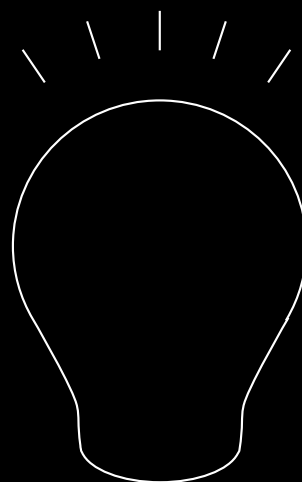


EL LADO
OSCURO
DE LA LUZ
CONTAMINACIÓN
LUMINICA

CATÁLOGO





Museo de la **Ciencia y el Agua**
AYUNTAMIENTO DE MURCIA



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD



FUNDACIÓN ESPAÑOLA
PARA LA CIENCIA
Y LA TECNOLOGÍA

EL LADO
OSCURO
DE LA LUZ
CONTA-
MINACIÓN
LUMINICA

AYUNTAMIENTO DE MURCIA

Alcalde

Miguel Ángel Cámara Botía

Concejal de Cultura

Rafael Gómez Carrasco

CATÁLOGO

Autores

(por orden de aparición)

1. Paredes Gil, Miguel Ángel
Parra Lledó, Isabel
2. Guirao Piñera, Antonio
3. Gómez Roldán, Ángel
4. Rol de Lama, María de los Ángeles
Baño Otálora, Beatriz
Martínez Nicolás, Antonio
Bonmatí Carrión, María de los Ángeles
Ortiz Tudela, Elisabet
Martínez Madrid, María José
Argüelles Prieto, Raquel
Madrid Pérez, Juan Antonio

5. Sánchez de Miguel, Alejandro
6. Falchi, Fabio
7. Ollé Martorell, Josep María
8. Parra Martínez, José
9. Fernández Martínez, Francisco

Maquetación

Biovisual, S.L.

EDITA

Ayuntamiento de Murcia
Museo de la Ciencia y el Agua

Dirección técnica

Servicio de Comunicación

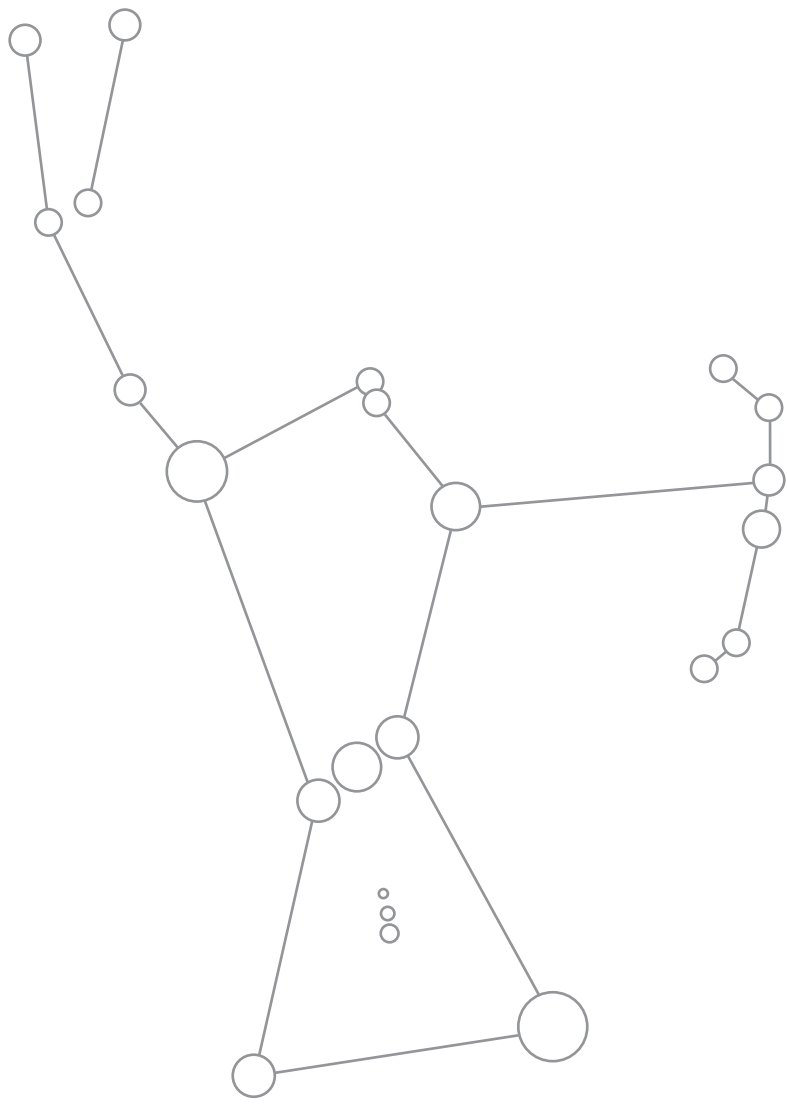
I.S.B.N.: 978-84-697-1701-1

D.L.: MU 1260-2014

SUMARIO

¿QUÉ PERDEMOS CUANDO PERDEMOS EL CIELO NOCTURNO?	9
1. EL CIELO ESTRELLADO, INSPIRACIÓN DE ARTISTAS	10
2. UN CIELO NOCTURNO SIN ESTRELLAS	11
3. VER EL CIELO EN UN PLANETARIO	13
4. ORIENTARSE CON LAS ESTRELLAS	13
5. HORÓSCOPOS Y EL ZODIACO	14
6. HISTORIAS EN EL CIELO	17
7. EL DESASTRE: LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	17
8. ¿CÓMO CONCIENCIAR A LA POBLACIÓN SOBRE EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA?	19
9. NOTAS	21
10. SOBRE LOS AUTORES	22
UNA 'VENTANA DE ENTRADA' A LA ASTRONOMÍA	25
1. ASTRONOMÍA: LA CIENCIA DE LAS LEYES DE LOS ASTROS	25
1.1. ACERCÁNDONOS A UNA DEFINICIÓN DE 'ASTRONOMÍA'	25
1.2. ASTRONOMÍA VS. ASTROFÍSICA	26
1.3. ASTRONOMÍA VS. ASTROLOGÍA	27
1.4. ASTRONOMÍA EN LA CULTURA POPULAR	28
1.5. RECUPERAR LA OBSERVACIÓN DEL CIELO	30
2. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. DEL NEOLÍTICO AL RADIOTELESCOPIO	31
2.1. LA EDAD DE PIEDRA, ANTIGUO EGIPTO Y MESOPOTAMIA	31
2.2. ASTRONOMÍA ANTIGUA Y MEDIEVAL	32
2.3. DEL RENACIMIENTO A LA ASTRONOMÍA MODERNA	33
2.4. LA ASTRONOMÍA EN LOS SIGLOS XX Y XXI	35
3. ASPECTOS CIENTÍFICOS DE LA ASTRONOMÍA	37
3.1. TIPOS DE OBJETOS CELESTES	37
3.2. ALGUNAS MAGNITUDES EN ASTRONOMÍA	38
3.3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL TELESCOPIO	40
3.4. ALGUNOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN ASTRONOMÍA	41
3.5. TIPOS DE ASTRONOMÍA SEGÚN LA LUZ OBSERVADA	43
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
5. PÁGINAS WEB SELECCIONADAS	45
6. SOBRE EL AUTOR	45
LEJOS DE LA LUZ O CÓMO LOS ASTRÓNOMOS BUSCAN LA OSCURIDAD	47
1. EL CIELO NO ES NARANJA	49
2. TELESCOPIOS GIGANTES, PROBLEMAS GIGANTES	52
3. SALIR DE LAS CÁRCELES DE LUZ	55
4. SOBRE EL AUTOR	55
STARLIGHT, EN DEFENSA DEL CIELO OSCURO	57
¿PUEDE LA LUZ AFECTAR A NUESTRA SALUD?	59
1. INTRODUCCIÓN	59
2. ¿DÓNDE ESTÁ EL RELOJ BIOLÓGICO Y CÓMO FUNCIONA?	61
3. LA MELATONINA. LA HORMONA DE LA NOCHE	62
4. DISFUNCIÓN CIRCADIANA (CRONODISRUPCIÓN, CD)	64
5. CONCLUSIONES	65
6. LECTURAS ADICIONALES	66
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

8. PÁGINAS WEB SELECCIONADAS	66
9. SOBRE LOS AUTORES.....	66
LA ILUMINACIÓN Y LA FALACIA DE LA SEGURIDAD	69
1. MÁS LUZ ¿MÁS SEGURIDAD? PARTE I: SEGURIDAD CIUDADANA	69
2. MÁS LUZ ¿MÁS SEGURIDAD? PARTE II: SEGURIDAD VIAL	72
3. PÁGINAS WEB SELECCIONADAS	75
4. SOBRE EL AUTOR	75
CONTAMINACIÓN LUMÍNICA: UN PROBLEMA MEDIOAMBIENTAL QUE PUEDE Y DEBE SOLUCIONARSE	77
1. LEYES REGIONALES ITALIANAS CONTRA LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	77
2. CRECIMIENTO DEL FLUJO INSTALADO Y CONSECUENCIAS EN EL BRILLO DEL CIELO	79
3. MEDIDAS DEL BRILLO DEL CIELO 1998-2013	80
4. FLUJO DIRECTO E INDIRECTO COMPARANDO CONDICIONES CON Y SIN NIEVE	81
5. EFECTO MEDIOAMBIENTALES Y EN LA SALUD DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA	82
6. MEDIDAS ADICIONALES	84
7. CONCLUSIONES	84
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
9. SOBRE EL AUTOR.....	86
LA DESCONTAMINACIÓN LUMÍNICA. UNA NECESIDAD INAPLAZABLE	89
1. EVALUACIÓN DEL DAÑO QUE PUEDE PRODUCIR LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA.....	89
1.1. TOXICIDAD DE LA LUZ	90
1.2. LA CANTIDAD DE CONTAMINANTE	91
1.3. TIEMPO DE EXPOSICIÓN	92
2. CRITERIOS BÁSICOS PARA LA DESCONTAMINACIÓN LUMÍNICA Y SU POSTERIOR PREVENCIÓN	92
3. EJEMPLOS DE DESCONTAMINACIÓN LUMÍNICA DE ZONAS URBANAS E3 Y E4	93
4. NUEVA TECNOLOGÍA PARA LA DESCONTAMINACIÓN LUMÍNICA: EL LED PC-ÁMBAR	96
5. CONCLUSIONES	100
6. NOTAS	100
7. SOBRE EL AUTOR	100
POSTPRODUCIR LA NOCHE, UNA REFLEXIÓN SOBRE EL DETERIORO URBANO DEL PAISAJE NOCTURNO	103
1. BREVE HISTORIA URBANA DE LA NOCHE	103
2. MARCO CONCEPTUAL Y CONSIDERACIONES TEÓRICAS	110
3. LA CIUDAD Y EL DETERIORO DE LOS FLUJOS (ENERGÍA, INFORMACIÓN, MATERIA)	111
4. ESTRATEGIAS: EFICACIA, EFICIENCIA Y RESILIENCIA	112
5. PROYECTO NOCHE: LA CIUDAD POSTPRODUCIDA	114
6. NOTAS	120
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
8. PÁGINAS WEB SELECCIONADAS	121
9. SOBRE EL AUTOR	122
¿EXISTIERON ALGUNA VEZ LAS ESTRELLAS?	125
1. ECOS DEL PASADO, SINFONÍA DEL FUTURO	125
2. EL CIELO SE APAGABA PERO... ¡ALGUIEN SE PERCATÓ!	127
3. CEGADOS POR LA LUZ	130
4. ¿ES QUE PERJUDICA A ALGUIEN LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA?	131
5. RECUPERANDO LAS ESTRELLAS. CUESTIÓN DE INTERÉS Y VOLUNTAD	133
6. Y YO... ¿QUÉ PUEDO HACER?	134
7. CONCLUSIONES	135
8. PÁGINAS WEB SELECCIONADAS	136
9. SOBRE EL AUTOR	136



EL LADO
OSCURO
DE LA LUZ
CONTA-
MINACIÓN
LUMINICA

¿QUÉ PERDEMOS CUANDO PERDEMOS EL CIELO NOCTURNO?

Miguel Ángel Paredes, Maribel Parra Lledó



El cielo visto desde el Parque Regional El Valle y Carrascoy (Murcia). Fuente: Alberto Payá García, 2014.

Las consecuencias negativas de una iluminación nocturna inadecuada son muy numerosas y comienzan a ser mejor entendidas. Generar una luz que no tiene utilidad real conlleva un gasto económico y de recursos energéticos perfectamente evitable, además de que la producción de esa electricidad innecesaria se suma a otros tipos de contaminación y contribuye al cambio climático. Inundar

de luz el ambiente nocturno no sólo ocasiona graves desequilibrios en los ecosistemas, poniendo en riesgo la biodiversidad, sino que afecta directamente a la salud humana.¹

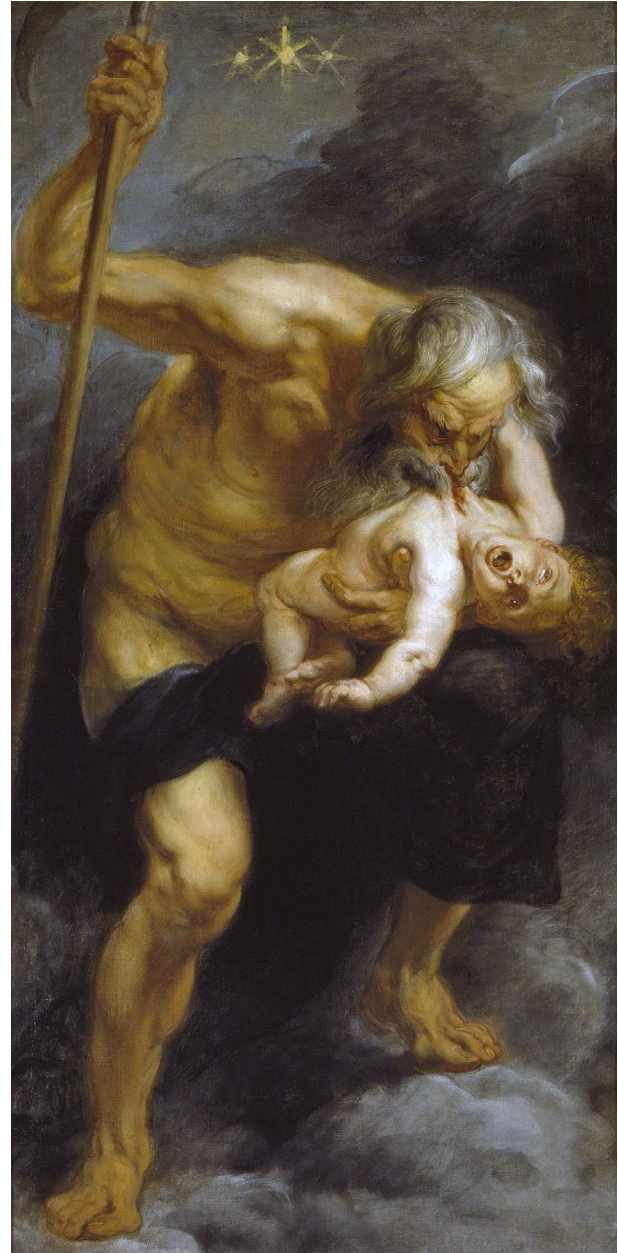
Es evidente que con la contaminación lumínica estamos perdiendo la visión de las estrellas. Esta es la consecuencia más obvia de este tipo de contaminación, hasta el punto de que muchos ciudadanos aún lo consideran como un problema que atañe exclusivamente a los astrónomos. Si bien es cierto que su labor profesional se ve dificultada por la luz artificial, no resultan tan evidentes los perjuicios que supone para el resto de la población. ¿Es realmente importante tener un cielo estrellado?, o en otras palabras, ¿de qué nos sirve observar las estrellas?

1. EL CIELO ESTRELLADO, INSPIRACIÓN DE ARTISTAS

Todos hemos disfrutado alguna vez con la contemplación de un paisaje hermoso y entendemos que es algo digno de ser preservado para el disfrute de las futuras generaciones. Sin embargo, existen pocos paisajes tan hermosos -y en principio, al alcance de todo el mundo- como un cielo nocturno que no esté contaminado. Por eso resulta sorprendente que haya una tendencia a subestimar el impresionante valor estético de un firmamento con miles de estrellas; se le suele dar poca importancia pese a haber sido fuente de inspiración de infinidad de artistas a lo largo de la historia. La Luna en sus distintas fases, las estrellas y planetas, su aspecto en el cielo y cómo nos hace sentir su contemplación, son protagonistas de innumerables cuadros, poemas y canciones. Artistas de todos los tiempos han intentado plasmar de un modo u otro la inefable majestuosidad del firmamento nocturno. Sin duda, el mundo en general, y las ciudades en particular, son algo peores -menos bellas, con menos magia y encanto- sin estrellas en el cielo.

Encontramos un ejemplo en el fotógrafo Thierry Cohen, quien, mediante un meticuloso trabajo técnico, consigue imágenes de gran belleza e impacto, además de absoluto rigor astronómico en su serie *Ciudades oscuras* (*Darkened Cities*)². Presenta ciudades con el cielo estrellado que sin un inteligente truco fotográfico (tomar las imágenes de la ciudad de día, y del cielo en lugares de igual latitud con noches despejadas y sin contaminación

lumínica), sería imposible ver. La contemplación del cielo estrellado sobre el fondo de la ciudad provoca aún más vértigo que las fotografías tomadas desde los observatorios u otros lugares recónditos. El artista



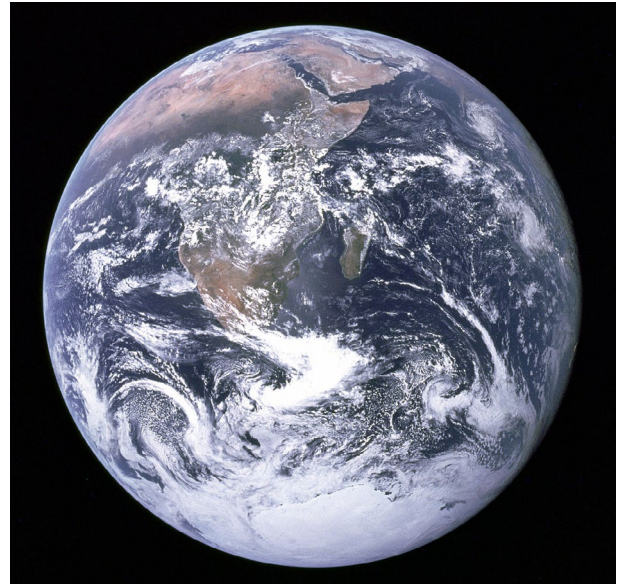
Cuadro Saturno, de Rubens. Fuente: <http://commons.wikimedia.org>.

belga René Magritte, consigue el efecto contrario en sus inquietantes cuadros *El imperio de las luces*, donde juega con la dualidad día-noche al combinar paisajes nocturnos bajo un cielo diurno.

