridentes alumbrados procedentes de las poblaciones de la costa (lo que sí ocurre con su vecino Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma).

El descubrimiento de asteroides con riesgo de impacto con nuestro planeta se ha convertido igualmente en una prioridad, como se puso dramáticamente de manifiesto con el suceso de Chelyábinsk (Federación Rusa) el 15 de febrero de 2013. De forma totalmente inadvertida, el ingreso en la atmósfera terrestre de un gran meteoróide con un diámetro de casi 20 metros y una masa estimada de 10.000 toneladas liberó una energía equivalente a unos 500 kilotonnes de TNT al explotar a una altura de unos 23 kilómetros sobre dicha población. En cuestión de pocos segundos unas 1.500 personas resultaron heridas debido a la rotura de cristales, carpinterías, techos y paredes por la tremenda onda expansiva que ocasionó (también por quemaduras oculares y en la piel debido al intenso brillo, superior en 30 veces al del Sol). Se calcula que hay cientos de miles de objetos de este tipo en las proximidades de la órbita terrestre, cuyo conocimiento previo haría posible el establecimiento de medidas de precaución para la población afectada o incluso una posible demolición o desviación de sus trayectorias antes del impacto.

Uno de los descubrimientos más célebres en este campo ha sido el de otro asteroide, el 2012 DA 14, con la predicción de que al año siguiente –precisamente ese mismo 15 de febrero de 2013– pasaría a 27.000 km de la Tierra, una distancia más próxima que la de la órbita de los satélites geoestacionarios. El descubrimiento de este asteroide de 45 m de diámetro se realizó desde España en el Observatorio de La Sagra, en la provincia de Granada, en un



Figura 5. Estación Óptica Terrestre de la Agencia Europea del Espacio en el Observatorio del Teide. Inicialmente construida para la investigación de las comunicaciones ópticas entre satélites, actualmente se utiliza también para la vigilancia de basura espacial en las inmediaciones de la órbita geoestacionaria (ESA).

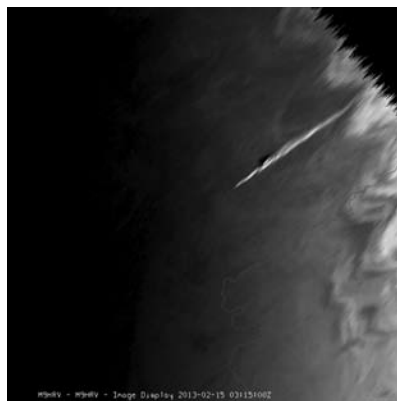


Figura 6. Meteoróide de Chelyábinsk, visto desde un satélite meteorológico (izquierda) y desde tierra (derecha) (EUMETSAT / A. Alishevskikh).

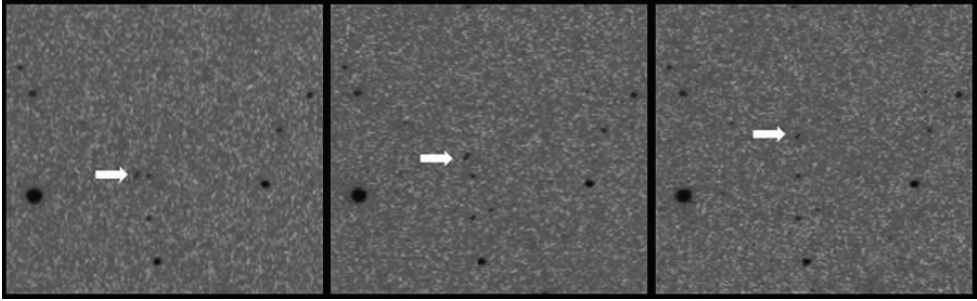


Figura 7. Registro desde el Observatorio de La Sagra del asteroide 2012 DA14 moviéndose sobre el fondo de estrellas. La detección de objetos tan débiles no es posible desde cielos contaminados (*La Sagra Sky Survey / OAM*).

entorno casi libre de contaminación lumínica, dentro de un proyecto privado puesto en marcha por el Observatorio Astronómico de Mallorca. Gracias, en parte, a una subvención de la Planetary Society (que fundó Sagan con otros colegas a comienzos de los años 80 del pasado siglo), este observatorio se ha convertido en uno de los más prolíficos en la búsqueda de asteroides cercanos a la Tierra, únicamente superado por los programas de monitorización encargados por la propia NASA, y ha empezado también campañas de observación de chatarra espacial, dado que el seguimiento de ambos tipos de objetos –de débil brillo y en rápido movimiento sobre el fondo de estrellas– tiene mucha similitud. No obstante, el Observatorio de La Sagra no dispone todavía del reconocimiento especial como punto de referencia que podría garantizarle la normativa andaluza de protección de la calidad del cielo nocturno (a diferencia de otros observatorios importantes también en territorio andaluz como el Observatorio de Calar Alto o el de Sierra Nevada), por lo que la calidad de su excelente trabajo podría verse afectada en el futuro al albur de proyectos urbanísticos o instalaciones industriales o turísticas en sus proximidades.

La contaminación lumínica representa un obstáculo para una vigilancia más eficaz y continua de estos asteroides peligrosos, debido a la escasez de enclaves adecuados en los países que precisamente se pueden permitir esta actividad preventiva. Actualmente la mejor inversión en defensa ante asteroides no es tanto en las posibles (y aún exóticas) armas espaciales para desviarlos, sino en telescopios (terrestres y espaciales) y en las campañas para su localización, pues la detección temprana es clave. Como ya ocurre con otras catástrofes naturales inevitables como los huracanes o los tsunamis, una alerta de evacuación a tiempo podría salvar muchas vidas ante impactos de pequeños asteroides. Este asunto podría obtener una mayor atención en el inmediato futuro, pues las Naciones Unidas han dispuesto a finales de 2013 dar los primeros pasos para el establecimiento de un Grupo Internacional de Alerta de Asteroides. Como desgraciadamente ha demostrado el suceso de Chelyábinsk, ignorar lo que sucede en el cielo nos hace más vulnerables. No parece lógico añadir dificultades artificiales a una tarea que supone un reto ya de por sí.

EL IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL DEL ALUMBRADO

Además de un problema astronómico y para la vigilancia del espacio, la contaminación lumínica se ha convertido ya en un problema ambiental y social de primer orden, con diversas consecuencias ecológicas, económicas, sobre la seguridad y sobre la salud.



Figura 8. Noche en el Parque Natural de La Albufera (Valencia). A pesar de que la iluminación dentro del parque está regulada por una ordenanza especial, las luces de las poblaciones e industrias circundantes lo invaden sin remedio ocasionando un grave impacto ambiental (*J. Domingo*).