Además del impacto estético del cielo, también encontramos en el arte un reflejo de los conocimientos científicos de la época. Por poner tan sólo un ejemplo mencionaremos el caso del cuadro de Rubens, *Saturno*, del año 1636. A simple vista el planeta Saturno se observa como un minúsculo disco en el cielo, prácticamente puntual, y esa es la imagen del planeta que se ha tenido durante milenios. Entre 1609 y 1610, las observaciones de Galileo con su telescopio cambiaron la visión que se tenía de la Vía Láctea, la Luna, Júpiter y también Saturno. Aunque en la actualidad es sencillo apreciar los anillos de Saturno con cualquier telescopio de aficionado, Galileo sólo podía intuir que había algo alrededor del planeta. De hecho lo definió como “un planeta con orejas” o un sistema triple, que representó como oOo. Y así aparece en el cuadro de Rubens, como tres estrellas en las que la central es cuatro veces mayor que las de los lados, y no como realmente se observa a simple vista.³

2. UN CIELO NOCTURNO SIN ESTRELLAS

*Anochecer*⁴ es uno de los primeros relatos de Isaac Asimov que, en colaboración con Robert Silverberg, posteriormente amplió en una de sus últimas novelas. Trata de un planeta que pertenece a un sistema estelar múltiple donde no existe la noche, pues siempre hay al menos un sol en el cielo. Uno de los temas interesantes de esta importante obra de ciencia ficción es la necesidad del cielo nocturno para ubicarnos en el espacio; como dice el astrofísico Neil de Grasse Tyson en la película documental *The City Dark*, la observación del cielo nocturno nos hace comprender el pequeño lugar que ocupamos en el cosmos, “resetea” nuestro ego y constituye una parte imprescindible de lo que significa ser humano. Los habitantes de un planeta en el que no existe el cielo nocturno, como el que nos presenta Asimov en su relato, cegados por el día perpetuo, son incapaces de atisbar la inmensidad del universo.



La Tierra vista desde el Apolo 17, a 45000 km de distancia. Fuente: <http://commons.wikimedia.org>.

Las primeras imágenes en las que se podía observar la Tierra en su totalidad desde el espacio (sobre todo las tomadas por los astronautas de las misiones Apolo) constituyeron un importante símbolo a finales de los años 60 y principios de los 70 del pasado siglo. En palabras del escritor Stewart Brand, esas imágenes dan la sensación de que nuestro planeta es una pequeña isla de color azul, blanco, verde y marrón rodeada de un gigantesco océano de negro espacio vacío. Igualmente conmovedora resulta la fotografía titulada *Un punto azul pálido*, tomada a instancias del astrónomo y divulgador Carl Sagan por la sonda Voyager 1 desde los confines del sistema solar en 1990, en la que nuestro mundo se ve reducido a un minúsculo punto.⁵

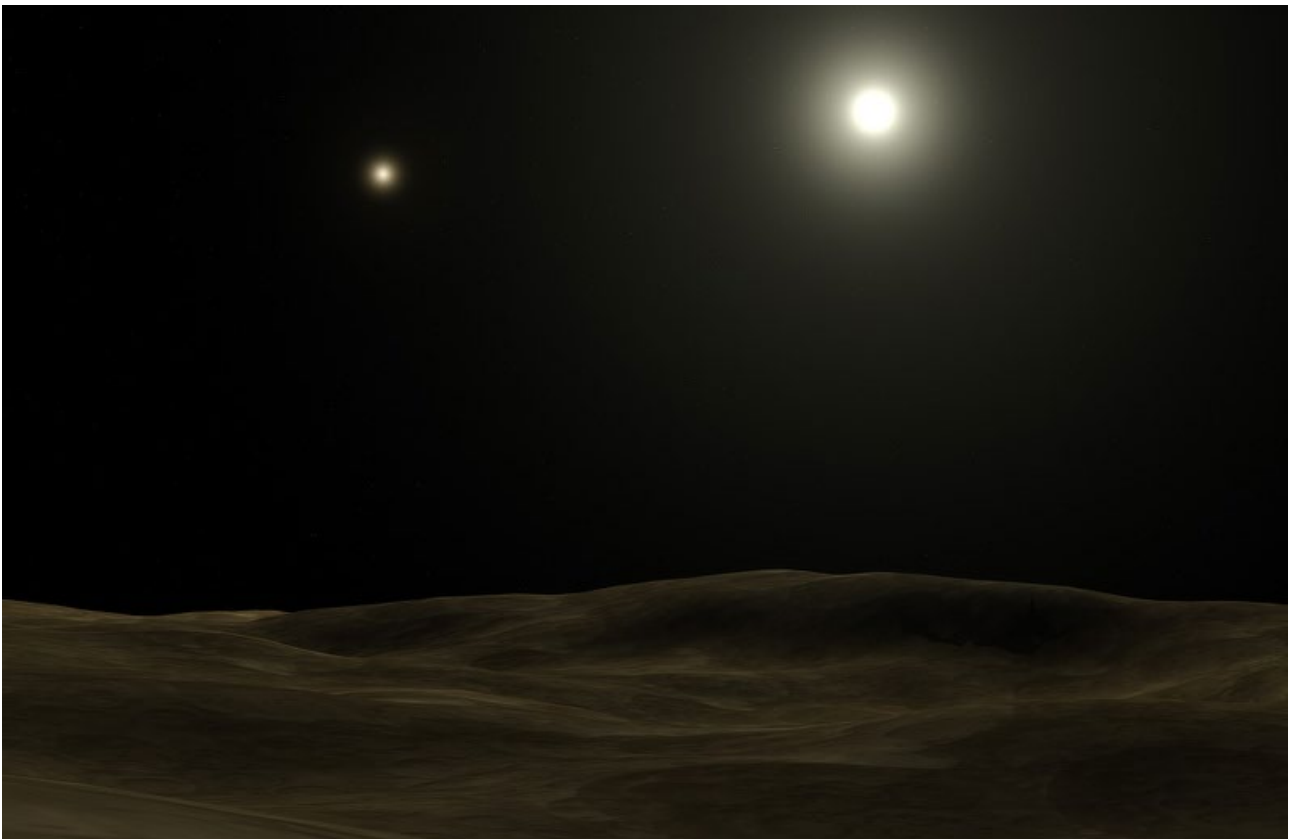
Estas imágenes poseen una fuerza indudable y se han convertido en verdaderos iconos del siglo XX.⁶ Y hoy en día todo el mundo es consciente del insignificante lugar que ocupa nuestro planeta orbitando una estrella bastante ordinaria, casi en las afueras de una galaxia compuesta por cientos de miles de millones de ellas. No obstante, para comprenderlo de verdad, para realmente sentir el vértigo que producen las implicaciones de este hecho, es imprescindible observar un cielo repleto de estrellas: sin luna, nubes ni -por supuesto- contaminación lumínica.

Como comentamos anteriormente, es un paisaje de gran belleza que puede inspirar, intimidar o incluso sobrecoger.

Volviendo al relato de Asimov, en el planeta de *Anochecer* sólo hay oscuridad durante unos minutos cada más de dos mil años, cuando se produce un eclipse en un momento en el que solo hay un sol en el cielo. Los astrónomos habían calculado que se produciría el eclipse y esperaban que el mundo se sumiera en la oscuridad, pero nadie estaba preparado para el espectáculo de un cielo plagado de estrellas, que llegaba a producir un pánico enloquecedor en la población que llevaba al colapso de la civilización.⁷

Acostumbrados como estamos al cielo estrellado, puede parecernos una reacción absurda o exagerada la relatada en la novela. Sin embargo, la triste realidad es que buena parte de la población cada vez está menos familiarizada con el firmamento nocturno y, como es bien sabido, lo

desconocido siempre resulta inquietante. A consecuencia de un terremoto acontecido en Los Ángeles en 1994 hubo un corte del suministro eléctrico y, pese a los cientos de incendios declarados a lo largo de la ciudad, el cielo nocturno apareció en todo su esplendor sobre Los Ángeles. Los servicios de emergencia recibían numerosas llamadas de ciudadanos preguntando si la extraña nube plateada que se había formado en el cielo suponía algún peligro, si se había producido por algún tipo de escape tóxico. Por supuesto, lo que estaban viendo, quizá por primera vez, era la Vía Láctea.⁸



Representación artística del cielo de un planeta del sistema Alpha Centauri. Fuente: <http://en.wikipedia.org>.

3. VER EL CIELO EN UN PLANETARIO

Hay muchas formas de fomentar las vocaciones científicas, pero pocas tan directas e inmediatas como la observación del cielo nocturno.⁹ En el planetario comprobamos a diario cómo niños y mayores se maravillan ante el espectáculo del cielo nocturno, pese a ser estas simulaciones tan sólo un pálido reflejo de la sobrecogedora belleza del firmamento real. Ante una imagen así resulta casi inevitable querer saber más, comprender qué es lo que estamos observando. Por eso la contaminación lumínica, que nos priva de las estrellas, es el motivo por el que, en general, se conozca muy poco el firmamento.

En los diálogos que mantenemos habitualmente en el planetario con el público -con escolares y con adultos- comprobamos cómo, pese al indudable interés que les suscita el cielo estrellado y las ganas por aprender, para la inmensa mayoría de la población los astros son completos desconocidos.¹⁰ La creciente dificultad para encontrar lugares sin contaminar hace que el planetario suponga un pequeño reducto donde tener la oportunidad de conocer estrellas y constelaciones. Además, como ocurre con todo aquello que resulta poco conocido y entendido, proliferan los conceptos erróneos que debemos aclarar y abundan los mitos relacionados con el firmamento que es preciso desmontar. Sin haber llevado a cabo una encuesta formal, a lo largo de los años nos hemos podido hacer una idea bastante aproximada de lo poco habitual que resulta que la población, especialmente los más jóvenes, tenga acceso a un cielo de calidad. La inmensa mayoría de los escolares y muchos adultos no han visto nunca -o al menos no en muchos años- la Vía Láctea, apenas son capaces de nombrar correctamente unas pocas constelaciones o estrellas individuales y, normalmente, son incapaces de identificarlas en el cielo.

Sus conocimientos del firmamento nocturno suelen limitarse a unas pocas ideas, no siempre muy claras. Las tres principales, que suelen repetirse, son:

-Hay una estrella que señala el Norte y sirve para orientarse, llamada la Estrella Polar.

-El nombre de las constelaciones zodiacales.

-Algún personaje de la mitología grecorromana particularmente popular que cuenta con constelación en su honor, como Hércules o Perseo.

4. ORIENTARSE CON LAS ESTRELLAS

Una de las ideas erróneas que más se escucha en el planetario -y en las observaciones astronómicas públicas- es que la Estrella Polar, o *Polaris*, es el punto más brillante del cielo nocturno. La confusión viene de identificar la importancia y popularidad de la estrella (por señalar casi con exactitud la posición del norte) con un mayor brillo.¹¹ En realidad, con magnitud 2 hay decenas de estrellas más brillantes además de los cinco planetas visibles a simple vista, y marca aproximadamente el límite de lo que se puede ver en los lugares con mayor contaminación lumínica.¹² Saber orientarse utilizando las estrellas es un conocimiento ancestral que lamentablemente se está perdiendo poco a poco, en parte debido a la poca calidad de los cielos actuales y en parte porque la tecnología parece hacerlo innecesario. Pero su importancia no es solo histórica y cultural; comprender por qué existe una Estrella Polar, que su altura sobre el horizonte depende de nuestra latitud, y la observación cuidadosa del movimiento aparente de los astros con respecto a ella nos ayuda a entender numerosos conceptos astronómicos, además de geográficos y semánticos.

En *La Odisea* encontramos la primera referencia escrita de seres humanos que se guiaban por las estrellas. Aunque podemos dudar del sentido de orientación de Ulises, lo cierto es que la ninfa Calipso le indicó que la forma de dirigirse al Este era manteniendo siempre la Osa Mayor, que nunca se sumerge en el océano, a su izquierda. La referencia no es una estrella en particular, sino toda una constelación. Esto es debido a que, por el movimiento de precesión de la Tierra, realmente sólo hace unos pocos siglos que la Estrella Polar se utiliza como brújula. En la época de Homero no había ninguna estrella señalando el Norte; las mejores aproximaciones eran la Osa Menor (siendo la estrella *Kochab* la más próxima al Norte) o la cola de la constelación del Dragón.

Pero, efectivamente, la Osa Mayor ya era circumpolar en el Mediterráneo y, por tanto, nunca estaba bajo el horizonte; sus siete estrellas principales destacaban en el cielo y daba una idea razonablemente buena de la ubicación del Norte.

Usar las estrellas como guía no es algo exclusivo de los seres humanos, sino que también lo hacen algunos animales. Con la única limitación de que en algunos casos son necesarias instalaciones de gran tamaño, los planetarios son lugares excelentes para experimentar qué efecto tiene la visualización de las estrellas en el comportamiento animal, pues es muy sencillo cambiar las condiciones (más o menos estrellas, distintas fases lunares, simular cielos de diferentes latitudes, modificar arbitrariamente la posición o forma de ciertas constelaciones, etc.) y estudiar las reacciones de los animales. Así se ha demostrado, por ejemplo, que uno de los métodos -aunque no el único- que siguen muchas aves migratorias para no perder el rumbo es la observación de las estrellas.¹³ La luz de las ciudades vistas desde arriba resulta particularmente desconcertante para estas aves y a menudo tiene consecuencias fatales, siendo la colisión con edificios la principal causa de muerte de aves migratorias (junto con la reducción de su hábitat).¹⁴

Cualquiera que haya viajado en avión y observado las ciudades de noche puede comprender la confusión; cómo las luces de calles y edificios se asemejan a la de las estrellas y parece que tengamos el cielo a nuestros pies.

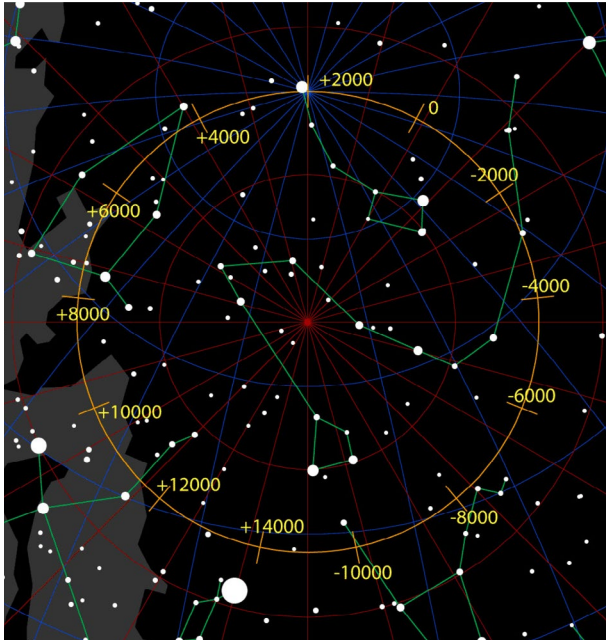
También combinando estudios de campo con experimentos en planetarios se ha demostrado que los escarabajos peloteros, aunque incapaces de distinguir estrellas aisladas, utilizan la Vía Láctea para avanzar en línea recta.¹⁵ Este estudio es tan sorprendente y divertido (colocaron pequeñas viseras a los escarabajos para impedirles ver el cielo en el campo, en el planetario proyectaron diferentes cielos con y sin la Vía Láctea y grabaron el movimiento de los escarabajos con sus bolas de excrementos) que fue merecedor en 2013 del Ig nobel de biología... ¡y de astronomía!¹⁶ Pero una de las conclusiones derivadas de este estudio es que es muy posible que, igual que nos ocurría con estos coleópteros hasta hace muy poco, ni siquiera sospechemos la importancia de un cielo estrellado para el desempeño de las funciones vitales de numerosos seres vivos.

5. HORÓSCOPOS Y EL ZODIACO

Las constelaciones más populares entre el público son sin duda las del zodiaco; al divulgar astronomía, independientemente del nivel educativo y la edad de los visitantes, nos encontramos con que todos conocen su signo zodiacal y muestran un gran interés por la constelación correspondiente. Sin embargo, al no poder ver habitualmente las estrellas, es común ignorar la forma de esa constelación. Cualquier persona que pueda disfrutar de un cielo poco contaminado y lo observe con asiduidad podrá comprobar que el Sol y la Luna (y también los planetas, razonablemente fáciles de distinguir de las estrellas a simple vista) no se encuentran en cualquier parte del cielo, sino sólo delante de unas pocas constelaciones, las que llamamos zodiacales. El signo del zodiaco viene dado por la posición del sol con respecto al fondo de estrellas lejanas visto desde la Tierra. Por supuesto, las constelaciones son un invento arbitrario que no sigue ningún criterio científico. Aunque, tanto encontrar patrones en la distribución aleatoria de estrellas en el cielo y formar figuras, como asumir que nuestro destino está de algún modo influenciado por los astros parece algo casi universal, tanto las constelaciones como las predicciones varían con cada cultura.

Actualmente se sabe con absoluta certeza que ningún planeta o estrella lejana ejerce sobre nosotros efecto alguno (no nos referimos, por supuesto, a eventos como la caída de un asteroide de grandes dimensiones o la explosión de una supernova cercana, que obviamente sí nos afectarían) más allá de que podamos observarla en el firmamento. Paradójicamente, el hecho de que sea cada vez menos habitual ver -y por extensión, comprender- las constelaciones, favorece la creencia en pseudociencias como la astrología.

El movimiento de precesión del que hablábamos en el apartado anterior es el principal responsable de que las fechas que dan los astrólogos para definir los signos del zodiaco no se correspondan con la constelación en la que realmente se encuentra el Sol. Y, por tanto, el signo zodiacal de la mayoría de la gente no es el que ellos creen, lo cual -sin tener ninguna importancia práctica- sí hace aún más evidente el hecho de que el no conocer los cielos puede llevarnos a creer de manera acrítica a astrólogos y otros charlatanes del estilo.¹⁷



Posición cambiante del norte a lo largo del tiempo debido al movimiento de precesión. Fuente: <http://en.wikipedia.org>.

Como decíamos antes, considerar que los astros y sus posiciones tenían efectos en nuestras vidas diarias ha sido una creencia muy extendida entre los seres humanos a lo largo de nuestra historia y que, afortunadamente, la ciencia se ha encargado de desterrar. Curiosamente, el cielo y las estrellas siempre se han considerado sinónimo de lo inalcanzable, la perfección y lo inmutable. Ningún pueblo del pasado consideró la posibilidad de que sucediera lo que ha ocurrido en el último siglo, que los hombres fuéramos capaces de borrar las estrellas del firmamento mediante la iluminación artificial.

También existen numerosas leyendas urbanas que relacionan las fases de la Luna, especialmente la luna llena, con el comportamiento y fisiología humanos, de ahí el adjetivo lunático, por ejemplo. Como ya hemos indicado, el único efecto de la Luna sobre nuestro organismo es la luz que recibimos de ella; en un ambiente sin nubes ni contaminación lumínica, durante las noches de luna llena los niveles de iluminación son cientos de veces mayores que en las de luna nueva. Pese a creencias muy extendidas, todos los estudios demuestran que no hay mayor número de nacimientos ni se cometen más delitos

las noches de luna llena, ni tiene ésta influencia alguna en la salud mental de los seres humanos.¹⁸ Lo que sí se sabe desde hace tiempo es que a mayor nivel de iluminación, menor cantidad y calidad del sueño.¹⁹



Globo celeste (1621-1631), G.J. Bleau. Globo representando las diferentes constelaciones vigentes en la época. Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, El lado oscuro de la luz. Contaminación lumínica.



Galaxia NGC 6744, similar al aspecto que presentaría nuestra galaxia desde fuera. El Sol sería un puntito entre cientos de miles de millones de estrellas. Fuente: <http://www.eso.org>.

6. HISTORIAS EN EL CIELO

Estudiar las estrellas, unir las con líneas imaginarias para crear figuras y contar historias sobre ellas ha sido algo consustancial al ser humano desde el principio de los tiempos, y la práctica totalidad de las diferentes culturas crearon sus propias constelaciones con infinidad de historias asociadas. Todas las culturas se han desarrollado con diferentes climas, rodeados de distinta fauna y flora y diversos accidentes geográficos. Sin embargo, todos tenían en común el cielo estrellado -aunque no se vieran exactamente las mismas estrellas-, que supone un elemento importantísimo para todos los seres humanos a nivel global. La importancia de la observación de los cielos en las culturas antiguas, y su uso científico, mitológico y religioso es estudiado por la arqueoastronomía.

Las constelaciones modernas que podemos ver desde latitudes medias del hemisferio norte se basan principalmente en las grecorromanas. Su nombre, estrellas que las componen y límites fueron aprobados por la Unión Astronómica Internacional en 1930. Las historias de la mitología griega, con sus dioses y héroes, son relativamente conocidas y nos ayudan a comprender cómo pensaban y entendían la vida, cuáles eran sus ideales y las bases de su moral. Lo mismo podemos decir de las constelaciones de otras culturas, con frecuencia ignotas para nosotros. Sin embargo, sin ese recordatorio constante que son las estrellas en el cielo, tendemos a olvidar poco a poco las distintas constelaciones, sus historias y los pueblos que las contaban. Por supuesto que esas historias pueden conservarse por escrito, pero sin la observación de las estrellas que le sirvieron de inspiración y donde se encuentran reflejadas, se quedan a medias y pierden parte de su fuerza y razón de ser. De modo que el cielo nocturno también constituye un patrimonio cultural de la humanidad y, como tal, merece la pena preservarse.

La Vía Láctea resulta inapreciable en un cielo con contaminación lumínica y ha dejado de formar parte de nuestro paisaje celeste, hasta el punto de que casi nadie piensa en la Vía Láctea cuando piensa en la noche. Sin embargo, hasta hace un siglo ha sido un componente llamativo e imprescindible del cielo nocturno y cada

cultura cuenta con su historia que explica de forma mítica el origen de esa banda blanquecina o plateada que surca los cielos. Una zona particularmente bella y enigmática del firmamento, cuya verdadera naturaleza sólo pudo ser comprendida cuando Galileo la observó con su telescopio a principios del siglo XVII.

7. EL DESASTRE: LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Etimológicamente, la palabra desastre significa “sin astro” o “sin estrella” (“des-” y “astro”). Las acepciones que contempla la RAE de desastre son:

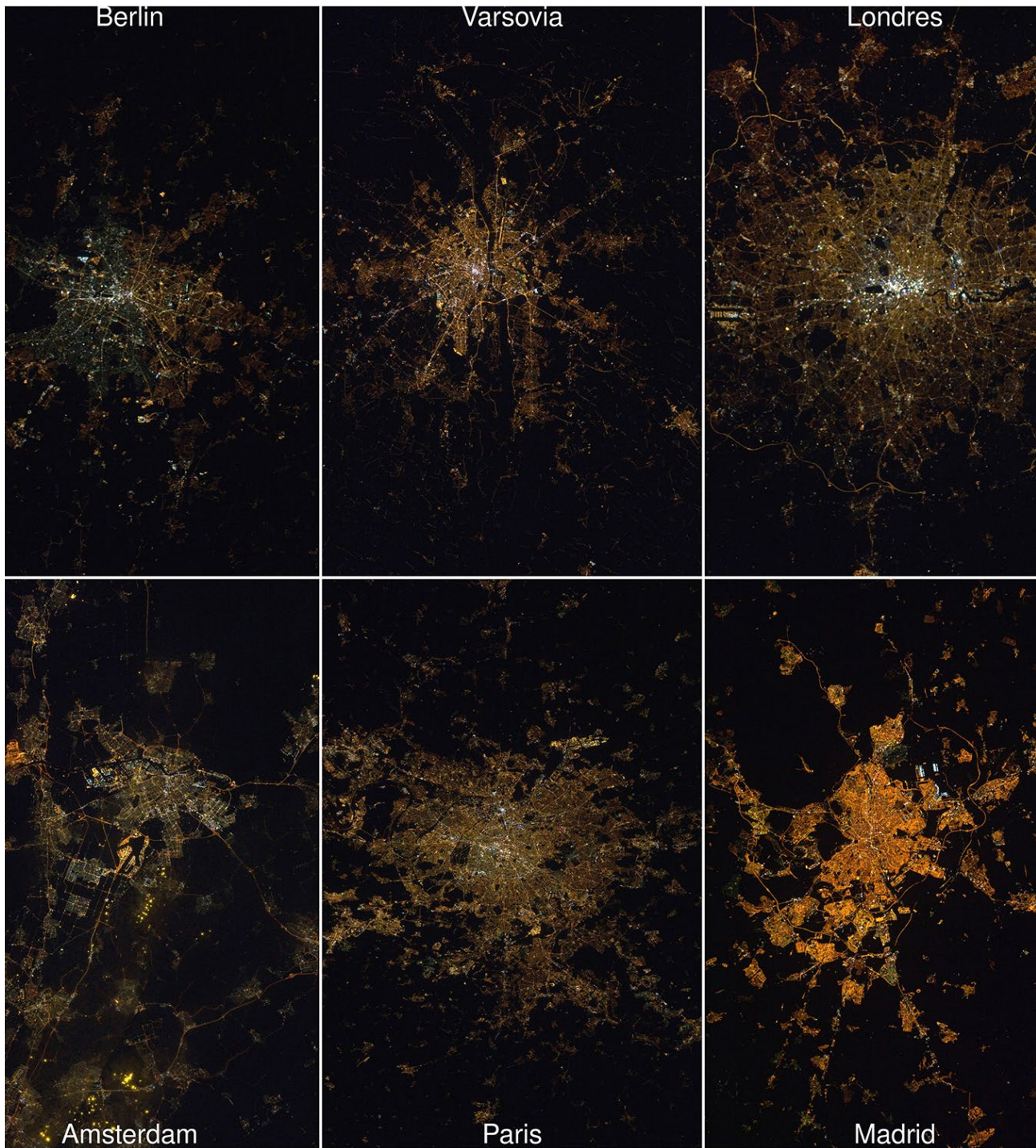
Desgracia grande, suceso infeliz y lamentable.

Cosa de mala calidad, mal resultado, mala organización, mal aspecto, etc.

Todo ello es aplicable a la contaminación lumínica, una desgracia grande debida a una iluminación de mala calidad que da un mal resultado y nos deja sin estrellas.

El miedo atávico a la oscuridad ha llevado a nuestros ancestros a intentar iluminar la noche para protegerse de las alimañas. No obstante, la noche no empezó realmente a perder su esencia -la oscuridad- en el entorno de las ciudades hasta que se generalizó la luz eléctrica, particularmente después de que Thomas Alva Edison perfeccionara la bombilla incandescente. Tanto es así que, tras su muerte en 1931, el propio presidente Roosevelt pidió, en señal de luto y homenaje, que todos los estadounidenses apagaran la luz durante un minuto a las 22:00 horas. En esta época ya se usaba tanta luz eléctrica como para que su apagado se convirtiera en un homenaje significativo.²⁰

Y desde entonces la iluminación artificial nocturna ha ido a más de manera vertiginosa, implantándose a nivel planetario no sólo en las ciudades sino también en zonas rurales. Hoy en día contamos con impresionantes imágenes de satélites meteorológicos que nos muestran el aspecto de la Tierra de noche desde el espacio, un planeta indudablemente con luz propia. Aún más espectaculares, por su mayor resolución, son las fotografías en color tomadas por los astronautas de la Estación Espacial



Imágenes de capitales europeas tomadas la misma noche desde la Estación Espacial Internacional que se utilizó en la presentación del proyecto www.citiesatnight.org.²¹

Internacional. El 12 de julio de 2014 se cumplieron los primeros 5000 días de presencia ininterrumpida de seres humanos en el espacio. Durante estos casi 14 años se han tomado más de un millón trescientas mil imágenes de nuestro planeta, muchas de ellas –especialmente en los últimos años– de gran calidad y belleza. El proyecto *cities at night* (www.citiesatnight.org) pretende, mediante una iniciativa de ciencia ciudadana, clasificar el mayor número posible de estas imágenes para poder utilizarlas en diferentes estudios de gasto energético, contaminación lumínica, etc.

Al tomar conciencia de todo lo que perdemos al hacer desaparecer la oscuridad de la noche y el cielo estrellado, lo lógico sería pensar que los beneficios que conseguimos mediante la iluminación artificial nos pueden llegar a compensar de esa pérdida. Nada más lejos de la realidad. Si bien es cierto que una mayor iluminación nos proporciona más sensación de seguridad, no existe estudio o dato empírico alguno que avale la idea de que con más luz hay un descenso de los índices de criminalidad o se producen menos accidentes de tráfico.²² En verdad parece que aumenta nuestra percepción de seguridad sin un incremento real de ésta, y es precisamente esa falsa sensación de seguridad la que puede hacernos particularmente vulnerables. También es compatible la prolongación de las horas de ocio o de productividad laboral con unos niveles de iluminación exterior sorprendentemente bajos, de modo que la necesidad de tanta luz artificial (alrededor de ocho millones de puntos de iluminación exterior en España)²³ es más que cuestionable.

8. ¿CÓMO CONCIENCIAR A LA POBLACIÓN SOBRE EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA?

En todos los programas educativos realizados en el Museo de la Ciencia y el Agua de Murcia siempre procuramos abordar diversos problemas medioambientales que interesan a los ciudadanos y contribuir a la toma de conciencia sobre la necesidad de resolverlos. Temas como la escasez de agua potable, la destrucción de los bosques, la pérdida de la biodiversidad o la contaminación

atmosférica han sido tratados en varias exposiciones temporales y forman parte de los contenidos de nuestra exposición permanente instalada en la “sala del agua”.

En esta ocasión no podemos olvidarnos tampoco de un problema que afecta a todos los ciudadanos por tratarse de un factor importante para el equilibrio natural y la calidad de la vida humana. Sensibilizar a nuestros visitantes sobre la necesidad de devolver a nuestro cielo nocturno la nitidez y el brillo nocturno ha sido nuestro objetivo principal en el proyecto y diseño de la exposición titulada *El lado oscuro de la luz. Contaminación lumínica*. Esta muestra fue inaugurada en marzo de 2014 y podremos disfrutar de ella en la sala de exposiciones temporales del Museo de la Ciencia y el Agua de Murcia durante varios meses; más adelante realizará un itinerario por varios espacios expositivos de la red de museos de ciencia y tecnología de España.

La visita a la exposición invita a los/las ciudadanos/as a realizar un ameno recorrido organizado en cuatro ámbitos temáticos que nos ayudan a conocer los principios básicos de la luz y la visión, así como las causas y consecuencias de la contaminación lumínica y las soluciones que tenemos a nuestra disposición para disminuir sus efectos.

Todas las disciplinas implicadas en esta exposición son expuestas de forma práctica y mediante sencillos experimentos. Haciendo uso de la interactividad e intentando fomentar la participación del público, procuramos una visita educativa, sin desatender el rigor científico y la divulgación de las últimas investigaciones que se vienen desarrollando en este campo.

En el ámbito 1, titulado “Física de la luz”, se abordan los mecanismos de funcionamiento de la luz y la visión y se explica el espectro electromagnético, al que pertenece la longitud de onda que conforma la luz visible al ojo humano. Se describen también fenómenos asociados a la luz tales como la refracción, el esparcimiento y la extinción atmosférica.

En el ámbito 2, dedicado a las “causas de la contaminación lumínica”, se define en qué consiste la contaminación lumínica y se tratan las formas de iluminar, causantes de la misma. También se dan a conocer algunas alternativas que la evitan y hacen factible una iluminación exterior nocturna eficiente, sin perjudicar la visión del cielo y los hábitats nocturnos.



Exposición El Lado Oscuro de la Luz. Contaminación Lumínica.

Las “consecuencias de la contaminación lumínica” es la temática principal del ámbito 3, en el que constatamos la principal evidencia de la contaminación lumínica: la mayor parte de las estrellas y objetos celestes visibles en la noche están desapareciendo de nuestros cielos. Pero éste es sólo uno de los efectos, ya que también tiene una gran incidencia en la biodiversidad, en la calidad de vida e incluso tiene repercusión directa sobre la salud humana, debido sobre todo a la cronodisrupción (alteración relevante del orden temporal interno de los ritmos circadianos fisiológicos y conductuales), que rompe el ciclo natural día/noche por el que se rige el cuerpo humano.

A todo ello debe sumarse el enorme coste energético que supone la producción innecesaria de luz en el alumbrado público. Los costes en iluminación pública se han disparado en los países del sur de Europa, precisamente aquellos que, como España, están atravesando por una,

evitable, crisis económica que está afectando sobre todo a la población más desfavorecida. Soslayar el derroche energético es posible, sólo se trata de alumbrar de forma adecuada y eficiente.

El último ámbito de la exposición nos permite finalmente conocer varias iniciativas que se vienen desarrollando en algunos lugares de España y Europa, así como en algunos otros lugares del mundo, con las que se pretende atajar este problema y avanzar en la recuperación de un cielo nocturno descontaminado.

Queremos terminar agradeciendo la predisposición y apoyo de muchas personas que han colaborado para que la exposición, y todas las actividades complementarias de la misma, hayan podido hacerse realidad.

9. NOTAS

1. En la página web de Cel Fosc, Asociación contra la contaminación lumínica (www.celfosc.org), encontramos numerosa información sobre todos estos aspectos.
2. Se puede observar la colección en la página del autor <http://thierrycohen.com>.
3. Montserrat Villar (Instituto Astrofísico de Andalucía - CSIC) fue una de las coordinadoras de *2009 Año Internacional de la Astronomía*. En la página web del proyecto dedicó una serie de artículos muy interesantes sobre el tema de la astronomía en el arte: http://astronomia2009.es/Zona_Articulos/Astronomia_y_Arte.html.
4. La novela cuenta con una reedición en castellano de la editorial Debolsillo del año 2014.
5. La imagen sirvió de inspiración y título para uno de los libros de divulgación más conocidos de Carl Sagan, publicado en 1994.
6. En pleno siglo XXI, con la Tierra fotografiada con detalle, sigue habiendo iniciativas como el mosaico de imágenes en las que aparece nuestro planeta, tomadas por la sonda Cassini desde la órbita de Saturno el 19 de julio de 2013. *El día que la Tierra sonrió*.
7. La obra se inspiró en un texto del escritor estadounidense del siglo XIX Ralph Waldo Emerson, en el que afirmaba que si un espectáculo tan bello como el cielo estrellado ocurriera cada mil años en lugar de cada noche las gentes se maravillarían y conmemorarían durante generaciones esa visión. La tesis de Asimov y su editor es que el cielo estrellado sería aterrador y todo el mundo enloquecería.
8. Esta anécdota, narrada en muchos libros y artículos, aparece reflejada por primera vez en el libro de Terence Dickinson *Descubrir y Comprender el Cosmos*, editado en castellano por Ediciones Tutor.
9. Esto también es aplicable para las vocaciones artísticas. Por ejemplo, el popular escritor de fantasía y ciencia ficción George R. R. Martin narra en su obra *Luz de estrellas lejanas* (Gigamesh, 2013) cómo de niño contemplaba la luz de estrellas lejanas como Rigel o Betelgeuse, sintiéndose al mismo tiempo grande y pequeño, y experimentando una sensación de maravilla que de algún modo quiso transmitir posteriormente en su obra.
10. El planetario se encuentra ubicado en el Museo de la Ciencia y el Agua (Murcia), www.cienciayagua.org.
11. Un ejemplo reciente de cómo se divulga entre los más pequeños este concepto erróneo lo encontramos en el episodio de la segunda temporada de la serie infantil "Peppa Pig" llamado *Stars*, donde no sólo aparece la Estrella Polar muy destacada sobre el resto de las estrellas, sino que Peppa le dedica una canción cuya letra dice (en la versión doblada al castellano, no así en la versión original) que la Estrella Polar brilla más que las demás.
12. En wikipedia encontramos una lista de las estrellas más brillantes vistas desde la Tierra, ocupando la Estrella Polar el puesto 48 (contando el Sol). http://es.wikipedia.org/wiki/Lista_de_las_estrellas_m%C3%A1s_brillantes.
13. Stephen T. Emlen. Celestial rotation: its importance in the development of migratory orientation. *Science* 01/1971; 170(3963), 1198-1201. Doi:10.1126/science.170.3963.1198.

14. *The Fatal Light Awareness Program* (FLAP) presenta los datos para USA y Canadá, probablemente extrapolables a Europa: <http://www.flap.org/pdfs/HierarchyofThreats.pdf>.

15. Marie Dacke *et al.* Dung Beetles Use the Milky Way for Orientation. *Current Biology*, Volume 23, Issue 4, 18 February 2013, 298–300. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2012.12.034>.

16. Más sobre los Ig Nobel en www.improbable.com.

17. En la muy recomendable web de la NASA para educación primaria *The Space Place* (con todos sus contenidos traducidos al castellano) vienen las fechas reales en las que el Sol se encuentra en cada constelación: <http://spaceplace.nasa.gov/starfinder3/sp/>.

18. Mark Owens and Iain W. McGowan. Madness and the Moon: The Lunar Cycle and Psychopathology. *German J. Psychiatry* 2006, 9:123-127.

19. Un estudio de 2013 (Cajochen *et al.*, Evidence that the Lunar Cycle Influences Human Sleep, *Current Biology*, 23: 1485–1488, 5 Aug 2013) planteaba la posibilidad de la existencia de un reloj circalunar en humanos que provocara variación en calidad y duración del sueño según las fases de la Luna, incluso en condiciones en las que ésta no fuera visible. Sin embargo, un metaanálisis posterior lo desestima, achacando los resultados al sesgo de publicación: Maren Cordi *et al.*, Lunar cycle effects on sleep and the file drawer problema. *Current Biology*, 24: R549–R550, 16 Jun 2014.

20. Sobre la historia de la iluminación artificial son destacables los libros *Brilliant*, de Jane Brox (Mariner Books, 2010. Sin edición en castellano), y *The Age of Edison*, de Ernest Freeberg (Penguin, 2014. Sin edición en castellano).

21. Alejandro Sánchez de Miguel, José Gómez Castaño, Jaime Zamorano, Sergio Pascual, M. Ángeles, L. Cayuela, Guillermo Martín Martínez, Peter Challupner and Christopher C. M. Kyba. *Atlas of astronaut photos of Earth at night*. A&G (2014) 55 (4): 4.36 doi:10.1093/astrogeo/at165.

22. Esta idea ha estado siempre tan arraigada que las primeras compañías de iluminación eléctrica en Estados Unidos publicitaban su producto como "una fuerza policial sobre postes".