En el aspecto ecológico la introducción de luz deteriora el paisaje nocturno, modificando los hábitats y alterando los ritmos biológicos a los seres vivos. Es un hecho poco conocido que la mayor parte de las especies animales son de costumbres nocturnas. Además afecta al desarrollo de las plantas, a la reproducción y a la cría de invertebrados y vertebrados, a los patrones migratorios de muchos animales y al equilibrio presa-depredador entre especies. La luz artificial provoca un efecto de barrera en muchos animales, con la consiguiente parcelación del territorio y empobrecimiento de la biodiversidad. Se han documentado efectos perjudiciales sobre muchas especies de distintos grupos de animales. Unos 100 millones de aves mueren cada año por colisiones con estructuras y edificios iluminados solamente en Norteamérica. Uno de los casos más preocupantes es el de los insectos, el grupo zoológico más numeroso en los ecosistemas terrestres y alimento base para el resto de la cadena trófica, con funciones tan vitales como la polinización de las plantas. Otros organismos sufren su propia problemática al desaparecer su modo de comunicación especializado y, con ello, nos perdemos también el espectáculo natural de las luciérnagas o del mar brillando en la oscuridad con millones de microorganismos bioluminiscentes. En general, la luz blanca es varias veces más dañina para el mundo animal que la luz amarilla o anaranjada, lo que debe tenerse muy en cuenta en la iluminación de zonas rurales o en zonas de alto valor ambiental.

No cabe olvidar que los alumbrados consumen, además, ingentes cantidades de energía, lo que contribuye a la generación de residuos de larga duración –radiactivos o de gases de invernadero– que tienen sus propios problemas ecológicos asociados como es una importante contribución al cambio climático de origen antropogénico. En el ámbito económico, se derrocha si se ilumina en exceso o hacia el cielo o cuando nadie lo necesita. Sin considerar los alumbrados privados, en plena crisis presupuestaria de las administraciones públicas la principal partida de gastos comunes para cualquier ayuntamiento es el alumbrado público, y el potencial de ahorro en este ámbito se sitúa en más del 50% sin merma en la calidad del servicio, una circunstancia que debiera ser tenida muy en cuenta a la hora de priorizar las soluciones a este problema.

Un mal uso de la iluminación puede ser origen también de los mismos problemas de seguridad vial y ciudadana que pretende prevenir, pues aunque proporciona sensación de seguridad también produce con frecuencia fatiga visual, deslumbramientos, transiciones repentinas entre zonas en sombra y otras sobreiluminadas y una relajación de la alerta en la conducción, todo lo cual contribuye a situaciones de riesgo. Por razones económicas, en

autopistas francesas y belgas se ha procedido recientemente al apagado parcial o completo de la iluminación, sin que por ello se hayan disparado los accidentes. Antes al contrario, se ha observado que los conductores adoptan actitudes más precavidas y moderan su velocidad, lográndose el efecto opuesto, con una mayor seguridad en el tráfico. Estas y otras experiencias similares, en combinación con un análisis estadístico riguroso, han desmontado el mito de la necesidad de alumbrado para la seguridad vial (tan frecuentemente esgrimido desde la industria luminotécnica).

Por otro lado, y también contrariamente a la creencia general, no existen tampoco estudios que demuestren una relación directa entre más iluminación y menos delincuencia. De hecho, la luz mal dirigida o deslumbrante dificulta, por ejemplo, el control social de la delincuencia o el buen rendimiento de las cámaras de seguridad. El apagado de pueblos y barrios a partir de cierta hora de la noche que se viene llevando a cabo de manera selectiva en Reino Unido y Francia (motivado por la crisis económica y la necesidad de reducir la huella de carbono) ha satisfecho por completo a autoridades y cuerpos de policía acerca de la factibilidad de estas medidas y pone de manifiesto la irracionalidad en que se sustentaba también este mito. Lo que sí existe es una relación clara entre más iluminación y mayor sensación de seguridad en la población, un factor que ha influido de manera muy perjudicial en un incorrecto planteamiento de los alumbrados en muchas poblaciones, ejecutados exclusivamente a capricho de alcaldes o concejales con un interés populista y sin criterio luminotécnico alguno.

Por sorprendente que pueda parecer, la contaminación lumínica tampoco es inocua para los seres humanos. El ciclo natural de luz/oscuridad en que se ha desarrollado nuestra especie durante millones de años de evolución se ha alterado de modo drástico en menos de un siglo. La intrusión lumínica en nuestros domicilios y el sometimiento a un régimen de iluminación intensiva de 24 horas interfiere también –como seres vivos que somos– con nuestro ritmo circadiano, pues es capaz de suprimir la producción de la hormona melatonina, que es el principal sincronizador de nuestros relojes internos. Esta hormona se segrega únicamente en oscuridad y su presencia en sangre tiene una importancia vital a largo plazo. Su falta origina dificultades en el sueño y estrés, y se investiga activamente su relación con enfermedades como la diabetes, la obesidad, la depresión, problemas de reproducción y tumores cancerígenos (especialmente mama, próstata y colorrectal). Esto constituye un riesgo de salud hasta el punto que la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) concluyó en 2007 que el trabajo a turnos que implique disfunción circadiana es probablemente carcinogénico para las personas. Esta disfunción es provocada especialmente



Figura 9. Efecto sobre los insectos de un farol sin apantallar y con lámpara de luz blanca (J.J. Negro / EBD-CSIC).

por la radiación azul, que se está introduciendo hoy día a gran escala con los LED de luz blanca fría cada vez más usados para la iluminación de exteriores –y también de interiores– pero también en las pantallas de muchos dispositivos electrónicos de uso común (tabletas, móviles, consolas), sobre cuyo uso continuado de noche los expertos recomiendan ya moderación o incluso el uso de filtros o gafas especiales (o, también, programas informáticos que enrojecen la pantalla de forma acompasada con la hora del día).

La rama científica que aborda todos estos fenómenos es la cronobiología, una disciplina que está adquiriendo cada vez más presencia en el campo de la salud global, y cuyos avances encuentran aplicación también en las actividades espaciales. En efecto, la evidencia de los vuelos al espacio muestra que los astronautas están sometidos de forma regular a desincronización de sus periodos de sueño y vela, largas jornadas laborales, con tareas complejas y pérdida de sueño. También los equipos de apoyo en tierra, tanto de los vuelos tripulados como de las misiones robóticas, sufren efectos parecidos, por lo que las agencias espaciales están tomándose cada vez más en serio la recogida sistemática de datos y, en concreto, la necesidad de mejorar la calidad del ambiente de las actuales estaciones espaciales y de las futuras astronaves interplanetarias en lo que a la iluminación interior se refiere.

UN PLANETA CON LUZ PROPIA: LA TIERRA NOCTURNA DESDE EL ESPACIO

Visto desde la órbita terrestre, la Tierra es otro espectáculo de luces, en este caso para los astronautas en la *Estación Espacial Internacional*, que disfrutan de una vista única. En la parte oscura de la órbita, cuando no se ven cegados por la luz del Sol, se distinguen a la perfección las tormentas con los destellos de sus relámpagos, las auroras boreales y australes, el brillo natural de la atmósfera, las entradas de meteoros, los incendios de bosques y, también, todas las luces de las ciudades y las actividades humanas. Cada ciudad o área metropolitana tiene una mancha luminosa característica, que algunos astronautas aprenden a reconocer.

Desde hace varias décadas se dispone de datos de la radiación emitida hacia arriba mediante los satélites meteorológicos *DMSP* del Departamento de Defensa estadounidense con una cobertura global, pues se diseñaron para observar las nubes de noche incluso con los bajos niveles de luz proporcionada por la luna. A la hora de estudiar la cantidad de luz que registra un satélite hay dos sesgos importantes, como son la saturación de la imagen (que impide medir con fiabilidad, por ejemplo, los centros de las grandes ciudades) y la



Figura 10. La *Estación Espacial Internacional*, con sendas naves Soyuz y Progress acopladas, pasa de noche en abril de 2012 a unos 400 kilómetros sobre el norte de Francia, Bélgica y Holanda. A la derecha de la imagen, el paso de Calais y Gran Bretaña (André Kuipers /ESA / NASA).

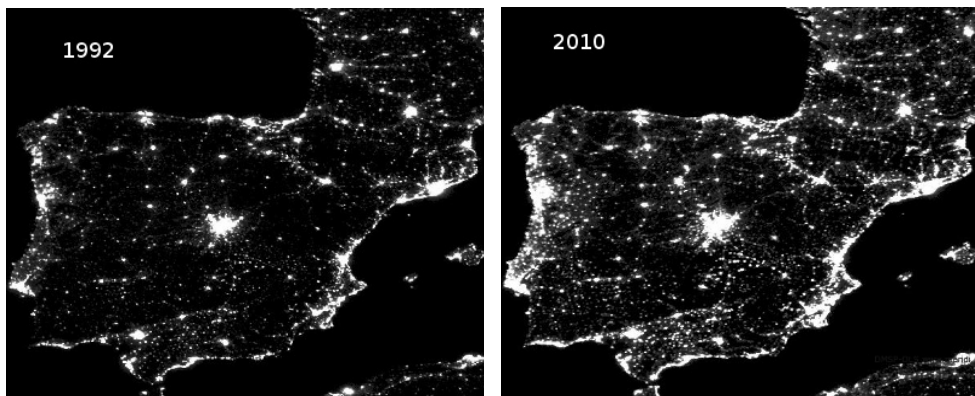


Figura 11. Evolución de la contaminación lumínica en la península Ibérica registrada a partir de datos de satélite (*DMSP / NOAA / J. Gómez Castaño*).

distribución de la población, que es distinta para cada país (lo que dificulta extraer consecuencias de la comparación directa de imágenes). Para evitarlo, es útil medir el área iluminada de las imágenes y compararla con el área construida (que es la que tiene sentido iluminar, en general). A partir de este enfoque, en la actualidad, y tras cotejarlo con las estadísticas oficiales de consumo eléctrico para alumbrado público, ya es posible conocer la relación entre el brillo registrado desde el espacio y el consumo en tierra.

Estos estudios vienen siendo realizados por astrofísicos de la Universidad Complutense de Madrid, y han permitido reconstruir la evolución del gasto en alumbrado público en



Figura 12. Fotografía nocturna de Madrid tomada en febrero de 2012 desde la *ISS* (Image Science and Analysis Laboratory / NASA-JSC).

España, poniendo incluso de manifiesto la incorrección de las estadísticas oficiales de años recientes. Si bien en estas imágenes por satélite nuestro país no parece sufrir una contaminación lumínica mayor que otros de nuestro entorno, lo cierto es que, al tener una de las densidades de población más bajas de la Unión Europea, se ha descubierto que resulta ser el país que más gasta en alumbrado por habitante y que mayor potencia por farola emplea. En 2012 el gasto fue de unos 830 millones de euros. Si se tiene en cuenta que esa misma cifra para 2007 era de 450 millones de euros, esto supone que casi se haya doblado en tan solo cinco años, pese a la escasa variación de la población española durante el mismo periodo. Así, el consumo anual por habitante a lo largo de 2012 alcanzó los 113 kWh, muy superior al objetivo previsto en el Plan de Eficiencia Energética 2004-2012 del gobierno central (que era de 75 kWh). Esta situación nos sitúa también muy lejos de los 91 kWh y 43 kWh de Francia y Alemania, respectivamente (dos países poco sospechosos de atraso o de inseguridad).

Estos mismos investigadores están trabajando ahora en la calibración de las fotografías tomadas por los astronautas desde la *Estación Espacial Internacional (ISS)* para su uso científico (y no solo estético). Como ventaja añadida, estas fotografías digitales muestran información del color, a diferencia de los sensores anteriormente disponibles en los satélites, lo que permite también caracterizar el tipo de iluminación usada y su diferente eficiencia e impacto ambiental. Para ello la Agencia Europea del Espacio ha instalado dentro del módulo de observación *Cupola* de la *ISS* un banco de sujeción especialmente diseñado para compensar su movimiento orbital y poder obtener así fotografías de gran calidad y enfoque. Se trata de estudios pioneros que hacen un uso insospechado de la teledetección espacial para el estudio de nuestra huella sobre el planeta, ahora también de noche. Como ha llegado a suceder, por ejemplo, con la utilidad de las imágenes por teledetección para el control de cultivos o vegetación, el análisis de imágenes por satélite de las áreas iluminadas se ha convertido en un método más fiable para conocer el gasto en iluminación de exteriores que la propia recogida de datos que realiza el Ministerio de Industria entre las administraciones. De nuevo, el espacio se vuelve en ayuda de los científicos para proporcionar un conocimiento que no sería posible obtener de otro modo. El potencial de ahorro que revelan sus investigaciones es tan elevado que bastaría, solo en nuestro país, para compensar los recortes sufridos en el presupuesto espacial para 2013.

LA PROTECCIÓN DE LA NOCHE: DERECHO TERRESTRE Y DERECHO CELESTE

Todos los aspectos mencionados plantean importantes cuestiones para el derecho como, por ejemplo, la definición legal de la contaminación lumínica, sin la cual no puede existir una normativa efectiva, o los argumentos en favor o en contra de la propia reglamentación y el modo concreto de llevarlo a cabo, pensando no solo en el cielo o el medio nocturnos, sino también en el entorno privado, que se puede ver invadido por emisiones molestas y no deseadas (esta denominada *intrusión lumínica* puede convertirse con el tiempo en un filón para el ejercicio del derecho).