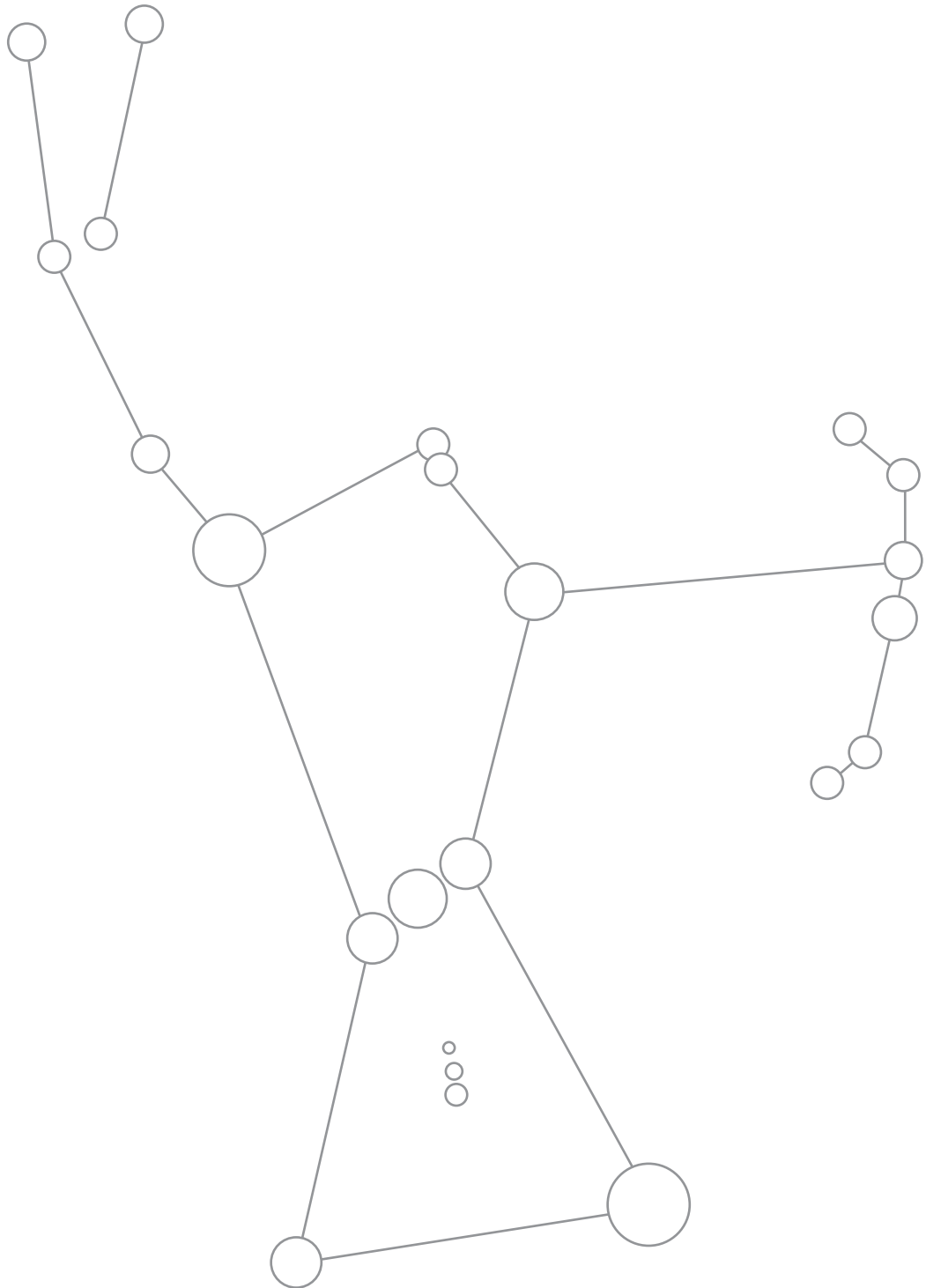
23. Datos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía para 2013: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Articulo_Alumbrado_exterior_2014_v2_8b108725.pdf.

9. SOBRE LOS AUTORES

Maribel Parra es Directora del Museo de la Ciencia y el Agua desde el año 1996. Entre otras funciones, se ocupa en esta institución de la dirección de exposiciones de producción propia y programas de divulgación científica, así como de la coordinación y/o redacción de publicaciones y guías didácticas relacionadas con el programa de exposiciones temporales. Es de destacar la organización de algunos proyectos expositivos que han trascendido el ámbito regional y cuyos resultados se han mostrado en varios museos españoles y europeos. Ha participado en numerosos congresos y seminarios que abordaban temas relacionados con la educación en museos y la museografía didáctica. Es profesora asociada del Departamento de Didáctica de las Ciencias Matemáticas y Sociales, y del Máster Universitario en Historia y Patrimonio Histórico en la Universidad de Murcia.

Miguel Ángel Paredes es docente en el Museo de la Ciencia y el Agua. Además de su experiencia como profesor de secundaria (Biología y Geología) durante varios cursos, ha sido ponente en decenas de cursos y actividades relacionadas con temas de astronomía y otras ciencias, así como el uso de las TIC en la enseñanza. Es miembro de Cel Fosc, Asociación contra la Contaminación Lumínica, y de la Asociación de Divulgación Científica de la Región de Murcia.

Ambos son comisarios de la exposición producida por el Museo de la Ciencia y el Agua, con la colaboración de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (Ministerio de Economía y Competitividad), El lado oscuro de la luz. Contaminación lumínica.



EL LADO
OSCURO
DE LA LUZ
CONTA-
MINACIÓN
LUMINICA

UNA “VENTANA DE ENTRADA” A LA ASTRONOMÍA

Antonio Guirao Piñera



Panorámica nocturna de la Vía Láctea desde la plataforma de Paranal, Chile. Fuente: ESO/H.H. Heyer.

1. ASTRONOMÍA: LA CIENCIA DE LAS LEYES DE LOS ASTROS

1.1. ACERCÁNDONOS A UNA DEFINICIÓN DE “ASTRONOMÍA”

La palabra “astronomía” proviene del latín *astronomĭa* y ésta, a su vez, deriva del griego *αστρονομία*, que está compuesta por *άστρον* (*astron*: astro, estrella) y *νόμος* (*nomos*: regla, norma). Etimológicamente, por tanto, la astronomía es la ciencia de las leyes de los astros.

El diccionario de la Real Academia Española define “astronomía” como “ciencia que trata de todo lo que se refiere a los astros, y principalmente a las leyes de sus movimientos”. Por otra parte, el diccionario nos dice que un astro es “cada uno de los innumerables cuerpos celestes que pueblan el firmamento”.

Así que la astronomía es la ciencia que se ocupa del estudio, especialmente de la posición y del movimiento,

de los cuerpos celestes del universo, incluidos los planetas y sus satélites, los cometas y meteoroides, las estrellas, las galaxias y los cúmulos de galaxias.

Los científicos que practican la astronomía son los astrónomos. Ellos se ocupan de descubrir nuevos cuerpos celestes, de determinar la posición de los mismos y de medir su tamaño, de conocer sus movimientos y de proponer modelos y leyes que los expliquen, etc. Astrónomos importantes en la historia fueron, por ejemplo, Ptolomeo, Copérnico, Kepler y Galileo.

La astronomía hunde sus raíces en Babilonia y en el Antiguo Egipto. Desde entonces hasta ahora, esta ciencia ha evolucionado de forma espectacular. Los antiguos astrónomos determinaron la posición de unas mil estrellas observando sólo con sus ojos. El Renacimiento trajo el telescopio, y con él el descubrimiento de los satélites de Júpiter y de un horizonte sin fin de nuevas estrellas. Un poco después se pudieron explicar las órbitas de todos los cuerpos celestes con un modelo

único y simple: la teoría de la gravedad. Y en el siglo XX, los astrónomos pudieron observar la expansión del universo.

La astronomía ha dejado importantísimos y sorprendentes descubrimientos que han cambiado nuestra manera de ver el mundo. De hecho, los astrónomos protagonizaron una de las revoluciones científicas más significativas de la historia: la “revolución copernicana”, que abandonó el modelo geocéntrico y dio paso a la mecánica newtoniana.

En la publicación *100 conceptos básicos de astronomía*, elaborada por la Sociedad Española de Astronomía, se dice que “la astronomía se dedica a estudiar las posiciones, distancias, movimientos, estructura y evolución de los astros y para ello se basa casi exclusivamente en la información contenida en la radiación electromagnética o de partículas que alcanza al observador”.

Y es que para el estudio de los astros es preciso, en primer lugar, poder observarlos. A diferencia de otros científicos, los astrónomos no pueden manipular directamente los objetos que estudian (planetas, estrellas, etc.), y para sus descubrimientos tienen que basarse en la radiación electromagnética que emiten (luz visible, luz infrarroja, microondas, ondas de radio, etc.).

Tradicionalmente, los astrónomos han observado la luz visible proveniente de los astros, pero hoy día disponen de sofisticados instrumentos que les permiten detectar la radiación no visible y las partículas materiales que también emiten los cuerpos celestes.

Actualmente, los astrónomos usan telescopios, globos sonda, satélites, detectores de partículas, espectrómetros y otros muchos instrumentos de observación y de análisis. Sin embargo, en el pasado, las observaciones se realizaban a “ojo desnudo” con la sola ayuda de instrumentos de posicionamiento como cuadrantes o sextantes.

1.2. ASTRONOMÍA VS. ASTROFÍSICA

Astrofísica y astronomía son dos palabras que se utilizan habitualmente como sinónimos, ya que los campos de estudio de ambas disciplinas están muy entrelazados. No obstante, la astrofísica es una parte de la astronomía, la cual es más general.

La astronomía abarca dos ramas principales: la astronomía clásica (que comprende la mecánica celeste y la astronomía de posición, es decir, las leyes del movimiento de los astros y su posición) y la astrofísica. Podemos decir que todos los astrofísicos son astrónomos, aunque no todos los astrónomos son físicos. De todas formas, casi toda la investigación astronómica moderna es astrofísica.

El diccionario define la astrofísica como “parte de la astronomía que estudia las propiedades físicas de los cuerpos celestes, tales como luminosidad, tamaño, masa, temperatura y composición, así como su origen y evolución”.

La astrofísica es la rama de la física que estudia el universo. La astrofísica se basa en la premisa de que las leyes de la física y de la química son las mismas en todo el universo, y que los elementos que componen la materia son también universales. La astrofísica nació como una aplicación de la física a los fenómenos observados por la astronomía.

Los astrofísicos son astrónomos que, utilizando las herramientas (teorías, leyes, instrumentos, etc.) de la física, estudian cuestiones del tipo: la composición química de una estrella, la masa de un planeta, la trayectoria de un cometa, la temperatura de una estrella y el brillo que emite, la distancia a la que está una galaxia, la edad de los astros, la estructura del universo, los agujeros negros, etc.; comprueban la validez de la teoría de la relatividad, proponen teorías sobre el origen y evolución del universo (como la teoría del *Big Bang*), o comprueban la posibilidad de vida en otros lugares fuera de la Tierra.

Durante el siglo XX, muchos premios Nobel de física han recaído en científicos relacionados directa o indirectamente con la astrofísica y, por tanto, con la astronomía. Así, se han premiado logros por el estudio de la radiación cósmica (1936 y 1948), el descubrimiento de púlsares o estrellas de neutrones (1993), la detección de neutrinos y fuentes de rayos X cósmicos (2002), la medición de la radiación de fondo de microondas (2006), el descubrimiento de la expansión acelerada del universo (2011), y la teoría de cómo las partículas elementales que forman el universo adquieren su masa a través del bosón de Higgs (2013). En los últimos veinte años, cinco de los



La Galaxia del Sombrero. Fuente: NASA/ESA, The Hubble Heritage Team.

premios han reconocido investigaciones de astrofísica, lo que supone un reconocimiento del papel de la astronomía en la ciencia.

1.3. ASTRONOMÍA VS. ASTROLOGÍA

Es importante no confundir la astronomía (que estudia los cuerpos celestes mediante el método científico) con la astrología (que hoy día es una pseudociencia, rechazada por la comunidad científica, que sigue creencias no probadas o erróneas).

Muchas ciencias utilizan en su nombre el sufijo griego *λογία* (*logía*), que significa "tratado o estudio". Así ocurre con la cosmología, la biología, la psicología, etc. Etimológicamente, "astrología" significa "estudio de los astros". La astronomía podría haberse llamado "astrología"; de hecho, en su origen, astrología y astronomía fueron lo mismo, aunque sus contenidos y métodos se han separado con el tiempo.

La astrología data de más de dos milenios antes de nuestra era. Comienza con la elaboración de los primeros calendarios que permitan predecir las estaciones y los ciclos estelares. Durante siglos la astrología y la astronomía siguieron relacionadas, hasta el Renacimiento, cuando todavía científicos de la talla de Kepler o Galileo practicaban como astrólogos de la corte. Pero a partir del siglo XVII, con la revolución científica, la astrología comenzó a distinguirse de la astronomía y perdió su estatus, quedando como un conjunto de creencias sin fundamento científico que no hace avanzar nuestro conocimiento del universo.

La astrología consiste en la adivinación o predicción, partiendo de la hipótesis no demostrada de que algunos astros influyen sobre la Tierra y sus habitantes mediante fuerzas desconocidas que condicionan sus inclinaciones, personalidad o futuro. Las diferentes astrologías (existen varias tradiciones, a menudo incompatibles entre sí) se basan generalmente en estudiar las posiciones relativas y movimientos de varios cuerpos celestes (Sol, Luna y

planetas) tal como se ven a la hora y desde el lugar de un determinado suceso, por ejemplo el nacimiento de una persona. En occidente el sistema más común utiliza el horóscopo (del griego *hora-skopeo*: examinar la hora).

La astronomía pone de manifiesto muchas incongruencias de la astrología. Por ejemplo, existe en el zodiaco una decimotercera constelación (Ofiuco). Además, debido al hecho de que el eje de la Tierra se desplaza cada año, transcurridos tres mil años desde que se fijara el primitivo zodiaco deberíamos atrasar el horóscopo un signo completo.



Constelación de Escorpio.

La astrología ha fracasado como práctica predictiva y su relativo éxito solo se justifica porque sus descripciones son tan generales y ambiguas que resultan aplicables casi a cualquier persona.

No hay que negar el valor que tuvieron originariamente los primeros intentos precientíficos de ofrecer una explicación de los fenómenos terrestres recurriendo a algún tipo de efecto causado por los cuerpos celestes. La física ha dejado claro que la influencia que ejercen

los astros entre sí es la interacción gravitatoria y el intercambio de radiación electromagnética o de partículas. Esto puede explicar el fenómeno de las mareas y algunos efectos fisiológicos provocados por la luz, pero más allá de que el sol pueda influir en el estado de ánimo o en el color de la piel, es absurdo pensar que la posición de los astros pueda influir en la personalidad o en nuestro destino.

1.4. ASTRONOMÍA EN LA CULTURA POPULAR

La astronomía es una ciencia, pero no es un asunto exclusivamente de científicos; al contrario, la astronomía es una de las ciencias que más presencia tiene en la cultura general.

Sorprende que en internet la palabra "astronomía" tenga cerca de siete millones de entradas con el buscador Google, un resultado similar al que producen términos cotidianos como "zapato" o "conejo".

Muchísimas palabras de nuestro vocabulario tienen que ver directa o indirectamente con la ciencia de los astros, y las utilizamos con bastante frecuencia, aún sin fines científicos; por ejemplo: Sol, Luna, estrella, universo, luz, eclipse, firmamento, hora, mes, calendario, etc. Además, nuestro lenguaje común y literario recurre a menudo a metáforas relacionadas también con la astronomía, por ejemplo: "brillar como una estrella", "la luna de sus ojos", "una constelación de jugadores", etc.

La astronomía tiene una fuerte imbricación con muchas manifestaciones culturales. Está presente en la religión, en el folklore o en el arte. Por quedarnos con un ejemplo, mencionaremos que la astronomía es un tema recurrente en la cultura musical. Se han dedicado a los cuerpos celestes multitud de títulos de obras o de temáticas tanto en la música clásica como casi en todos los estilos modernos (rock, pop, heavy, etc.); además, miles de canciones populares hacen mención en sus letras a la Luna, al Sol o a las estrellas. La lista sería larguísima, pero podemos poner como ejemplos los siguientes: la sinfonía *Júpiter* de Mozart, la sonata *Claro de Luna* de Beethoven, la suite *Los planetas* de Holst, la canción *CTA 102* que la banda americana The Byrds dedicó al quásar homónimo, el tema *When two worlds collide* de Iron



La noche estrellada, de Vincent van Gogh.

Maiden, las canciones *Walking on the Moon* del grupo The Police y *Eye in the sky* de Alan Parson, el disco *Astronomía razonable* de la formación española El Último de la Fila, el tema *Yellow* de Coldplay inspirado en las estrellas, etc.

Es habitual encontrar objetos relativos a la astronomía o referencias a la misma en nuestro entorno cotidiano. Por ejemplo, encontramos relojes de sol en las ciudades, objetos decorativos o de regalo con estrellas (camisetas, tazas, paraguas, planisferios, llaveros, etc.; el telescopio sigue siendo uno de los regalos científicos por excelencia), telescopios en comercios y en algunos hogares, noticias en los medios de comunicación sobre eclipses o descubrimientos astronómicos (dejamos al margen las informaciones de tipo astrológico que, lamentablemente, los horóscopos de los periódicos nos siguen trayendo a diario), etc.

Existen muchas personas interesadas en la astronomía, ya sea porque los cielos nocturnos nos cautivan por su belleza o porque suscitan las preguntas básicas sobre lo que somos. La observación, aunque sea ingenua, de los cuerpos celestes es nuestra puerta de entrada al universo. Así comenzó, en parte, el interés del hombre por la naturaleza y su motivación a querer explicarla.

La astronomía es una de las pocas ciencias en las que los aficionados pueden desempeñar un papel activo. Por ejemplo, personas con conocimientos básicos de astronomía, fuera del mundo académico o científico,

contribuyen a la ciencia con el descubrimiento de asteroides y ayudando a seguir curvas de luz de estrellas o trayectorias de cometas. También hay un gran número de astrónomos aficionados muy activos que colaboran en divulgar la astronomía mediante la realización de talleres y de observaciones del cielo para el público.

Existen asociaciones de astrónomos de tipo local, nacional e internacional, como por ejemplo la Agrupación Astronómica de la Región de Murcia, la Sociedad Española de Astronomía y la International Astronomical Union, respectivamente. En particular, existen colectivos agrupados en defensa de la calidad de los cielos y de la reducción de la contaminación lumínica de las ciudades.

También existe un gran número de observatorios y centros dedicados a la astronomía que pueden ser visitados por el público o que poseen tal relevancia que son ampliamente conocidos. Así, en Murcia podemos visitar el Observatorio Astronómico Municipal de La Murta. En España, el Observatorio de la Armada, en San Fernando, es considerado el centro científico moderno más antiguo de nuestro país y uno de las más importantes del mundo, y nos da la hora oficial a los españoles. Internacionalmente, es de renombre en investigación el Instituto de Astrofísica de Canarias.

La Organización Mundial de las Naciones Unidas declaró el año 2009 como Año Internacional de la Astronomía como reconocimiento a la contribución de

esta ciencia a la sociedad, a la cultura y al desarrollo de la humanidad. Durante 2009 se celebraron en todo el mundo miles de actividades para motivar a los ciudadanos a replantearse su lugar en el universo a través del camino de descubrimientos que se inició en la Antigüedad y para conmemorar los 400 años del uso revolucionario del telescopio por Galileo, lo que inició la astronomía moderna.

1.5. RECUPERAR LA OBSERVACIÓN DEL CIELO

Hasta la invención del telescopio, la astronomía se desarrolló utilizando como único instrumento de observación el ojo humano. Resulta sorprendente la precisión con la que los hombres antiguos conocían

el cielo a simple vista. Ellos no tenían el problema de la contaminación lumínica de las ciudades ni el de la contaminación atmosférica. Hoy día, aunque teóricamente conozcamos la situación de muchos de los astros y planetas en el cielo, son muy pocas las personas que pueden disfrutar de la observación de los mismos.

Las estrellas y planetas menos brillantes no pueden distinguirse sobre un cielo nocturno con contaminación lumínica, ya que no ofrecen el contraste adecuado, de la misma manera que vemos menos estrellas en una noche de luna llena y que no podemos observar ninguna estrella sobre el cielo azul del día.