En efecto, desde 2001 se ha producido un gran aumento en las iniciativas de normativas. En Europa se han aprobado leyes relacionadas en la República Checa y Eslovenia, el Reino Unido, en casi todas las regiones italianas, Francia, Alemania y España. Algunos aspectos de



Figura 13. Despropósitos lumínicos: iluminación hacia arriba de letreros (izquierda) y sobreiluminación de carreteras e iluminación ornamental (derecha) (*Cel Fosca / F. Jáuregui*).

DECLARACIÓN MUNDIAL EN DEFENSA DEL CIELO NOCTURNO Y EL DERECHO A OBSERVAR LAS ESTRELLAS

Adoptada el 20 Abril de 2007, en La Palma, Islas Canarias, España.

Los participantes de la Conferencia Internacional en Defensa de la Calidad del Cielo Nocturno y el Derecho a Observar las Estrellas, conjuntamente con los representantes de la UNESCO, OMT, IAU, y otras agencias y organizaciones internacionales citadas en la versión íntegra de la Declaración, así como miembros de la comunidad científica y académica, reunidos en La Palma, Islas Canarias, España, el 20 de Abril de 2007; siendo conscientes que la visión de la luz de las estrellas ha sido y es una inspiración para toda la Humanidad, y que su observación ha representado un elemento esencial en el desarrollo cultural y científico de todas las civilizaciones;

Declaramos que:

- a. El derecho a un cielo nocturno no contaminado que permita disfrutar de la contemplación del firmamento, debe considerarse como un derecho inalienable de la Humanidad, equiparable al resto de los derechos ambientales, sociales y culturales. La progresiva degradación del cielo nocturno ha de ser considerada como un riesgo inminente que conlleva la pérdida de un recurso fundamental.*
- b. El conocimiento, apoyado en la educación, constituye la clave que permite integrar la ciencia en nuestra cultura actual, contribuyendo al avance de toda la Humanidad. La difusión de la astronomía y de los valores científicos y culturales asociados deberán considerarse como contenidos básicos a incluir en la actividad educativa.*
- c. El control de la contaminación lumínica debe ser un requisito básico en las políticas de conservación de la naturaleza dado el impacto que genera sobre muchas especies, hábitats, ecosistemas y paisajes.*
- d. La protección de la calidad astronómica de las áreas privilegiadas para la observación científica del universo deberá constituir una prioridad en las políticas medioambientales y científicas de carácter regional, nacional e internacional.*
- e. Ha de promoverse el uso racional de la iluminación artificial, minimizando el resplandor que provoca en el cielo y evitando la nociva intrusión del exceso de luz sobre los seres humanos y el medio natural. Esta estrategia implica un uso más eficiente de la energía en consonancia con los acuerdos sobre el cambio climático y la protección del medio ambiente.*
- f. Al igual que otras actividades, el turismo puede convertirse en un poderoso instrumento para desarrollar una nueva alianza en favor de la calidad del cielo nocturno. El turismo responsable, en todas sus manifestaciones, puede y debe integrar el paisaje del cielo nocturno como un recurso a resguardar y valorar en todos los destinos.*

Deberán ponerse en práctica todas las medidas necesarias con el fin de informar y sensibilizar al conjunto de implicados en la protección del medio ambiente nocturno, ya sea a nivel local, nacional, regional o internacional, sobre el contenido y los objetivos de la Conferencia Internacional en Defensa de la Calidad del Cielo Nocturno y el Derecho a Observar las Estrellas celebrada en la Isla de La Palma.

Cuadro 1.

LEY DE LA ATMÓSFERA (LEY 34/2007)

Disposición adicional cuarta. Contaminación lumínica.

Las Administraciones públicas, en el ámbito de sus competencias, promoverán la prevención y reducción de la contaminación lumínica, con la finalidad de conseguir los siguientes objetivos:

- a) Promover un uso eficiente del alumbrado exterior, sin menoscabo de la seguridad que debe proporcionar a los peatones, los vehículos y las propiedades.*
- b) Preservar al máximo posible las condiciones naturales de las horas nocturnas en beneficio de la fauna, la flora y los ecosistemas en general.*
- c) Prevenir, minimizar y corregir los efectos de la contaminación lumínica en el cielo nocturno, y, en particular en el entorno de los observatorios astronómicos que trabajan dentro del espectro visible.*
- d) Reducir la intrusión lumínica en zonas distintas a las que se pretende iluminar, principalmente en entornos naturales e interior de edificios.*

Cuadro 2.

REGLAMENTO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (REAL DECRETO 1131/1988)

Art. 6.º Contenido.

La evaluación de impacto ambiental debe comprender, al menos, la estimación de los efectos sobre la población humana, la fauna, la flora, la vegetación, la gea, el suelo, el agua, el aire, el clima, el paisaje y la estructura y función de los ecosistemas presentes en el área previsiblemente afectada. Asimismo, debe comprender la estimación de la incidencia que el proyecto, obra o actividad tiene sobre los elementos que componen el Patrimonio Histórico Español, sobre las relaciones sociales y las condiciones de sosiego público, tales como ruidos, vibraciones, olores y emisiones luminosas, y la de cualquier otra incidencia ambiental derivada de su ejecución.

Cuadro 3.

la contaminación lumínica se podrían abordar mediante directivas de la Unión Europea, como ha solicitado una reciente resolución del Consejo de Europa. En otras partes del mundo, especialmente en los EE. UU. hay muchos ejemplos de reglamentación en forma de ordenanzas locales y un Modelo de Ordenanza de Alumbrado (MLO) desarrollado por la International Dark-Sky Association en colaboración con la industria luminotécnica. Estas iniciativas usan diversos enfoques que van desde leyes específicas sobre contaminación lumínica (como en Eslovenia), leyes preexistentes en las que cabe incorporar la contaminación lumínica (como en el Reino Unido) hasta normativas de rango inferior o guías de recomendaciones proporcionadas por la industria y organismos consultivos (tal como la mencionada MLO en los EE. UU. o, en España, algunas guías elaboradas por el Comité Español de Iluminación). En cualquier caso existe ya un claro consenso internacional en el sentido de que los ciudadanos tenemos derecho a observar las estrellas, como reza la importante Declaración de La Palma de 2007, una iniciativa internacional promovida desde el Instituto de Astrofísica de Canarias y auspiciada por la UNESCO, la Organización Mundial de Turismo y otros organismos internacionales, actualmente impulsada desde la Fundación Starlight (véase el cuadro 1).

En España, una olvidada disposición adicional de la ley de protección de la atmósfera de 2007 obliga expresamente a las administraciones a ocuparse de este fenómeno en todas sus manifestaciones (véase el cuadro 2). Además, se han aprobado leyes específicas sobre alumbrado o que abordan la protección del cielo nocturno en siete comunidades autónomas, empezando por Cataluña, cuya ley ha sido después el modelo seguido en casi todos los demás casos con resultados muy desiguales (véase la relación de normativa anexa). A este respecto llama la atención el escasísimo uso que se hace en nuestro país de la preexistente normativa de Evaluación de Impacto Ambiental de cara a la prevención de emisiones luminosas en proyectos que incorporan iluminación exterior que pueda afectar al medio circundante, que resultan ser la mayoría (véase el cuadro 3).

La mayor parte de estas leyes y reglamentos han ido entrando en vigor casi inadvertidas, sin adecuadas campañas de difusión y formación, aunque nos afectan a todos: administraciones varias, empresas y comerciantes, profesionales, comunidades de vecinos y ciudadanos. Para los amantes del firmamento que tanto han luchado para que se hicieran realidad mediante la divulgación, el asesoramiento y la denuncia de la sinrazón, representan una gran esperanza. Resulta por ello decepcionante comprobar cómo con frecuencia se siguen malinterpretando los argumentos contra la contaminación lumínica como burdas pretensiones de dejar pueblos y ciudades a oscuras. Es evidente que la iluminación nocturna de exteriores, correctamente diseñada, constituye una necesidad incuestionable para el desarrollo de múltiples actividades, ya sean de desplazamiento, laborales o de ocio. Lo cuestionable es el mal uso



Figura 14. Ejemplos de luminarias fuertemente contaminantes (izquierda) y luminarias sin emisión hacia arriba (derecha) (IAC / OTPC).

del alumbrado y las situaciones en las que la luz artificial ya no proporciona ventajas o en que éstas son irreconciliables con una adecuada protección del paisaje, del medio, de la salud o del descanso. Es ahí donde el derecho (terrestre) se hace necesario para arbitrar un uso compartido de la noche para todas las necesidades, un principio que cabe fundamentar en la misma Constitución Española cuando en su artículo 45 reconoce el derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo personal. Lo cierto es que, hasta no hace tanto, en materia de alumbrado se podía hacer casi cualquier cosa a capricho de políticos, proyectistas o publicistas (o propietarios particulares), siempre que los usuarios o vecinos lo soportaran.

Estas leyes aciertan en general al marcar sus finalidades, pero apenas se han beneficiado del conocimiento científico del fenómeno a la hora de establecer las medidas para lograrlo. En consecuencia, la mayoría de ellas presentan importantes carencias, pudiendo en una aplicación descuidada incluso llegar a ser contraproducentes para el fin que se idearon. En particular, uno de los principales errores consiste en ignorar que la luz enviada hacia los lados es la que en mayor medida contribuye al resplandor celeste, a la intrusión lumínica (hacia otras propiedades) y al deslumbramiento. En efecto, todas estas leyes adoptan un criterio obsoleto como es la división del territorio en zonas con distintos límites permitidos de emisión de luz al cielo (donde no hay nada que iluminar) siendo que la atmósfera y la luz no entienden de divisiones artificiales y esas emisiones terminan afectando a municipios o comunidades autónomas vecinas que pueden tener su propia normativa, cuya aplicación puede quedar así neutralizada por luz parásita procedente de fuentes sobre las que no tiene jurisdicción.

La normativa existente detalla también algunas medidas para el mejor aprovechamiento de la energía eléctrica, ahorro que permitiría amortizar en pocos años las sustituciones de alumbrados. A este fin se aplica específicamente el Real Decreto 1890/2008 de eficiencia energética en alumbrado, de carácter muy técnico y que, desgraciadamente, no tiene la misma utilidad en la prevención de la contaminación lumínica, un tema que aborda desde una perspectiva todavía obsoleta e insuficiente (no obstante, proporciona un marco regulatorio básico inexcusable para la gran mayoría de comunidades y ayuntamientos que no han aprobado leyes u ordenanzas específicas). Sin embargo, una mejora de la eficiencia energética no conduce por sí sola a una disminución de la contaminación lumínica. Se trata de aspectos distintos que es necesario abordar de forma paralela, aunque independiente. Por esta razón, las sustituciones masivas (¡y costosas!) de

instalaciones de iluminación llevadas a cabo por parte de muchos ayuntamientos con criterios únicamente de eficiencia energética no están produciendo a la vez una disminución de su impacto ambiental. Igualmente nefasta está siendo la promoción de lámparas de luz blanca que emiten, por ejemplo, los nuevos sistemas a base de LED, carentes de estándares industriales, ausentes de la regulación del mencionado Real Decreto y con calidades discutibles, pese a su todavía alto coste de adquisición. Resulta preocupante la propensión de muchos ayuntamientos a dejarse seducir sin apenas reflexión por una propaganda comercial sobre los LED frecuentemente irresponsable, en la que se llega a calificar como obsoletas tecnologías probadas como las lámparas de vapor de sodio, que aún siguen siendo las fuentes luminosas más eficaces y más sostenibles desde el punto de vista aquí descrito (véase la tabla 2).

Toda norma que pretenda prevenir la contaminación lumínica hasta niveles razonables debería incorporar estos tres criterios fundamentales:

1. **no emitir luz por encima del plano horizontal** (en jerga técnica: el Flujo hacia el Hemisferio Superior instalado de la luminaria debe ser nulo), de modo que se limite con carácter general la emisión directa de luz al cielo y hacia los lados;
2. **no sobreiluminar el suelo**, considerando como máximos los niveles recomendados en los manuales técnicos del sector (en España, el Real Decreto 1890/2008), de modo que se limite la emisión indirecta de luz hacia arriba por reflexión; y
3. **no usar luz blancoazulada**, limitando el espectro de emisión de tal forma que se evite una intensidad en longitudes de onda inferiores a 540 nanómetros mayor que la que emiten las lámparas de vapor de sodio a alta presión (de uso muy extendido hasta el momento), de modo que las afecciones a la salud no se incrementen respecto a la situación de partida actual, mientras al mismo tiempo se minimiza la afectación a los seres vivos y el esparcimiento en la atmósfera.