Si nos desplazamos al campo o a la montaña, fuera del alcance de la luz de las zonas urbanizadas, podremos



La Vía Láctea. Fuente: www.astromia.com.

encontrar un cielo con las condiciones de oscuridad y transparencia atmosférica necesarias que nos permitirá observar unas mil estrellas a ojo desnudo.

Están surgiendo movimientos en defensa de la calidad de los cielos nocturnos y de la reducción de la contaminación lumínica. Por ejemplo, *Starlight* es una iniciativa internacional en defensa de los valores del cielo nocturno como patrimonio científico, cultural y medioambiental de la humanidad. Surgió tras la “Declaración Mundial en Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a Observar las Estrellas”, que tuvo lugar en 2007 en la isla canaria de La Palma. En esta reunión se hallaban instituciones como la Unesco, la Organización Mundial del Turismo o la International Astronomical Union.

La observación astronómica ha dado lugar en los últimos años al astroturismo, que es un concepto de turismo basado en la contemplación del cielo nocturno por el que han apostado ya varias localidades en España.

2. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. DEL NEOLÍTICO AL RADIOTELESCOPIO

La astronomía es una de las ciencias más antiguas y también uno de los oficios más antiguos. El ser humano siempre ha tenido curiosidad por los astros. La astronomía se ha manifestado en todas las culturas humanas y en todas las épocas.

2.1. LA EDAD DE PIEDRA, ANTIGUO EGIPTO Y MESOPOTAMIA

La astronomía nace cuando las primeras civilizaciones observan el cielo y se sorprenden con fenómenos como la alternancia del día y la noche, el movimiento diario de este a oeste del Sol y de las estrellas, el ritmo de las estaciones o las fases de la Luna.

La regularidad que los antiguos pudieron comprobar en los movimientos de los cuerpos celestes les fue de utilidad para definir el tiempo y orientarse. La astronomía solucionó problemas como la necesidad de establecer

con precisión las épocas adecuadas para la caza, para sembrar y recoger las cosechas y para las celebraciones, así como la de orientarse en los viajes.

Los hombres del Neolítico tuvieron unos conocimientos sorprendentes de los movimientos de los astros y de la geometría. Los antiguos pueblos que habitaron Europa realizaron grandes construcciones megalíticas utilizadas como instrumentos astronómicos que les proporcionaban calendarios bastante precisos y les permitían determinar los eclipses. De esa época se conservan menhires y alineamientos de enormes piedras (megalitos) dispuestas en esquemas geométricos regulares, como los de Stonehenge en Inglaterra y Carnac en Francia.



Stonehenge: monumento ritual prehistórico en Wiltshire, Inglaterra. Fuente: www.astromia.com.

El uso civil del calendario surgió en Egipto hacia el 2500 a. C. El historiador griego Heródoto ya señaló, en el siglo V a. C., que los egipcios descubrieron el año a partir de los astros. Los egipcios idearon un calendario solar de 365 días basado en el giro completo de las estrellas y en el ciclo de las estaciones que observaban en el transcurso de ese tiempo. El año civil egipcio tenía 12 meses de 30 días. Al final del último mes de cada año se añadían los cinco días (días *epagómenos*) que faltaban para completar el año solar. No utilizaban años bisiestos.

Los egipcios observaron que el río Nilo empezaba su crecida más o menos en el momento en que la estrella Sirio, oculta durante muchos meses bajo el horizonte, podía verse de nuevo poco antes de salir el Sol (lo que se llama el *orto helíaco*), así que este acontecimiento se tomó como referencia de duración e inicio del año astronómico.

La coincidencia de la ascensión de Sirio con el solsticio de verano y con el comienzo de las inundaciones era, para una civilización como la egipcia, una manifestación de la influencia divina.

Otra aportación de los egipcios fue el empleo de relojes de sol.

Pero la astronomía, como la conocemos hoy, surgió en Mesopotamia (una región situada entre los ríos Tigris y Éufrates, que corresponde más o menos a Iraq actual, donde habitaron los pueblos sumerios, babilonios, asirios, persas y caldeos).

Los babilonios realizaron numerosas observaciones de los astros, cuyas posiciones recogieron en tablas, y estudiaron con precisión los movimientos del Sol y de la Luna para perfeccionar su calendario. La observación más antigua de un eclipse solar procede de ellos (763 a. C.). Los babilonios construyeron un calendario lunar y dividieron el día en 24 horas. Dividieron la banda de las estrellas en doce partes, dando lugar al zodiaco, e iniciaron la astrología y la práctica de confeccionar horóscopos. Los babilonios estudiaron las posiciones planetarias a lo largo del año en su movimiento hacia el este y se percataron del movimiento retrógrado de algunos planetas, lo que les llevó a distinguir entre estrellas fijas y astros errantes (planetas). Algunos de estos desarrollos astronómicos están recogidos en tablillas de escritura cuneiforme que han hallado los arqueólogos.

Por su parte, los caldeos introdujeron las semanas corridas (independientes de los años y los meses) y dieron nombres a los siete días de la semana de acuerdo a los cinco planetas conocidos (martes: Marte; miércoles: Mercurio; jueves: Júpiter; viernes: Venus; sábado: Saturno), al Sol y a la Luna (domingo: Sol; lunes: Luna).

2.2. ASTRONOMÍA ANTIGUA Y MEDIEVAL

En la Antigua Grecia comienza lo que podemos llamar la astronomía occidental. Uno de los primeros en realizar un trabajo astronómico-científico fue Aristarco de Samos (310-230 a. C.). Aristarco calculó mediante métodos geométricos la distancias entre la Tierra, la Luna y el Sol. Además propuso el primer modelo heliocéntrico conocido (en el cual el Sol es el centro y alrededor del mismo giran

los otros astros del Sistema Solar, incluyendo la Tierra), si bien este modelo no fue tenido en cuenta.

Eudoxo de Cnido (390-337 a. C.) es el padre de la astronomía matemática. Fue el primero en plantear un modelo planetario para comprender el movimiento de los cuerpos celestes. Su modelo, de tipo geocéntrico (con la Tierra estática en el centro), consistía en un sistema de esferas homocéntricas (con el mismo centro) que giran alrededor de la Tierra (centro del Universo) y que contienen a las estrellas fijas, al Sol, a la Luna y a los cinco planetas conocidos (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno). Eudoxo asignó una esfera a las estrellas fijas, una combinación de tres esferas (cada una con distinta velocidad) tanto al Sol como a la Luna, y una combinación de cuatro esferas a los cinco planetas. Su modelo poseía 27 esferas en total, y con él explicaba el movimiento de rotación diaria de los astros, el movimiento sobre el zodiaco a lo largo del año e incluso el movimiento retrógrado de algunos planetas.

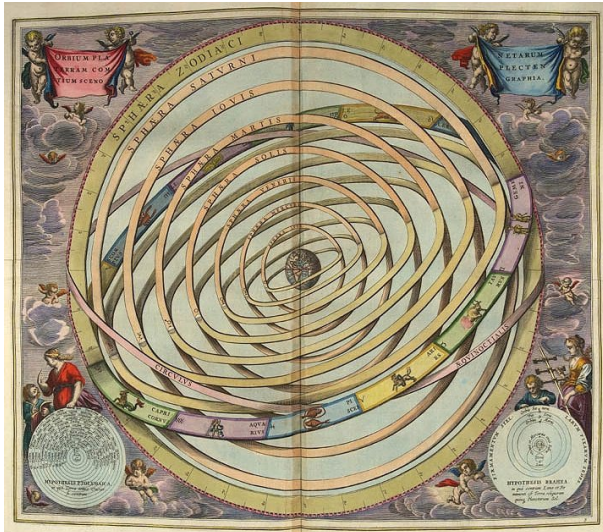
El movimiento celestial para los antiguos era regular, circular y con centro en la Tierra. Esta visión del universo es la que compartieron también Platón y Aristóteles.

Claudio Ptolomeo (100-170 d. C.) propuso un modelo geocéntrico de esferas alternativo al de Eudoxo. Estudió la gran cantidad de datos existentes sobre el movimiento de los planetas con el fin de construir un modelo más preciso y compatible con las observaciones. Para Ptolomeo los astros se movían en una combinación de movimientos circulares consistentes en un movimiento principal (llamado deferente) alrededor de la Tierra, más un movimiento circular secundario (llamado epiciclo) en torno al círculo deferente. Así, el planeta giraría en un epiciclo circular alrededor de un punto que describe, a su vez, un círculo alrededor de la Tierra. En algunos casos era necesario proponer más de un epiciclo para explicar toda la gama de trayectorias que los astros pueden seguir. Los epiciclos fueron una idea original de Apolonio (262-190 a. C.) y mejorada por Hiparco (190-120 a. C.).

Pero Ptolomeo, para salvar el movimiento circular, tuvo que recurrir en su modelo a la "excéntrica" y al "ecuante" para dar cuenta de, por ejemplo, por qué los planetas barren áreas iguales en tiempos iguales (lo cual no puede ser explicado con órbitas circulares, ya que las órbitas son en realidad elípticas). La excéntrica es un

punto imaginario fuera de la Tierra en torno al cual gira el deferente (es decir, la Tierra no está exactamente en el centro del movimiento, sino algo desplazada). El ecuante es otro punto fuera de la Tierra sobre el cual el deferente gira con movimiento circular uniforme.

El sistema ptolemaico, a pesar de su complejidad, fue aceptado durante muchos siglos.



Sistema geocéntrico ptolemaico representado por Andreas Cellarius en *Harmonia macrocosmica*.

A Ptolomeo también le debemos el tratado astronómico conocido como *Almagesto*, el catálogo estelar más completo de la época que compilaba 48 constelaciones y 1022 estrellas.

Otro logro importante de esta época griega fue la determinación del tamaño de la Tierra por parte de Eratóstenes (276-194 a. C.), considerado el padre de la geodesia. Empleó un método trigonométrico para estimar la circunferencia terrestre basado en la distinta longitud de la sombra proyectada por los rayos solares sobre objetos verticales en las ciudades de Siena y Alejandría. A Eratóstenes se le atribuye además la invención del instrumento astronómico llamado esfera armilar.

Durante la Edad Media predominó el legado ptolemaico, que fue apoyado por la Iglesia debido principalmente a que era acorde con las escrituras en las cuales la Tierra y el hombre son el centro de la creación divina.

En el siglo XIII se renovó el interés por el estudio de los cielos gracias, en parte, a la escuela de traductores de Toledo, creada por el rey Alfonso X el Sabio (1221-1284), que tradujeron antiguos textos astronómicos. Las *Tablas alfonsíes* se realizaron por iniciativa de Alfonso X; son un libro medieval que contiene unas tablas astronómicas con las observaciones del movimiento de los cuerpos celestes efectuadas en el firmamento en Toledo desde el año 1263 hasta 1272, y que proporcionaban un esquema de uso práctico para calcular la posición precisa del Sol, la Luna y los planetas de acuerdo con el sistema de Ptolomeo.

Durante el periodo medieval, los árabes continuaron los estudios astronómicos, tradujeron el *Almagesto* y dieron nombre y catalogaron muchas estrellas. Destacaron Al-Batani (858-929), Al Sufi (903-986) y Al-Farghani (805-880).

2.3. DEL RENACIMIENTO A LA ASTRONOMÍA MODERNA

En el siglo XVI, el Renacimiento permitió recuperar elementos de la cultura clásica. De hecho, el astrónomo polaco Nicolás Copérnico (1473-1543) retomó la idea de Aristarco y propuso un modelo planetario heliocéntrico como hipótesis más simple que la del complejo modelo de epiciclos de Ptolomeo, para explicar el movimiento aparente de los planetas. Su libro *De Revolutionibus Orbium Coelestium* es considerado como el punto inicial de la astronomía moderna.

El astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601) dio un gran impulso a las observaciones y la instrumentación. Construyó, en la isla de Hven, un observatorio (que puede considerarse el primer centro científico) que congregó a numeroso personal de investigación y apoyo. Desarrolló nuevos instrumentos astronómicos (sextantes, cuadrantes, etc.), con los que se pudo realizar un catálogo estelar de más de 1000 estrellas cuyas posiciones fueron medidas con una precisión muy superior a la alcanzada hasta entonces.

La observación en esta época de una estrella nova (1572) y de un cometa (1577) hizo dudar de la supuesta inmutabilidad de los cielos y de las esferas rígidas donde se situaban los astros.

El alemán Johannes Kepler (1571-1630), seguidor de Copérnico, tuvo acceso a todas las medidas realizadas por

Tycho Brahe y pasó muchos años utilizando estos datos para encontrar una solución al movimiento planetario basándose en un sistema heliocéntrico. Por fin, en su obra *Misterio cosmográfico*, enuncia sus tres leyes que explican cómo se mueven los planetas alrededor del Sol. Las leyes de Kepler fueron un paso de gigante en astronomía: no sólo dejaban de lado el modelo geocéntrico sino también la idea de las esferas rígidas y la del círculo como figura perfecta. Kepler postuló que los planetas se mueven libremente en órbitas (no encajados en esferas) y que éstas son elípticas, con el Sol en uno de los focos.

El paso definitivo que culminó esta revolución científica, que se ha llamado "revolución copernicana", lo dio el considerado como padre de la ciencia moderna, el italiano Galileo Galilei (1564-1642). Galileo utilizó un instrumento recién inventado en Europa, el telescopio, para apuntar al cielo y observar nuevas maravillas. Él mismo fabricó sus propios telescopios y los perfeccionó. En su obra *Sidereus nuncius*, publicada en 1609, describe las observaciones que pudo hacer con este nuevo instrumento, pieza clave en la observación astronómica. Galileo comprobó que la Luna era irregular, descubrió cuatro satélites de Júpiter y observó miles de nuevas estrellas en un firmamento que el ojo humano no alcanzaba a ver.

Con Galileo se abandonó definitivamente la visión del universo de corte aristotélico-ptolemaica, basada en un modelo geocéntrico y cerrado, y en la división entre los cielos (perfectos) y la Tierra. Sin embargo, aunque a partir de ahora ya se tenía la descripción correcta de los movimientos de los planetas, todavía faltaba por explicar por qué, o cómo, se producían dichos movimientos, es decir: su causa.

La revolución astronómica -y científica- fue culminada por el físico y matemático inglés Isaac Newton (1642-1727). La teoría de la gravitación de Newton dotó de un marco teórico que permitió explicar el movimiento de los astros de acuerdo a la fuerza de la gravedad como causa. De esta teoría se deducían las leyes empíricas de Kepler, y además con ella se unificaba, bajo una misma explicación, el movimiento de los astros y la caída libre de los cuerpos en la Tierra, así como el fenómeno de las mareas. Newton expuso su teoría matemática, que explicaba la dinámica del sistema solar, en los *Philosophiae naturalis principia mathematica*.



Acuarelas de Galileo de la Luna, en *Sidereus nuncius*.

Durante este período también avanzó mucho la tecnología asociada a la astronomía y a la navegación. Se fue perfeccionando el telescopio y se crearon nuevos instrumentos de medición, como compases y relojes. El propio Newton modificó el diseño de los telescopios, incorporando un espejo e inaugurando los llamados telescopios reflectores newtonianos.

Con más y mejores instrumentos, y unas leyes que enmarcaban teóricamente las observaciones, entre los siglos XVII y XIX se descubrieron y catalogaron miles de objetos celestes y se pudo explorar la superficie de los planetas, descubrir muchas estrellas débiles y medir distancias estelares.

Personajes importantes del siglo XVII, que contribuyeron a forjar la astronomía moderna, fueron: Johannes Hevelius (1611-1687), que hizo observaciones de la Luna, manchas solares y cometas; Christiaan Huygens (1629-1695), que descubrió los anillos de Saturno y diseñó el telescopio de Huygens; Giovanni Cassini (1625-1712), descubridor de satélites de Saturno; Olaf Römer (1644-1710), que midió la velocidad de la luz; y John Flamsteed (1646-1719), fundador del Observatorio de Greenwich.

En 1718 el astrónomo inglés Edmund Halley (1656-1742) calculó la órbita del cometa que lleva su nombre y descubrió que las estrellas no se hallaban fijas en el firmamento, sino que se movían de una forma

independiente con un lento movimiento, imperceptible sin el telescopio.

El astrónomo francés Charles Messier (1730-1817) publicó en 1774 un valioso catálogo de objetos celestes con aspecto nebuloso. Se trata de una recopilación de 110 objetos del espacio profundo (nebulosas, galaxias y cúmulos de estrellas) conocidos como los "objetos Messier". Los objetos Messier se numeran del M1 al M110, y aún hoy día los aficionados los conocen por ese nombre.

El matemático y astrónomo francés Joseph Louis Lagrange (1736-1813) hizo cálculos de la libración de la Luna y de los movimientos de los planetas, y estudió el conocido problema de los tres cuerpos.

El alemán William Herschel (1738-1822) fabricó los mejores telescopios de su tiempo y descubrió planetas como Urano, lunas, cometas y cientos de galaxias y nebulosas. Herschel fue, además, quien dedujo la forma de la Vía Láctea.

Para medir distancias se empezó a utilizar el método de triangulación o paralaje, que mide el movimiento de una estrella con respecto a las estrellas vecinas cuando se observa desde dos puntos diferentes. La primera distancia obtenida con este método fue realizada por Friedrich Bessel (1784-1846), en 1838, para la estrella 61 Cygni de la constelación del Cisne y, posteriormente, para Alfa Centauro. De esta manera se fueron conociendo las distancias a las que se encuentran las estrellas (a muchos años luz de nosotros) y se fue adquiriendo una noción de la inmensidad del universo.

Joseph Fraunhofer (1787-1826) se especializó en la fabricación de vidrio y llegó a crear lentes y espejos de extraordinaria calidad que aumentaron la resolución de los instrumentos ópticos. Por otro lado, Fraunhofer, detectó centenares de rayas espectrales en la radiación del Sol e idénticas irregularidades en los espectros de la Luna y de los planetas. Se convirtió así en el padre de la espectroscopia.

Con las mejoras en las técnicas instrumentales, la creación del análisis espectral y la introducción de los métodos de fotografía en la segunda mitad del siglo XIX, se funda la astrofísica.