Además de estos tres criterios básicos, debe recordarse que se iluminarán exclusivamente aquellas áreas que sea preciso iluminar, teniendo en cuenta que a partir de las horas

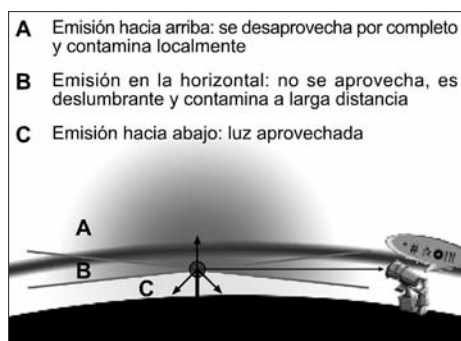


Figura 15. Esquema general de la influencia de la dirección de emisión en la generación de contaminación lumínica (F. Jáuregui / Cielo Buño).

TIPO DE LÁMPARA	EFICACIA LUMÍNICA (lm/W)	VIDA MEDIA (H)	ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA (IRC)
Halógenas	20	1200	100
Fluorescentes	60 - 100	20 000	>85
Halogenuros metálicos cerámicos	70 - 112	20 000	90
LED	90 - 120	>50 000	80
Sodio alta presión	95 - 150	40 000	25
Sodio baja presión	120 - 200	18 000	20

Tabla 2. Características básicas de las fuentes de luz para iluminación de exteriores (modificada de HERRANZ, OLLÉ Y JÁUREGUI 2011).



Figura 16. Ejemplo de sustitución de farolas con disminución de la contaminación lumínica y mejora del confort visual. Calle Mayor de Puente la Reina (Navarra) (F. Jáuregui / Cel Fosce).

de poco tránsito se puede disminuir considerablemente la intensidad del alumbrado sin merma de la seguridad. Al mismo tiempo, y por idéntica razón, se debe apagar el alumbrado ornamental (el cual, en cualquier caso, debe realizarse igualmente desde arriba hacia abajo). Finalmente, es necesario restringir el alumbrado comercial a las horas de apertura y mantener apagado por completo todo alumbrado sin uso motivado. Si se desea que la norma sea

verdaderamente eficaz deberá prever, por otro lado, la divulgación de la ley entre los sectores más afectados y el conocimiento de la contaminación lumínica entre los ciudadanos en general, así como estipular un régimen de control y sancionador que resulte realista.

La normativa de alumbrado de Andalucía es, hasta el momento, la que más se acerca en España a estos criterios y que tiene el potencial de poder revertir la tendencia actual de crecimiento desaforado de la contaminación lumínica y el consumo en alumbrado, aunque ello llevará, en el mejor de los casos, muchos años. Existen también experiencias de poblaciones pequeñas como Tàrrega (en Lleida), Figueres (en Girona) o Puente la Reina (en Navarra) que con sus ordenanzas y planes de sustitución de alumbrado constituyen ejemplos a seguir en la consecución de esta nueva cultura en el uso de la luz. Un caso a destacar son además las poblaciones afectadas por la legislación especial que protege la calidad astronómica del cielo de la isla de La Palma (en Canarias). En el ámbito internacional, Italia es el país con un mayor número de normas regionales que están demostrando su eficacia según los criterios indicados (comenzando por Lombardía), un modelo que fue adoptado también en Eslovenia, que es el único estado europeo dotado actualmente con una ley específica y de carácter estatal sobre esta materia.

LA INVESTIGACIÓN ACTUAL SOBRE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Además del ámbito legislativo, en los últimos años la contaminación lumínica ha despertado un interés creciente entre la comunidad científica dado que el uso inadecuado de la luz artificial por la noche ha demostrado tener efectos mensurables e indeseados sobre el consumo global de energía, la dinámica de los ecosistemas, la salud humana y animal, la conservación de la herencia cultural inmaterial y la observación del cielo. Por otra parte, el rápido desarrollo de nuevas tecnologías de iluminación basadas en dispositivos de estado sólido (como los LED) ha abierto interesantes posibilidades para la reducción y control de la contaminación lumínica –como puede ser su direccionalidad y el encendido y apagado instantáneos– pero, al mismo tiempo, presenta un riesgo no despreciable de aumentar algunos de sus efectos más negativos.

Abordar de manera adecuada este complejo asunto, que implica la generación, distribución y detección de la luz, la propagación y esparcimiento atmosférico, la óptica visual y fisiológica, la fotoquímica, los efectos biológicos de la luz, la salud pública y la energía –incluyendo los aspectos económicos y del cambio global–, requiere una cooperación multidisciplinar de investigadores especializados en cada uno de estos campos, por lo que las colaboraciones están siendo cada vez más frecuentes, con resultados muy prometedores.

En 2009 se creó en Alemania el primer proyecto estable de investigación multidisciplinar de este tipo sobre contaminación lumínica, con carácter académico y financiación federal, *Verlust der Nacht* («la pérdida de la noche»), en el que participan investigadores de diez institutos. Por su parte, la Red Española de Estudios sobre la Contaminación Lumínica, creada en 2012, es otro paso reciente en esta dirección, proporcionando un punto de encuentro para el intercambio de experiencias y el desarrollo de acciones de investigación conjuntas.

Esta red está formada en la actualidad por doce grupos que pertenecen a las áreas de la astronomía, biología, ecología, química, ciencias de la salud, luminotecnia y óptica. Las funciones principales que se ha propuesto la red son las siguientes:

- La elaboración de un catálogo de los grupos de investigación que trabajan en contaminación lumínica en cualquier campo científico y que desarrollen su actividad en España.
- La organización de encuentros científicos y foros de discusión técnica acerca de los distintos aspectos de la contaminación lumínica (abiertos a la comunidad científica).
- La identificación de oportunidades conjuntas de investigación y el establecimiento de colaboraciones entre los diferentes grupos de la red.
- La elaboración de mapas de brillo del cielo nocturno, desarrollando estándares y protocolos comunes que favorezcan el intercambio de datos.
- Un mayor conocimiento público de este problema, con la promoción de actividades de divulgación científica y la colaboración con las asociaciones cívicas de defensa del cielo oscuro.

LA RECUPERACIÓN DEL MEDIO NOCTURNO Y LAS ACTIVIDADES ESPACIALES

Un buen diseño y un control adecuado del alumbrado nocturno de exteriores puede hacer volver el cielo estrellado a la mayor parte del territorio fuera de los núcleos urbanos. Los estudios más recientes cifran una disminución potencial de la contaminación lumínica en hasta un 90% con respecto a la situación actual, aplicando al máximo los criterios descritos. Ello redundaría además en la protección del paisaje y los hábitats naturales; se favorecería la salud, la privacidad y el descanso; se mejoraría la seguridad vial y ciudadana y el confort visual; y se maximizaría el aprovechamiento de la energía. Aspectos tan positivos como estos no deberían, por tanto, provocar dificultad de aceptación a ningún grupo político, administración o individuo. Sin embargo, la percepción pública y de algunos sectores profesionales sobre el fenómeno de la contaminación lumínica se encuentra ampliamente influida por una serie de creencias, prejuicios y errores acerca de la iluminación de exteriores. Y es que la luz, por cultura y tradición, está profundamente asociada en nuestra psique colectiva al progreso, la alegría, la seguridad y la riqueza. Estos mitos actúan como obstáculos frente a los esfuerzos de las personas y entidades que abordan la tarea de educar a la sociedad en pro de una nueva cultura de la luz.

Para combatir este problema es preciso en primer lugar reconocer su existencia, un paso que no se ha dado aún en todos los sectores implicados, especialmente el político y el técnico. A partir de ahí, es necesario seguir las mejores prácticas profesionales disponibles que permitan, por un lado, disponer de una iluminación racional para el desarrollo de las actividades que lo requieran y, por otro, proteger aquellos ámbitos en donde exista un perjuicio asociado. Un abanico de problemas tan amplio como el descrito anteriormente debería conducir en todo caso a la adopción del principio de precaución en el uso de las tecnologías de la iluminación. Esto es especialmente de aplicación con las de más repentina introducción en los

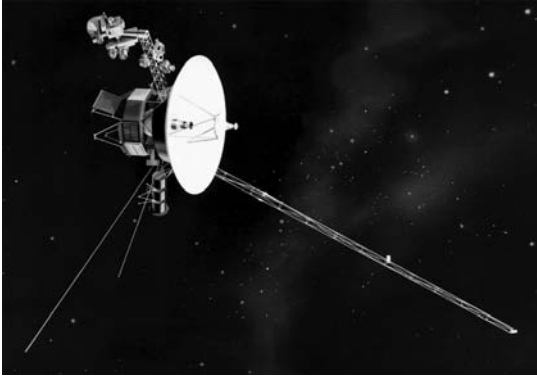


Figura 17. Representación artística del vehículo espacial Voyager 1 adentrándose en el espacio interestelar, rumbo a las estrellas (NASA / JPL).

asesoramiento de los científicos que vienen ocupándose de este problema. Es oportuno y deseable que las administraciones con competencias en la protección del medio ambiente sean las que lideren esta tarea en colaboración con todos los sectores interesados. De este modo, mediante un adecuado encaje de esta materia en el derecho ambiental, nuestra estima por los paisajes, los hábitats y la biodiversidad no desaparecería cada noche sólo por el hecho de ponerse el sol.

Apenas transcurrido medio siglo después del primer satélite artificial, más de medio millar de personas de más de cuarenta países han viajado al espacio, y hoy se vive y trabaja de forma rutinaria en una base orbital a la que llegan vehículos gubernamentales y comerciales de varias nacionalidades. Incluso en tierra, nos cuesta imaginar ya una sociedad sin comunicación global e instantánea, sin mapas digitales en el móvil, sin navegador GPS, sin las imágenes diarias del *Meteosat*, sin competiciones deportivas en directo, sin las asombrosas postales del *Hubble*, sin avisos de localización de emergencias... y sin tantas otras cosas que, por cotidianas, hacen desapercibida su dependencia de la tecnología espacial.

Qué duda cabe que los programas espaciales necesitan hoy día de estrategias y recursos suficientes y sostenidos en investigación, desarrollo e innovación para poder generar nuevos conocimientos y servicios de utilidad social y económica. Pero asimismo precisan de entusiasmo y comprensión pública. Hace falta que los ciudadanos, que son los destinatarios finales de esta inversión, lo apoyen, sin olvidar la promoción de nuevas vocaciones de profesionales que sigan respondiendo a la llamada del espacio. No obstante, difícilmente cabe aspirar a aquello que ni siquiera se conoce. Urge por ello tomar conciencia también de la importancia de salvaguardar el derecho a las estrellas. Se trata de un compromiso práctico con una gran carga simbólica, que las empresas del sector espacial y las organizaciones públicas y privadas con interés en la astronáutica pueden adoptar, en su propio interés y como una valiosa oportunidad para acercar sus actividades al ciudadano.

Desde la orilla del océano cósmico, el firmamento estrellado marcó el rumbo a los visionarios de la cosmonáutica. Un siglo más tarde, su herencia ha llevado al vehículo espacial *Voyager 1* hasta el mismo umbral del espacio interestelar. A partir de ahora, el camino es *derecho* a las estrellas.

¡Allá vamos!

(**Yuri Gagarin**, a bordo del *Vostók*, 1961)

BIBLIOGRAFÍA

(La mayoría de estos documentos se pueden encontrar también en Internet en formato PDF).

BURROWS, William E.: *This New Ocean: The Story of the First Space Age*, Nueva York: Random House, 1998.

CALVO CHARRO, María: «El derecho a un cielo oscuro. Prevención y corrección de la contaminación lumínica», *Asamblea. Revista parlamentaria de la Asamblea de Madrid*, n.º 23 (2010), 199-221.

CAÑAVATE GARCÍA, Estefanía, David GALADÍ ENRÍQUEZ, Pere HORTS FONT y Josep M.ª OLLÉ: «Normativas sobre la contaminación lumínica en España», *Astronomía*, n.º 155 (2012), 34-40.

COLOMER SANMARTÍN, Francisco: «El lado oscuro de la luz», *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid para 2010*, 383-399.

DE LA PAZ GÓMEZ, Federico, Pedro SANHUEZA y Javier DÍAZ CASTRO: *Guía práctica de iluminación de exteriores: Alumbrado eficiente y control de la contaminación lumínica*, Tenerife y Antofagasta: Oficinas de Protección de la Calidad del Cielo de Chile y Canarias, 2010.

FALCHI, Fabio, Pierantonio CINZANO, Christopher D. ELVIDGE, David M. KEITH y Abraham HAIM: «Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility», *Journal of Environmental Management*, vol. 92, n.º 10 (2011), 2714-2722.

GARCÍA GIL, Manuel y Ramón SAN MARTÍN PÁRAMO: *Guía técnica de aplicación del reglamento para la protección del cielo nocturno*, Sevilla: Dirección General de Cambio Climático y Medio Ambiente Urbano / Consejería de Medio Ambiente, 2011.

HERRANZ DORREMOCHEA, Carlos (dir.): «Especial monográfico: Contaminación lumínica y eficiencia energética», *Física y sociedad* (Colegio Oficial de Físicos), n.º 21 (2011).

HERRANZ DORREMOCHEA, Carlos, Josep M.ª OLLÉ MARTORELL y Fernando JÁUREGUI SORA: «La iluminación con LED y el problema de la contaminación lumínica», *Astronomía*, n.º 144 (2011), 36-43.