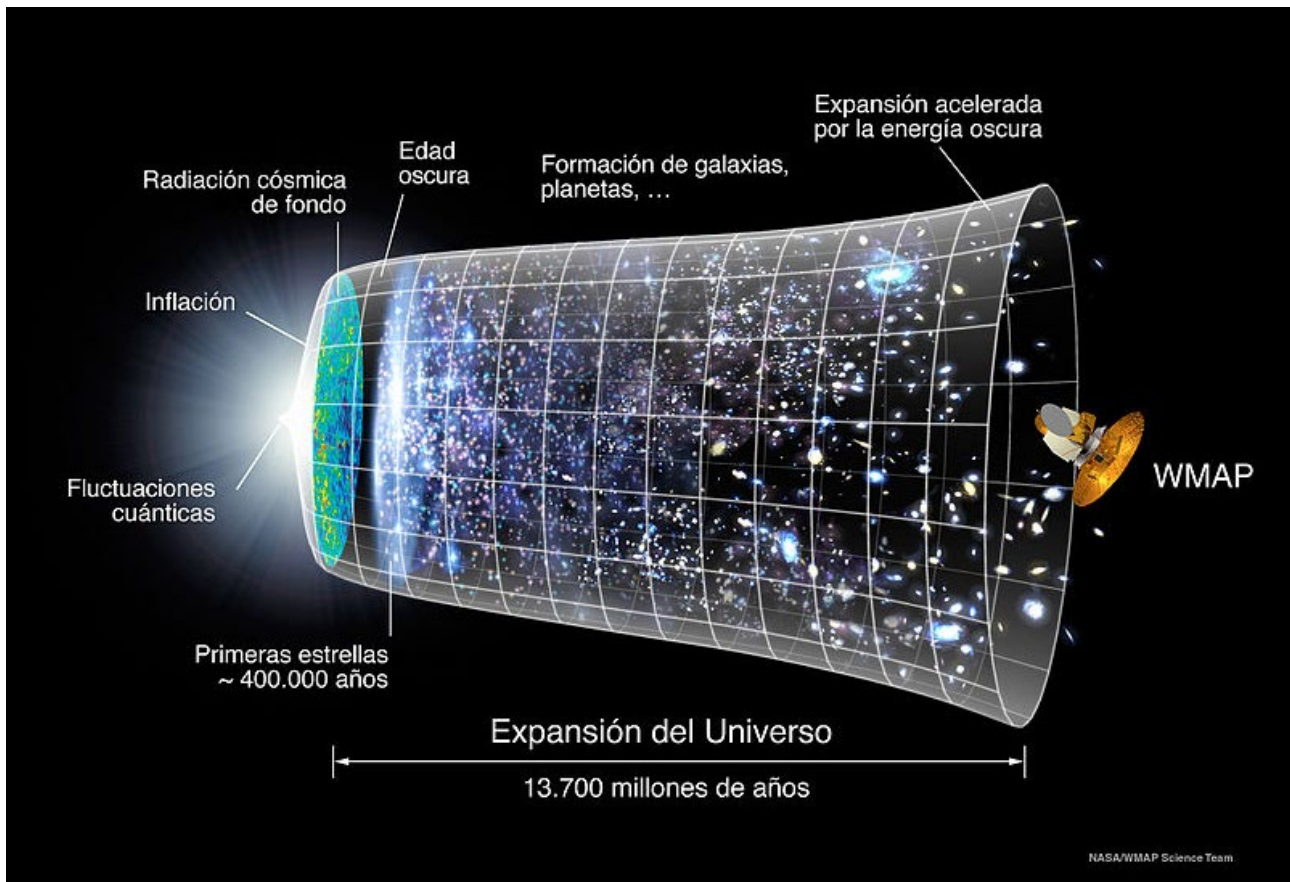
2.4. LA ASTRONOMÍA EN LOS SIGLOS XX Y XXI

El astrónomo estadounidense Harlow Shapley (1885-1972) descubrió las cefeidas, unas estrellas de brillo cambiante, y surgió así en astronomía el concepto de estrellas variables. Por otra parte, Shapley, al estudiar los cúmulos globulares (grupos de millones de estrellas agrupadas en cúmulos que giran alrededor de los centros galácticos) de nuestra galaxia, se dio cuenta de que el Sol debería estar localizado en la periferia de la Vía Láctea y no en su centro. De esta manera se desplazó el Sol del centro del universo conocido.

Shapley pensaba que en el universo existía una única galaxia, la nuestra. Sin embargo, a partir de las observaciones de Edwin Hubble (1889-1953), realizadas en el observatorio de Monte Wilson, se reveló que las llamadas nebulosas espirales no eran simples cúmulos de gas dentro de la Vía Láctea sino verdaderas galaxias independientes, o como Kant describió, "universos isla". Se demostró así que el universo va más allá de nuestra galaxia y que existen muchas otras galaxias en el espacio.

Vesto Slipher (1875-1969) se interesó por el estudio de las nebulosas espirales y encontró que tenían un corrimiento hacia el rojo en sus espectros, aunque no encontró la explicación a su hallazgo. En un trabajo independiente, Hubble encontró una correlación directa entre el grado de corrimiento y la velocidad a la que se alejan las nebulosas. Paralelamente, Albert Einstein (1879-1955) expuso su Teoría de la Relatividad General, de la que se deduce que el universo no es estático sino que se expande. El sacerdote y astrofísico belga Georges Lemaître (1894-1966) sintetizó los resultados de Slipher, Hubble y Einstein y, en 1927, publicó un artículo donde desarrollaba la relación del corrimiento al rojo con un universo en expansión.

El artículo de Lemaître hizo pensar a la comunidad científica que si el universo se encuentra en expansión, quizás en algún momento, en el pasado, debió estar concentrado en un punto al cual llamó singularidad. El astrónomo Fred Hoyle (1915-2001) fue contrario a esa hipótesis y sostuvo, en su teoría del Estado Estacionario, que el universo nunca tuvo un origen. Propuso humorísticamente el nombre de teoría del *Big Bang*,



Evolución del universo. Fuente: NASA – WMAP Science Team.

que es como se conoce en la actualidad a la teoría más aceptada como origen del universo.

Otro logro muy importante en astronomía en el siglo XX fue la prueba experimental de la teoría de la Relatividad General. A esto contribuyó el astrofísico británico Arthur Eddington (1882-1944) mediante la observación del desplazamiento de la posición de una estrella durante un eclipse total de Sol. Eddington también estudió la energía en el interior de las estrellas y la evolución estelar.

Pero el científico más conocido por el estudio de la evolución de las estrellas fue el físico hindú Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995), quien investigó la dinámica y el colapso de las estrellas y formuló una teoría matemática sobre los agujeros negros.

En los años 1990 se demostró que el universo se expande a una velocidad cada vez mayor, lo que se conoce como “expansión acelerada del universo”.

En la segunda mitad del siglo XX surgieron nuevos tipos de instrumentos astronómicos, algunos de los cuales están emplazados en los satélites que se utilizan como observatorios en la órbita de la Tierra. Estos instrumentos detectan una amplia variedad de longitudes de onda de radiación, incluidos los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta e infrarroja, y las regiones de radio del espectro electromagnético.

Los astrónomos de la actualidad no sólo estudian planetas, estrellas y galaxias, sino también plasmas (gases ionizados calientes), regiones interestelares de nacimiento de estrellas, granos de polvo frío, agujeros

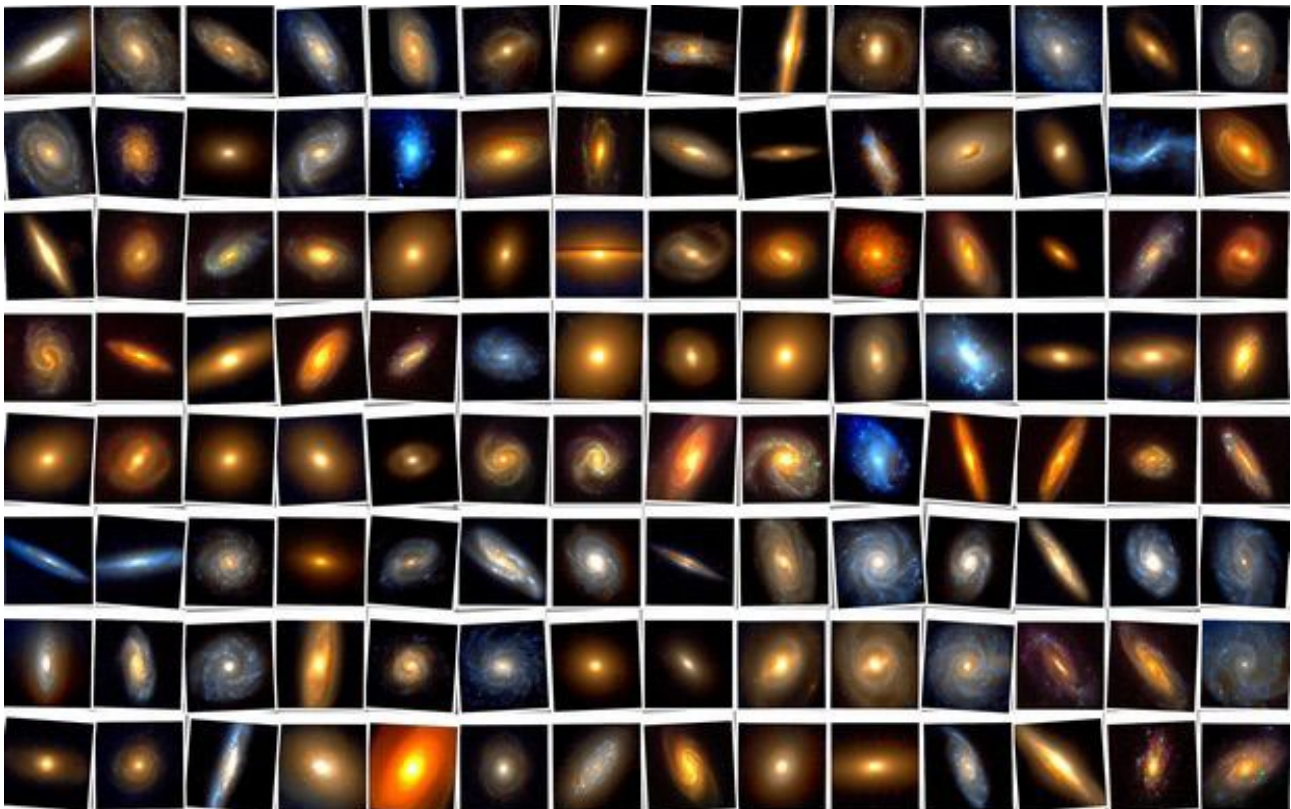
negros y radiación de fondo de microondas, que pueden aportar información sobre los orígenes del universo.

Hoy día sabemos que habitamos un minúsculo planeta de un sistema solar localizado en la periferia de la Vía Láctea, una galaxia espiral compuesta por miles de millones de soles que forma parte de un conjunto galáctico, el cual, a su vez, se encuentra dentro de un supercúmulo de galaxias. El universo está constituido por miles de millones de galaxias como la nuestra, tiene una edad de unos 13700 millones de años y su expansión se acelera constantemente. Pero todavía queda muchísimo por conocer de este maravilloso universo.

3. ASPECTOS CIENTÍFICOS DE LA ASTRONOMÍA

3.1. TIPOS DE OBJETOS CELESTES

Un objeto astronómico es algún tipo de entidad física o estructura que existe en el universo, de forma demostrada o conjeturada por alguna hipótesis científica. En particular, los cuerpos celestes son objetos. Pero el término "cuerpo" se refiere a un objeto simple, como por ejemplo un planeta, una estrella o un cometa. En cambio, son objetos astronómicos el cinturón de asteroides, una nube de gas o un agujero negro.



Algunos objetos celestes que forman parte del Catálogo de Messier. Fuente: www.astromia.com.

OBJETOS DEL SISTEMA SOLAR

Sol

Planetas (Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno)

Satélites naturales (Luna, Ganímedes, Titán, etc.)

Asteroides (cinturón de asteroides, troyanos, etc.)

Meteoroides

Objetos transneptunianos (cometas, cinturón de Kuiper y nube de Oort)

OBJETOS EXTRASOLARES

Objetos simples

Exoplanetas (planetas extrasolares)

Estrellas:

Enanas (azules, blancas, amarillas, rojas, marrones, negras)

Gigantes (rojas, azules)

Supergigantes rojas

Estrellas variables

Estrellas de neutrones (magneto-estrellas, púlsares)

Agujeros negros

Novas

Supernovas

Objetos compuestos

Asociaciones estelares:

Estrellas binarias

Estrellas triples

Cúmulos estelares (abiertos y globulares)

Constelaciones

Galaxias:

Galaxias activas (cuásares, blazares, radiogalaxias...)

Cúmulos de galaxias

Objetos extendidos

Nebulosas

Nubes moleculares

Regiones de hidrógeno (H I y H II)

Radiación de fondo de microondas

Materia oscura

3.2. ALGUNAS MAGNITUDES EN ASTRONOMÍA

Distancias en astronomía: año luz, unidad astronómica y parsec.

La **unidad astronómica** es una unidad de longitud igual a la distancia media entre el Sol y la Tierra. Equivale aproximadamente a 149 597 870 700 metros (cerca de 150 millones de kilómetros).

El **año luz** es otra unidad de longitud. Equivale a la distancia que recorre la luz en un año. Teniendo en cuenta el valor de la velocidad de la luz (299 792 458 metros por segundo) y la duración de un año (365,25 días), el año luz se obtiene multiplicando velocidad por tiempo, y resulta igual a 9 460 730 472 580,8 kilómetros (es decir, cerca de 10 billones de kilómetros).

Aunque la velocidad de la luz es muy elevada, las distancias en astronomía son tan grandes que la luz tarda muchísimo tiempo en llegar de los cuerpos celestes a la Tierra. De la Luna a nosotros la luz tarda más de 1 segundo, y del Sol a nosotros tarda más de 8 minutos. La estrella más próxima (Próxima Centauri) se encuentra a 4,2 años luz (¡casi 300 000 veces la distancia que nos separa del Sol!).

Estrella	Distancia a nosotros
Sol	8,3 minutos
Próxima Centauri	4,2 años luz
Sirio	8,6 años luz
Canopus	312,7 años luz

El **parsec** es también otra unidad de longitud utilizada en astronomía. Su nombre deriva del inglés *parallax of one arc second* (paralaje de un segundo de arco). Se define como la distancia a la que una unidad astronómica subtende un ángulo de un segundo de arco (1"). De la definición resulta que: 1 parsec = 206 265 unidades astronómicas = 3,2616 años luz = $3,0857 \times 10^{16}$ metros.

Brillo y temperatura de los astros: magnitud aparente y temperatura de color

En astronomía, el brillo de un objeto celeste se mide por la llamada **magnitud**. Cuanto menor es la magnitud de un objeto, más brillante es (y al revés). La relación entre brillo y magnitud es la siguiente: cuando el brillo disminuye 2,512 veces, la magnitud aumenta en 1 unidad. Así, por ejemplo, una estrella de magnitud +4 será 2,512 veces más brillante que una de magnitud +5, una estrella de magnitud +11 será 39,8 ($2,512^4 = 39,8$) veces más débil que una de magnitud +7. Sirio (de magnitud -1,5) es 4 veces más brillante que Arturo y Vega (de magnitud 0), ya que $2,512^{1.5} = 4$.

En condiciones óptimas de visibilidad, un observador humano que tenga una agudeza visual normal puede llegar a ver objetos celestes de hasta magnitud +6,5. Éste se considera el límite observable por el ojo desnudo. En este límite pueden llegarse a ver aproximadamente 9500 estrellas.

La **temperatura de color** es una medida simple de la temperatura de una estrella. Se realiza comparando su color con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada. Así, el Sol, de color anaranjado, posee una temperatura de unos 6000 °C. Una estrella fría como Betelgeuse (de color rojo) tiene unos 3000 °C, y una estrella caliente como Sirio (de color blanco) posee unos 10 000 °C.

Tamaños y distancias angulares

La **distancia angular** entre dos puntos en el firmamento es el ángulo comprendido, o subtendido, entre dos líneas imaginarias que parten de nuestra posición y apuntan a dichos puntos. Puede entenderse como el ángulo que hay que mover el brazo para señalar de un punto al otro. Por ejemplo, hay que mover 16 grados el brazo para señalar desde Betelgeuse hasta Rigel.

El **diámetro angular**, o tamaño aparente de un objeto, es la distancia angular que hay de extremo a extremo del objeto.

Magnitud	Objeto celeste
-26,7	Sol
-12,7	Luna llena
-4,9	Venus (brillo máximo)
-2,9	Júpiter y Marte (brillos máximos)
-2,5	Mercurio (brillo máximo)
-1,5	Estrella más brillante: Sirio
-0,7	Segunda estrella más brillante: Canopus
-0,5	Saturno (brillo máximo)
0	Arturo y Vega
+2	Estrella Polar
+4	Estrellas débiles visibles a ojo desnudo en una vecindad urbana
+3,4	Galaxia de Andrómeda
+4,4	Ganímedes, el mayor satélite de Júpiter (brillo máximo)
+5,3	Urano (brillo máximo)
+6,0	Límite de estrellas débiles visibles a ojo desnudo en buenas condiciones
+7,8	Neptuno (brillo máximo)
+8,1	Titán, mayor luna de Saturno (brillo máximo)
+10	Límite de objetos visibles con binoculares
+11	Próxima Centauri, estrella más próxima
+12,9	Quásar más brillante (quasar 3C 272)
+12	Límite de objetos visibles con telescopios modestos
+13,7	Plutón (brillo máximo)
+18	Límite de objetos visibles con telescopios potentes
+30	Objetos más débiles observables con el telescopio espacial Hubble

O dicho de otra forma, el diámetro angular es el ángulo visual que subtende dicho objeto desde nuestro ojo.

Las distancias angulares se miden en grados, minutos de arco o segundos de arco, teniendo en cuenta que:

1 grado = 60 minutos de arco; 1 minuto de arco = 60 segundo de arco

El ancho de un dedo con el brazo extendido mide aproximadamente 1 grado. El puño cerrado con el brazo extendido cubre 10 grados. La Luna y el Sol tienen el mismo diámetro aparente en el cielo, ambos miden aproximadamente 0,5 grados. Venus llega a medir 64 segundos de arco (en su posición más cercana a nosotros).

3.3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL TELESCOPIO

Un telescopio consta de dos elementos ópticos principales: el **objetivo** y el **ocular**. El objetivo es el elemento por donde entra la luz al instrumento. Los objetivos pueden ser lentes o espejos. El ocular es el elemento donde se sitúa el ojo para observar. Los oculares son piezas móviles y pueden reemplazarse por el usuario para cambiar las prestaciones del instrumento.

Los objetivos y oculares se caracterizan por dos parámetros: su **diámetro** y la "**distancia focal**", que es un número expresado en milímetros que suele ir inscrito en las monturas.

Además, los telescopios pueden incorporar otros elementos, como: espejos secundarios para invertir las imágenes, filtros para observar en un determinado color, cámaras para el registro de la imagen, etc.

Los parámetros más importantes de un telescopio son:

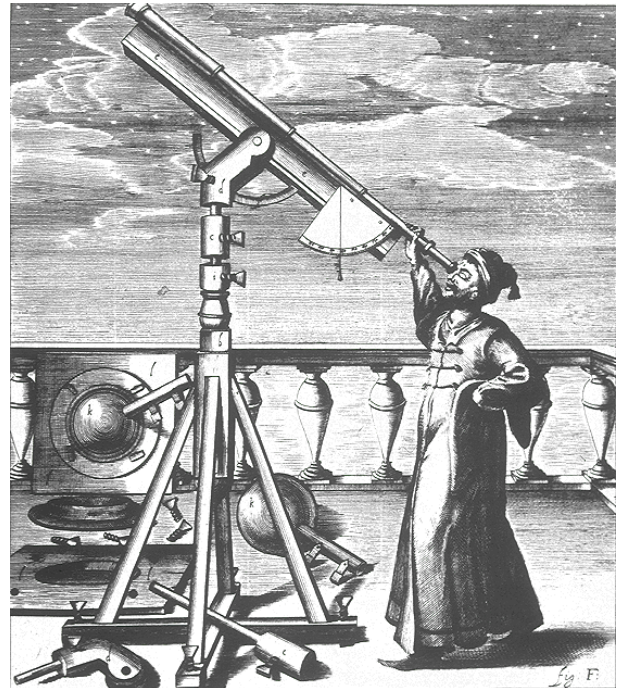
Apertura o diámetro. Es la medida del diámetro del objetivo. Es un parámetro muy importante, ya que limita la cantidad de luz que entra del instrumento y, por tanto, la magnitud (brillo) de los objetos celestes que podrán verse con él.

La siguiente fórmula permite calcular la magnitud máxima aproximada que puede alcanzarse con un telescopio de diámetro D:

Magnitud límite = $2,5 + 5 \times \log D$ (con D expresado en mm)

Por ejemplo: un telescopio de 130 mm de apertura tendrá una magnitud estelar límite de aproximadamente +13.