INTERNATIONAL DARK-SKY ASSOCIATION: *Visibility, Environmental, and Astronomical Issues Associated with Blue-Rich White Outdoor Lighting*, Tucson/Washington: IDA, 2010

MARÍN, Cipriano y Jafar JAFARI (dirs.): *Starlight: A Common Heritage*, Islas Canarias: Starlight Initiative / Instituto de Astrofísica de Canarias, 2008.

NICOLÁS BARBA, Manuel, Estefanía CAÑAVATE GARCÍA y Carlos HERRANZ DORREMOCHEA (dirs.): *Contaminación lumínica. Documento final del grupo de trabajo GT-LUZ*, Madrid: 9º Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA 9), 2008.

OLLÉ MARTORELL, José M.ª: «El uso racional de la energía en la iluminación de exteriores», *Electra*, n.º 156 (2009), 10-24.

RICH, Catherine y Travis LONGCORE (dirs.): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Washington: Island Press, 2006.

SABBATINI, Massimo, Luigi CASTIGLIONE y Julien HARROD: «NIGHTPOD: Capturing Earth by night from space», *ESA Bulletin* (European Space Agency), n.º 15 (2013), 46-55.

SAGAN, Carl: *Cosmos*, Barcelona: Editorial Planeta, 1980.

SAN MARTÍN PÁRAMO, Ramón: «Repercusiones medioambientales del alumbrado artificial», *Seguridad y Medio Ambiente* (Fundación MAPFRE), n.º 112 (2008), 48-57.

ZAMORANO, Jaime, Alejandro SÁNCHEZ DE MIGUEL, Francisco OCAÑA y José CASTAÑO: «El uso de imágenes de satélite para combatir la contaminación lumínica», *Astronomía*, n.º 167 (2013), 80-87.

OTROS RECURSOS ESENCIALES EN INTERNET

Cel Fosc, Asociación contra la Contaminación Lumínica (www.celfosc.org)

Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo (OTPC) del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) (www.iac.es > **Servicios** > **OTPC**)

Oficina de Protección de la Calidad del Cielo del Norte de Chile (OPCC) (www.opcc.cl)

Red Española de Estudios sobre la Contaminación Lumínica (<http://guaix.fis.ucm.es/splpr/>)

Proyecto Verlust der Nacht (www.verlustdernacht.de)

Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso (ISTIL) (www.lightpollution.it)

Fundación Starlight (www.fundacionstarlight.org)

International Dark-Sky Association (IDA) (www.darksky.org)

NORMATIVA

(Todos estos textos legales se encuentran también recopilados en Internet en www.celfosc.org > Biblioteca)

Cortes Generales y Gobierno Central

Ley 31/1988 de 31 de octubre, sobre Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias, *Boletín Oficial del Estado*, n.º 264 (03/09/1988), 31451-31451.

Real Decreto 243/1992, de 13 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley 31/1988, de 31 de octubre, sobre protección de la calidad astronómica de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias, *Boletín Oficial del Estado*, n.º 96 (21/04/1992), 13330-13332.

Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, *Boletín Oficial del Estado*, n.º 275 (16/11/2007), 46962-46987.

Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental, *Boletín Oficial del Estado*, n.º 239 (05/10/1988), 28911-28916.

Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07, *Boletín Oficial del Estado*, n.º 279 (19/11/2008), 45988-46057.

Cataluña

Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno, *Boletín Oficial del Estado*, n.º 149 (22/06/2001), 22272-22278 (modificada por la Ley 9/2011, de 29 de diciembre, de promoción de la actividad económica, *Boletín Oficial del Estado*, n.º 12 (14/01/2012), 2233-2288).

Ordre MAH/566/2009, d'11 de desembre, per la qual es regula i constitueix la Comissió de Prevenció de la Contaminació Llumínosa, *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, n.º 5541 (08/01/2010), 727-728.

Islas Baleares

Ley 3/2005 de 20 de abril, de protección del medio nocturno de las Illes Balears, *Boletín Oficial de las Islas Baleares*, n.º 65 (28/04/2005), 25-29.

Navarra

Ley Foral 10/2005, de 9 de noviembre, de ordenación del alumbrado para la protección del medio nocturno, *Boletín Oficial de Navarra*, n.º 136 (14/11/2005), 11067-11071.

Decreto Foral 199/2007, de 17 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley Foral 10/2005, de 9 de noviembre, de ordenación del alumbrado para la protección del medio nocturno, *Boletín Oficial de Navarra*, n.º 127 (10/10/2007), 11042-11045.

Ordenanza municipal para instalaciones de alumbrado exterior en Puente la Reina, *Boletín Oficial de Navarra*, n.º 141 (19/11/2010), 15349-15354.

Cantabria

Ley de Cantabria 6/2006, de 9 de junio, de Prevención de la Contaminación Lumínica, *Boletín Oficial de Cantabria*, n.º 116 (16/06/2006), 7595-7600.

Decreto 48/2010, de 11 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento por el que se desarrolla parcialmente la Ley de Cantabria 6/2006, de 9 de junio, de prevención de la contaminación lumínica -, *Boletín Oficial de Cantabria*, n.º 165, 26 de agosto de 2010, pp. 1-22.

Andalucía

Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, n.º 143 (20/07/2007), 4-48.

Decreto 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética, *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía*, n.º 159 (13/08/2010), 6-16.

Decreto 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía, y se modifica el Decreto 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia, *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía*, n.º 24 (06/02/2012), 7-37.

Extremadura

Ley 5/2010, de 23 de junio, de prevención y calidad ambiental de la Comunidad Autónoma de Extremadura, *Diario Oficial de Extremadura*, n.º 120 (24/06/2010), 16442-16579.

Castilla y León

Ley 15/2010, de 10 de diciembre, de Prevención de la Contaminación Lumínica y del Fomento del Ahorro y Eficiencia Energéticos Derivados de Instalaciones de Iluminación, *Boletín Oficial de Castilla y León*, n.º 243 (20/12/2010), 96754-96591.

Comunidad Valenciana

Ordenanza para la protección lumínica del Parque Natural de La Albufera incluido en el término municipal de Valencia, *Boletín Oficial de la Provincia de Valencia*, n.º 53 (03/03/2007), 12-31.

AGRADECIMIENTOS

A los autores de las figuras y de la bibliografía utilizados en este texto, así como a los investigadores que hacen posible el avance del conocimiento sobre la contaminación lumínica y sus soluciones. La Red Española de Estudios sobre la Contaminación Lumínica cuenta con apoyo del Ministerio de Economía y Competitividad a través de la Acción Complementaria AYA2011-15808-E.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AERONÁUTICOS
(UPM)