Un telescopio de aficionado generalmente tiene entre 70 y 150 mm de diámetro y permite observar muchísimos objetos del cielo profundo (cúmulos, nebulosas y algunas galaxias).



Johannes Hevelius observando por el ocular de uno de sus telescopios.

Aumento. Es el cociente de la distancia focal del objetivo y la distancia focal del ocular. Varía según el ocular que utilizemos. Por ejemplo: un telescopio de 1000 mm de distancia focal en donde se utilice un ocular de 25 mm de focal, ofrecerá 40 aumentos (40×). Que se estén utilizando 40 aumentos quiere decir que el objeto observado se está viendo con un tamaño aparente 40 veces mayor que sin el telescopio.

Muchos telescopios comerciales anuncian un número de aumentos desorbitado que en la práctica no resulta operativo. El **aumento máximo recomendable** suele tomarse como 2 veces el diámetro del mismo en milímetros.

Como referencia, unos 150× son una medida aceptable para observar planetas como Júpiter o Saturno.

Resolución (poder separador). Se refiere a la capacidad del instrumento de mostrar de forma individual dos objetos que se encuentran muy juntos. La resolución depende de la apertura y, estrictamente hablando, también del color de la luz en la que se observa. De forma aproximada, se puede utilizar la siguiente fórmula para calcular la resolución máxima de un telescopio:

R [segundos de arco] $\approx 116 / D$ (con D expresado en mm)

Por ejemplo, con un telescopio de 70 mm hay una resolución máxima de 1,66 segundos de arco, que significa poder distinguir cráteres en la Luna separados 3 kilómetros.

Sin embargo, en la práctica este valor óptimo se ve condicionado por la estabilidad de la atmósfera y, sobre todo, por la calidad óptica de los componentes (espejos, lentes, oculares).

La resolución y la apertura son parámetros más importantes que el aumento. De hecho, en la práctica, los aumentos más utilizados son los bajos e intermedios.

Campo visual. Se refiere al tamaño de la porción de cielo que se está observando o fotografiando con cierto instrumento. A mayor cantidad de aumentos, menor será el campo visual.

3.4. ALGUNOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN ASTRONOMÍA

Instrumentos antiguos

Los antiguos astrónomos utilizaban astrolabios, relojes de sol, cuadrantes, sextantes y otros instrumentos de observación dedicados, sobre todo, al posicionamiento de los astros. El **astrolabio** permitía determinar la posición de las estrellas sobre la bóveda celeste. Era usado por los navegantes, astrónomos y científicos para localizar los astros y observar su movimiento y para determinar la hora local a partir de la latitud. El **cuadrante** es un antiguo instrumento utilizado para medir ángulos en astronomía y navegación. Consiste en una placa metálica con forma de cuarto de círculo graduado y con una mirilla para dirigirlo hacia el astro deseado. Con el **sextante**, que reemplazó al astrolabio, se miden ángulos entre dos puntos, como por ejemplo entre el Sol y el horizonte.

Planisferio

Es una carta, o mapa, de estrellas. Consta de dos discos que rotan uno sobre otro. Cuando se gira uno de los discos se muestran las estrellas visibles en la fecha y hora de la observación. Lo utilizan hoy día todos los astrónomos aficionados como ayuda en el reconocimiento de estrellas.

Prismáticos y binoculares

Los astrónomos también utilizan prismáticos y binoculares para observar el cielo.

Estos instrumentos tienen una designación de dos números, por ejemplo: 10×50. El primer número son los aumentos (10, en este caso) y nos indica cuántas veces más grande se ve un objeto con el instrumento que sin él. El segundo número es la apertura o diámetro (50 mm, en este ejemplo) de las lentes frontales (los objetivos), expresado en milímetros.

Los principiantes suelen suponer que unos prismáticos de muchos aumentos dan mejores prestaciones. Esto es cierto si lo que se quiere ver son detalles en la Luna, los satélites de Júpiter, estrellas dobles, etc. Pero un número elevado de aumentos estrecha el campo de visión y, además, hace que la imagen “baile” con mucha facilidad si sujetamos los prismáticos con la mano. Se recomienda utilizar un trípode para más de 10 aumentos.

Pero no es tan importante el número de aumentos como el diámetro de los objetivos, ya que cuanto mayor es la apertura del objetivo, más luz entra y más brillante es la imagen observada. Como la mayoría de los objetos del cielo son débiles, interesa escoger los prismáticos con el mayor diámetro posible.

Telescopio

Se denomina telescopio (del griego “lejos” y “observar”) al instrumento óptico de aumento que permite ver objetos lejanos con mucho más detalle que a simple vista. Es una herramienta fundamental en astronomía y cada perfeccionamiento ha permitido avances en nuestra comprensión del universo.

Existen tres tipos de telescopio:

Refractores. Utilizan lentes, tanto en el objetivo como en el ocular. Ejemplos de este tipo son el telescopio de Kepler (que sólo posee lentes convergentes) y el antejo de Galileo (que combina un objetivo convergente con un ocular divergente).

Reflectores. Tienen un espejo cóncavo (convergente) en lugar de la lente del objetivo. El telescopio de Newton es de este tipo.

Catadióptricos. Son sistemas mixtos que poseen una lente correctora antes del espejo cóncavo. La lente correctora sostiene, además, un segundo espejo secundario. El más utilizado es el de Schmidt-Cassegrain.

Detectores de luz

El **fotómetro** es un instrumento utilizado para medir la intensidad de la luz. También se utilizan los luxómetros, capaces de medir la iluminancia.

El **espectrómetro** (espectrofotómetro o espectrógrafo) es un aparato para analizar el espectro de frecuencias de la radiación electromagnética que le llega. Un espectroscopio es un espectrómetro óptico y sirve para medir la composición de la luz en la región visible.

Grandes instrumentos modernos

El **detector Cherenkov** tiene por finalidad registrar los rayos cósmicos. Se basa en el llamado efecto Cherenkov, que se produce cuando una partícula cargada se mueve en un medio transparente (por ejemplo, el agua) con velocidad mayor que la que tendría la luz en dicho medio. En esta situación se origina una emisión de luz que deja una estela. Estos detectores suelen consistir en grandes tanques o piscinas de agua y fotomultiplicadores.

Un **radiotelescopio** capta las ondas de radio emitidas por ciertos objetos celestes. No constan de lentes ópticas, como los telescopios, sino de grandes antenas parabólicas.

La **óptica adaptativa** es una técnica óptica que permite contrarrestar, en tiempo real, los efectos de la atmósfera terrestre en la formación de las imágenes astronómicas. Para lograrlo se inserta en el camino óptico del telescopio



Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma (Islas Canarias) Fuente: Bob Tubbs.

un espejo deformable sostenido por un conjunto de actuadores controlados por computadora. El espejo cambia continuamente su forma y corrige las trayectorias de los rayos de luz afectadas por la turbulencia atmosférica. Así se aumenta notablemente la calidad de las imágenes.

Observatorios astronómicos

Un observatorio es una construcción o un lugar donde se observan fenómenos celestes. Se instalan en localizaciones que posean un clima y unas condiciones apropiadas para la observación.

Los modernos observatorios astronómicos contienen enormes telescopios (con espejos de varios metros de diámetro) y ordenadores para el procesamiento de los datos obtenidos. Ejemplos de observatorios de este tipo son el Mauna Kea, en Hawái, o el Observatorio de Arecibo, en Puerto Rico, que alberga el mayor radiotelescopio del mundo (con una antena de 305 metros de diámetro).

En España, son importantes el Observatorio del Roque de los Muchachos y el Observatorio del Teide (ambos en las Islas Canarias), el Centro Astronómico de Yebes (Guadalajara) y la Estación de Observación de Calar Alto (Almería), que dependen del Observatorio Astronómico Nacional, y el Observatorio Astronómico de San Fernando (Cádiz).

Con los últimos adelantos científicos ha sido posible enviar telescopios e instrumentos de observación celeste fuera de la Tierra, como el Telescopio Espacial Hubble.

3.5. TIPOS DE ASTRONOMÍA SEGÚN LA LUZ OBSERVADA

Astronomía visible (o astronomía óptica)

La astronomía visible (u óptica) utiliza la luz visible, es decir, la región del espectro electromagnético que el ojo humano puede detectar (longitudes de onda entre 400 y 800 nanómetros). Es la parte más antigua y más extensa de la astronomía, ya que hasta el siglo XX no se utilizaron otras ondas electromagnéticas para estudiar el universo.

Hasta el siglo XVII la astronomía visible se basó únicamente en el uso del ojo humano como instrumento de observación. Desde entonces empezó a utilizarse el telescopio como herramienta, pero siempre seguida del ojo como detector en última instancia. Ya en el siglo XIX, la llegada de la

fotografía permitió un aumento enorme de la sensibilidad de las observaciones, ya que una placa fotográfica puede ser expuesta durante horas y captar muchos más fotones que el ojo. A finales del siglo XX, la placa fotográfica fue gradualmente reemplazada por detectores electrónicos incorporados en la cámara digitales.

Astronomía de infrarrojos

Consiste en el estudio del universo observando la radiación infrarroja, que corresponde a longitudes de onda entre 800 nanómetros y 1 milímetro (entre el visible y las microondas). Como la atmósfera terrestre absorbe y emite radiación infrarroja, este tipo de astronomía requiere de técnicas que permitan eliminar la contribución de la atmósfera cuando se observa desde tierra, de telescopios ubicados en lugares secos y a gran altura, o de observatorios espaciales (fuera de la atmósfera).

Las ventajas de observar el infrarrojo son las siguientes:

El polvo interestelar absorbe luz ultravioleta y luz visible proveniente, por ejemplo, de estrellas cercanas recién nacidas, y devuelve esta energía en forma de luz infrarroja. Por lo tanto, la astronomía de infrarrojos es útil para investigar regiones de crecimiento estelar.

Muchos objetos y fenómenos astrofísicos son relativamente "fríos", es decir, irradian principalmente luz infrarroja. Así ocurre con los planetas, los cometas y el polvo interestelar de las galaxias. Además, la expansión del universo produce un desplazamiento de la radiación visible de galaxias distantes hacia longitudes de onda infrarrojas.

Muchas de las transiciones energéticas en los átomos y moléculas ocurren en la región infrarroja. Por eso, los espectros infrarrojos son unas herramientas muy útiles para estudiar los procesos astrofísicos (en particular, los relacionados con las condiciones necesarias para la vida) que tienen lugar en atmósferas planetarias, nubes interestelares y galaxias distantes.

Astronomía de luz ultravioleta

La astronomía ultravioleta se basa en la detección y estudio de la radiación ultravioleta que emiten los cuerpos celestes, es decir, radiación de longitudes de onda entre 10 y 400 nanómetros (comprendida entre la luz visible y los rayos X).



Radiotelescopio Parkes, en Australia. Fuente: CSIRO.

Las observaciones realizadas mediante este método son muy precisas y han permitido descubrimientos sobre la composición de la materia intergaláctica, las interacciones de estrellas dobles y las propiedades físicas de los quásares.

El ultravioleta cercano (300-400 nanómetros) puede alcanzar la superficie terrestre a través de la atmósfera. Pero la radiación ultravioleta con una longitud de onda entre 10 y 300 nanómetros sólo se puede detectar mediante instrumentos situados por encima de la atmósfera, como por ejemplo telescopios montados en satélites artificiales que están orbitando la Tierra.

Radioastronomía

La radioastronomía es la rama que estudia los objetos y los fenómenos celestes midiendo su emisión de radiación electromagnética en la región de ondas de radio del espectro (longitudes de onda entre 1 metro y 10 kilómetros).

Es un área relativamente nueva que está ayudando a estudiar problemas como el de la formación de estrellas, las galaxias activas o la cosmología, ya que permite ver cosas que no son posibles detectar en la astronomía óptica. De hecho, la radioastronomía ya ha permitido importantes descubrimientos, como el de púlsares y quásares, y la detección de la radiación de fondo de microondas.

En la radioastronomía se utilizan grandes antenas para captar las señales. Todos pensamos en los espectaculares radiotelescopios que utilizan una antena parabólica para enfocar las ondas que provienen de una zona concreta del cielo.

Astronomía de altas energías: rayos X, rayos gamma y astropartículas

Este tipo de investigación estudia la emisión de rayos X, de rayos gamma y de partículas subatómicas de los objetos celestes.

Tanto los rayos X como los rayos gamma son absorbidos por la atmósfera, así que los instrumentos para detectarlos deben estar a gran altitud. En el pasado se utilizaban detectores en globos sonda y en cohetes. Actualmente los observatorios se instalan en satélites artificiales, como ocurre también en la astronomía de ultravioleta.

La emisión de rayos X procede de fuentes que contienen gas muy caliente, por ejemplo núcleos de galaxias. La astronomía de rayos gamma se llama a veces la del “universo violento”, porque las fuentes de rayos gamma provienen de explosiones muy energéticas de supernovas, de colisiones a gran velocidad, chorros de partículas, agujeros negros, etc.

Recientemente surgió una nueva rama de la astronomía: la física de astropartículas, que estudia los neutrinos y los rayos cósmicos (partículas subatómicas procedentes del espacio exterior con velocidad cercana a la de la luz).

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- VV.AA. Sociedad Española de Astronomía. *100 conceptos básicos de astronomía*. Editado por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (2009).
- David C. Lindberg. *Los inicios de la ciencia occidental*. Editorial Paidós (2002).
- Isaac Asimov. *Historia del telescopio*. Alianza Editorial (1986).
- Galileo Galilei, Johannes Kepler. *La gaceta sideral. Conversación con el mensajero sideral*. Alianza Editorial (2007).
- *A hombros de gigantes*, comentado por Stephen Hawking. Editorial Crítica (2010).

5. PÁGINAS WEB SELECCIONADAS

- Sociedad Española de Astronomía:
<http://www.sea-astronomia.es>.
- International Astronomical Union:
<http://www.iau.org/>.
- Instituto Astrofísico de Canarias:
<http://www.iac.es/>.
- La NASA en español:
<http://www.lanasa.net/>.
- Real Instituto y Observatorio de la Armada de San Fernando:
<http://www.armada.mde.es/roa>.
- Año Internacional de la Astronomía 2009:
<http://www.astronomia2009.es/>.
- Agrupación Astronómica de la Región de Murcia:
<http://www.astromurcia.es/>.
- Fundación Starlight:
<http://fundacionstarlight.org/>.
- Catálogo Messier:
<http://www.catalogomessier.com/>.
- Conversor de unidades:
<http://www.metric-conversions.org/>.
- Sociedad Europea para la Astronomía en la Cultura:
<http://www.archeoastronomy.org/>.
- Portales de educación, divulgación y recursos sobre astronomía:
<http://www.astromia.com/>
<http://astrored.org/>
<http://www.skyandtelescope.com/>
<http://www.stellarium.org/>.

6. SOBRE EL AUTOR

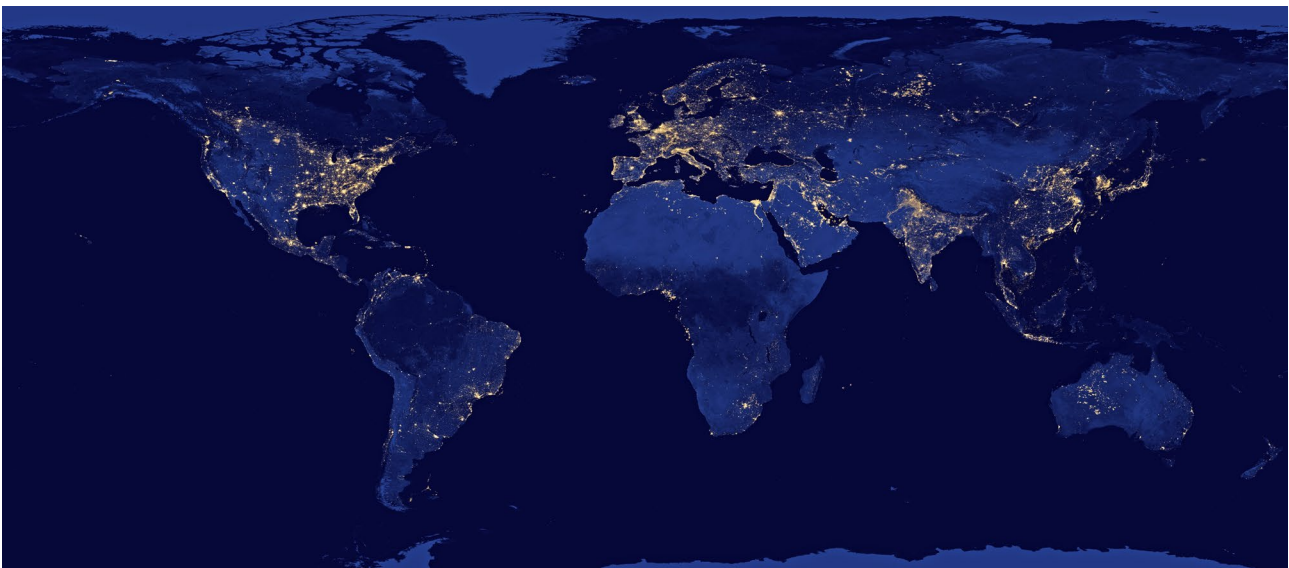
Doctor en Física y Licenciado en Filosofía. Profesor titular de Física en la Universidad de Murcia. Docencia en Óptica e Historia de la Física y en varios cursos de máster y postgrado. Investigación en óptica y física de la visión, con más de cuarenta trabajos publicados, medio centenar de comunicaciones a congresos y dos patentes internacionales. Compagina la docencia y la investigación con la divulgación científica. Responsable durante ocho años de la Unidad de Cultura Científica de la Universidad de Murcia, desde la cual ha coordinado más de cuatrocientas actividades. Miembro del Comité de la Olimpiada Española de Física. Coordinador de las pruebas de acceso a la universidad de Física en la Región de Murcia.

EL LADO
OSCURO
DE LA LUZ
CONTA-
MINACIÓN
LUMINICA

LEJOS DE LA LUZ O CÓMO LOS ASTRÓNOMOS BUSCAN LA OSCURIDAD

Ángel Gómez Roldán

El Sol está a punto de ponerse en la alta montaña. A casi 2400 metros de altura, el sonido de los motores de las cúpulas de los telescopios del Observatorio del Roque de los Muchachos rompe el silencio de la cumbre volcánica de la isla canaria de La Palma. En el limpio cielo del crepúsculo, y cuales flores nocturnas, las blancas cúpulas se abren para dejar que la luz de las estrellas llegue a los telescopios, donde los astrónomos comienzan una nueva jornada de trabajo que se prolongará hasta el amanecer.



Para realizar este mosaico de imágenes nocturnas de nuestro planeta, el satélite Suomi-NPP observó la Tierra en dos periodos de nueve y trece días en abril y octubre de 2012, lo que le llevó un total de 312 órbitas alrededor de la Tierra y más de 2,5 terabytes de datos. Si te parece una bonita imagen, simplemente piensa lo que significa: una enorme energía desperdiciada, vastos recursos naturales diezmados, la biodiversidad y la salud afectadas y, por supuesto, la desaparición del cielo nocturno oscuro para la gran mayoría de los habitantes del mundo. Fuente: NASA Earth Observatory y NOAA National Geophysical Data Center.

Más de una docena de telescopios de otros tantos países europeos componen el parque instrumental de este Observatorio del Instituto de Astrofísica de Canarias, observatorio considerado uno de los tres o cuatro mejores de todo el planeta por sus excepcionales condiciones de cielo negro, limpio y estable. Una atmósfera lo más oscura

posible sin contaminación lumínica, que sea limpia, sin nubes o polvo, y que se caracterice por una excelente estabilidad son algunos de los requisitos más importantes que los modernos complejos astronómicos necesitan a la hora de buscar sus emplazamientos donde colocar los telescopios más avanzados.



El Observatorio del Roque de Los Muchachos, en la isla canaria de La Palma, es un ejemplo de moderno complejo de telescopios alejados de las fuentes de contaminación lumínica e industrial. Fuente: cortesía del autor.

Corría el año 1858 cuando se publicó en Londres un librito cuyo título rezaba así: *Teneriffe, An Astronomer's Experiment: or, Specialities of a Residence Above the Clouds* (Tenerife: un experimento de un astrónomo: o, Pormenores de una estancia sobre las nubes). Su autor era el escocés Charles Piazzi Smyth, un astrónomo que dos años antes fue a pasar su luna de miel a Tenerife. En esta obra, Smyth no nos cuenta las vicisitudes de su recién estrenado matrimonio, sino que detalla las observaciones astronómicas que realizó en la isla canaria con el fin de comprobar una afirmación del ilustre Sir Isaac Newton, que decía que “un aire más tranquilo y sereno... podría encontrarse en las cimas de las montañas más altas por encima de las nubes más densas”.

Con la financiación del Almirantazgo inglés, el profesor Smyth corroboró dicha suposición tras realizar observaciones con telescopio en Tenerife desde lugares como la montaña de Guajara (a 2717 metros sobre el nivel del mar) y Altavista (3250 m), próximo a la cumbre del Teide. Esta fue una de las primeras veces que se comprobó que las cumbres de las altas montañas eran idóneas para los estudios astronómicos.

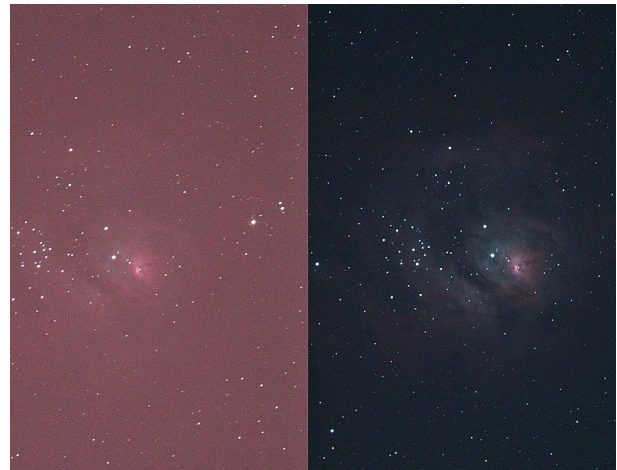
Además, los astrónomos cada vez eran más conscientes de la necesidad de tener telescopios mayores y más potentes. Cuanto mayor sea el diámetro de la lente o espejo principales del telescopio, mayor capacidad colectora de luz tendrá y, por tanto, podrá ver astros más débiles y lejanos con mayor nitidez. Ello trajo consigo el requisito de empezar a construir los observatorios lejos de las ciudades, universidades o centros que los promovían, buscando lugares con cielos oscuros, buenas condiciones meteorológicas y una atmósfera estable, limpia y transparente.

Sin embargo, el acceso a un cielo negro empezó a verse seriamente amenazado por el imparable incremento de la contaminación lumínica y atmosférica y las perturbaciones radioeléctricas desde principios del siglo XX, y desde entonces este problema no ha hecho sino aumentar de una manera exponencial. De este modo, de los requisitos que hemos comentado anteriormente para poder realizar observaciones astronómicas de calidad, el de hacerlas bajo un cielo oscuro libre de contaminación lumínica se ha convertido en el factor primordial que todo astrónomo busca, ya sea el científico profesional o un aficionado debutante.

En otros artículos de este catálogo ya se caracteriza en detalle qué es la contaminación lumínica y los serios problemas de toda índole que conlleva, por lo que en éste nos centraremos únicamente en cómo afecta a las observaciones astronómicas desde una doble vertiente: la de los astrónomos aficionados observando a simple vista o con pequeños instrumentos, y la de los investigadores profesionales y sus enormes telescopios de varios metros de abertura.

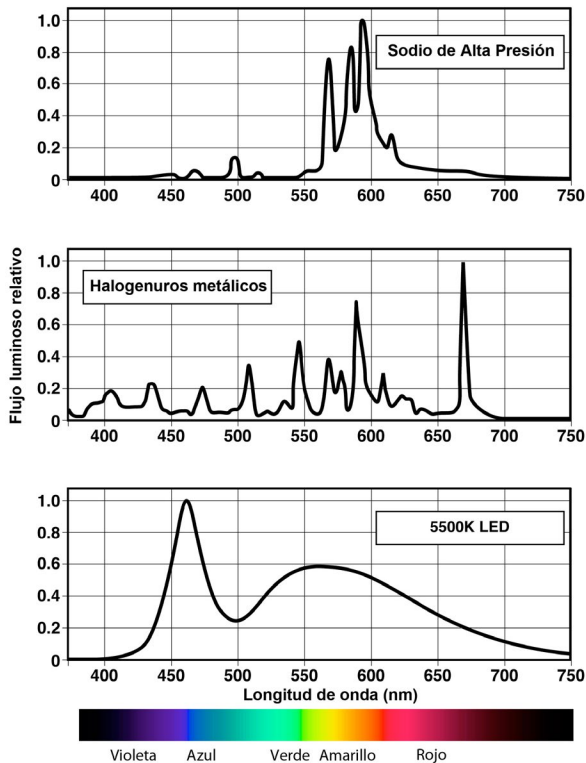
1. EL CIELO NO ES NARANJA

El predominio de las luces de sodio de alta presión en el alumbrado público, con su característica tonalidad amarillo-anaranjada, es el que hace que el firmamento de los pueblos y ciudades sea casi invisible, oculto bajo un globo de brillante luz naranja. Este es el mayor problema con el que se enfrentan todos los astrónomos y que es especialmente grave para los aficionados a la observación del cielo, pues implica obligatoriamente alejarse de las luces urbanas si se quiere disfrutar de la contemplación de la bóveda celeste en todo su esplendor, un espectáculo que, por desgracia, ya es muy ajeno a la inmensa mayoría de la población.



Dramático efecto de los filtros de banda ancha en entornos urbanos. La Nebulosa M 8 (La Laguna) fotografiada sin filtro (izquierda) y con filtro minimizador de la contaminación lumínica (derecha). Fuente: Jesús R. Sánchez.

Los objetos celestes, especialmente los de brillo difuso como las galaxias y nebulosas, poseen un nivel de luminosidad extremadamente bajo, como saben perfectamente todos los aficionados a la astronomía.



Comparación de las distribuciones espectrales de lámparas típicas en iluminación de exteriores (de arriba a abajo): vapor de sodio a alta presión, halogenuro metálico cerámico y LED blanco. La más difícil de filtrar es la luz LED. (Adaptado de International Dark Sky Association).

Resulta evidente que si en la línea de visión de estos objetos se interpone la luz dispersa procedente de alguna instalación de alumbrado, desaparece la posibilidad del contraste, ya que el fondo del cielo va perdiendo oscuridad. Sin embargo, esta luz dispersa existente en la atmósfera procedente del alumbrado, en forma del típico globo u hongo de luz anaranjada, no es la única forma de limitación de la observación astronómica. Otro aspecto mucho más negativo de la contaminación lumínica es la visión directa de algún punto de luz, ya que no sólo impide que nuestra pupila

pueda dilatarse al máximo para poder captar los detalles menos contrastados del objeto celeste, sino que nos puede deslumbrar completamente interrumpiendo este proceso de adaptación del ojo. En noche cerrada, la visión de un simple faro de coche, linterna o farola, ocasiona la inmediata pérdida de adaptación de nuestro ojo a la oscuridad, un proceso paulatino que lleva horas de tiempo. Obviamente, si nuestras observaciones las realizamos no sólo empleando el ojo, sino con cualquier dispositivo electrónico de captación de luz, como cámaras fotográficas digitales o CCD, la afectación es diferente, pero el resultado es el mismo: la contaminación lumínica no deja hacer largas exposiciones e imposibilita registrar astros débiles y difusos. Por ello el aficionado a la astronomía que se encuentre en un núcleo urbano ha de recurrir a la protección del telescopio o instrumento de observación mediante un cobertizo o cúpula que impida que pueda incidir cualquier luz dentro de su observatorio. Lamentablemente, el coste de este tipo de instalación, así como el riesgo de que se quede inutilizada si un vecino decide iluminar la zona contigua, ha hecho que muchos aficionados prefieran ir a observar en áreas rurales, aunque suponga el engorro del desplazamiento, a menudo a muchos kilómetros de distancia.

Observando fuera de las ciudades, en pleno campo, no sólo molesta la visión directa de puntos de luz, sino también los halos de contaminación lumínica que aparecen encima de las ciudades y pueblos. Estos hongos son el resultado del lanzamiento directo o del reflejado en el suelo de los alumbrados exteriores de esas ciudades. Si la atmósfera está muy sucia, con un gran número de partículas pequeñas, llamadas técnicamente aerosoles, éstas no sólo se iluminan, sino que reflejan la luz que reciben, como si de pequeños espejos se tratara. Los aerosoles proceden de multitud de procesos industriales, agrícolas o atmosféricos. Por ejemplo, todos los procesos de combustión, incluyendo los de los motores de automóviles, producen partículas no quemadas, y el humo es un excelente reflector de la luz. Más integrantes de los aerosoles son las partículas de polen, grano o polvo, que suelen ser levantadas por el viento y las corrientes térmicas ascendentes, fenómeno que sucede sobre todo en verano. Por último, en las zonas costeras existe en la atmósfera un elevado nivel de partículas de sal, resultado de la evaporación del agua marina, y que se une a los constituyentes de los aerosoles.

El peor de los fenómenos que afectan a la observación es la calima veraniega, que se forma por la entrada de masas de polvo procedente del Sahara, algo que sucede de forma reiterada en las frecuentes olas de calor que caracterizan el clima en nuestras latitudes. De este modo, el verano es la estación del año que posee la mayor cantidad de partículas en suspensión en la atmósfera y, por tanto, la de peores condiciones de observación y de contaminación lumínica por la dispersión de la luz debida a estas partículas. Para que la situación mejore es necesario que las partículas de los aerosoles se depositen en el suelo cuando llueve o cuando irrumpe aire frío, el cual al descender debido a su mayor peso, arrastra a éstas hasta el suelo. Esto acostumbra a suceder durante las largas noches de invierno o cuando, después del paso de un frente de lluvia, irrumpe una masa de aire frío. Con la atmósfera sucia, en el campo es posible observar en el cenit, donde la capa de atmósfera a atravesar es más fina. Sin embargo, en zonas urbanas de elevada contaminación lumínica, la atmósfera actúa como un inmenso espejo, devolviendo la luz que se emite para arriba. Lo mismo sucede a una cierta distancia de la ciudad. Es sencillo para el astrónomo amateur averiguar cuándo se acerca una noche con la atmósfera limpia, sin apenas partículas que reflejen la contaminación lumínica. Son aquellas en las que el cielo diurno aparece intensamente azul y en las que las nubes y objetos muy alejados, como montañas, se perfilan con detalle. Por el contrario, una atmósfera llena de partículas que realzan la contaminación lumínica se detecta con la existencia de cielos lechosos, sobre todo cerca del horizonte, atardeceres rojos, y en la que las nubes y paisajes distantes aparecen difuminados y sin relieve.

Cuando no es posible salir a observar a zonas lejos de la contaminación lumínica, lo que desafortunadamente ocurre muy a menudo, la tecnología sale en nuestra ayuda para tratar de paliar este problema. Desde hace tiempo es habitual que los astrónomos aficionados posean unos filtros especiales de banda ancha que son capaces de reducir de forma apreciable los efectos de la contaminación lumínica, pues cortan selectivamente la emisión de luz amarillenta de las lámparas de sodio y solo parcialmente las blancas de mercurio. En cualquier caso, mejoran el contraste cuando se observa en ambiente urbano y de forma muy similar para todos los objetos difusos de cielo profundo. El primero de ellos en comercializarse fue el denominado DeepSky, de la casa estadounidense Lumicon.

Este filtro sigue en vigor y después otros fabricantes han ofrecido también su versión.

El efecto es muy parecido en todas las marcas, aunque hay pequeñas diferencias de rendimiento y también apreciables diferencias de precio. La nomenclatura es muy variada: LPS-P, Skyglow, CLS, DeepSky, etc.

Y aunque comenzábamos este epígrafe titulándolo que el cielo no es naranja, el color del firmamento urbano está empezando a cambiar de manera reciente en muchos lugares, y no precisamente para mejor. La proliferación de los nuevos sistemas de alumbrado con dispositivos LED de color blanco azulado que se comercializan actualmente parece dejar de lado el hecho documentado científicamente de que se trata del tipo de iluminación más nociva para el medio ambiente nocturno y para la salud humana. Estos dispositivos emiten un máximo valor o pico en longitudes de onda corta próximas a los 460-470 nanómetros, correspondiente al color azul.

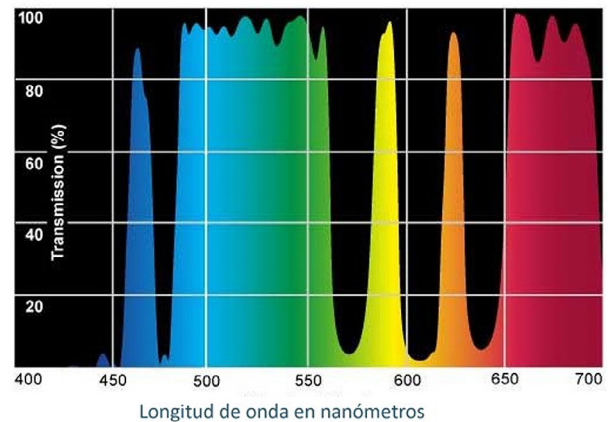


Diagrama de un filtro de banda ancha mostrando los diferentes picos y mostrando el color correspondiente a cada longitud de onda. Tiene valles oscuros en las longitudes de onda en que emiten la mayor parte de las lámparas de alumbrado público, lo que lo hace idóneo para observar bajo condiciones de contaminación lumínica. Fuente: Jesús R. Sánchez.

Este tipo de luz, además, es la que causa una mayor contaminación lumínica, ya que es la que se difunde con mayor eficacia en la atmósfera. Esto incrementa el característico resplandor luminoso que se crea sobre las poblaciones, afectando a las observaciones astronómicas y perturbando la oscuridad natural del medio nocturno a grandes distancias de las mismas. Por si fuera poco, los anteriormente mencionados filtros de banda ancha anti contaminación luminosa son muy poco eficaces en esta zona del espectro, por lo que su utilidad en los “nuevos” cielos iluminados por LED es casi nula.



La península Ibérica fotografiada desde la Estación Espacial Internacional el 4 de diciembre de 2011 en una noche de luna creciente, que ilumina las nubes. Las luces de las aglomeraciones urbanas de Madrid y Lisboa son las más evidentes. Fuente: NASA.

2. TELESCOPIOS GIGANTES, PROBLEMAS GIGANTES

Todos los efectos mencionados en el apartado anterior se magnifican cuando hablamos de la influencia de la contaminación lumínica en el mundo de la investigación astronómica profesional. Los grandes telescopios de los modernos observatorios son gigantes colectores de luz, pues ese es precisamente su objetivo: captar la máxima cantidad de fotones procedentes de los astros. Y cuando se trata de detectar la debilísima luz de galaxias en las fronteras del universo observable, buscar exoplanetas alrededor de otras estrellas, o hacer

mapas de alta resolución al límite del brillo detectable por los sofisticados instrumentos de los telescopios, la contaminación lumínica es sencillamente algo que lo impediría por completo.

Los observatorios históricos con algunos siglos de antigüedad, como por ejemplo los de Greenwich en Londres, Meudon cerca de París, o el Fabra en Barcelona, se encuentran en la actualidad en medio de sus ciudades respectivas y la contaminación lumínica los hace prácticamente inservibles. Pero no sólo estos lugares clásicos son los afectados por la iluminación urbana. Observatorios mucho más recientes, como el de Monte Wilson en California, que se instaló a principios del pasado siglo, y debido al crecimiento de la conurbación de Los Ángeles a partir de los años 30, se vio forzado a que los nuevos telescopios que se desarrollaban tuvieran que colocarse en lugares más aislados y lejanos de la galopante contaminación lumínica que impedía cada vez más las observaciones de cielo profundo. El famoso telescopio Hale, de 5 metros de diámetro, fue uno de los instrumentos que se tuvo que instalar en un observatorio de nueva planta en 1948, en un lugar llamado Monte Palomar, y que fue seleccionado ex profeso lejos de Monte Wilson, a más de 130 km de distancia de éste. Hoy en día, incluso Monte Palomar se ve bastante afectado por la iluminación de los más de dieciocho millones de habitantes de la región de Los Ángeles.

No es de extrañar, por ello, que los telescopios gigantes de la actualidad, colosos con superficies colectoras de hasta diez metros de abertura, como los gemelos Keck de Hawái o el Gran Telescopio Canarias de La Palma, se instalen ambos en la cumbre de montañas de miles de metros de altura, en islas poco pobladas aisladas en medio de océanos y lo más lejos posible de las luces de las ciudades. Numerosos observatorios han tenido incluso que elaborar complejas leyes para proteger la calidad del cielo oscuro y tratar de minimizar el efecto de la contaminación lumínica, como es el caso de una de las legislaciones pioneras en el mundo a este respecto, la Ley para la Protección de la Calidad Astronómica de los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias, conocida popularmente como Ley del Cielo. Esta ley, creada en 1988, afecta a la vertiente norte de la isla de Tenerife y la totalidad de la isla de La Palma, y trata de evitar tres tipos distintos de contaminación; la lumínica,

La exagerada contaminación lumínica en las ciudades sólo permite vislumbrar los astros más brillantes, como la Luna y Venus. Imagen tomada en la ciudad de Madrid el 8 de diciembre de 2013. Fuente: Paul Veronese.



radioeléctrica y atmosférica, además de las molestias que pueden provocar las rutas aéreas a las observaciones. De este modo se regula el uso de un alumbrado adecuado en las poblaciones, con una disminución de éste a partir de la medianoche; el control de las emisiones radioeléctricas que puedan interferir a los observatorios; la prohibición de actividades industriales o de otro tipo por encima de los 1500 metros de altura sobre el nivel del mar que puedan contaminar la atmósfera cercana a los telescopios; y las rutas de los aviones que sobrevuelan los Observatorios del Teide y el Roque de Los Muchachos. Para facilitar la aplicación de la Ley del Cielo, el Instituto de Astrofísica de Canarias dispone desde 1992 de la Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo, que asesora sobre los preceptos de la Ley y emite informes técnicos a proyectos de alumbrado y de estaciones radioeléctricas, así como certificados de luminarias.

Hay otros lugares del planeta que albergan grandes complejos de telescopios, como los del Observatorio Europeo Austral (ESO) en los Andes chilenos, con

características desérticas de alta montaña donde se ubican.

Con el fin de minimizar el impacto actual y potencial de la contaminación lumínica e industrial, los terrenos de los observatorios del ESO tienen centenares de kilómetros cuadrados de extensión a su alrededor donde hay prohibición de cualquier tipo de actividad humana contaminante. De esta manera se salvaguarda la excelente calidad observacional de sitios como Cerro Paranal o La Silla, con cielos nocturnos limpios y extraordinariamente oscuros.

La extremada precisión que requieren la mayoría de las investigaciones astronómicas modernas no sería posible sin poder garantizar cielos libres de contaminación lumínica. Un ejemplo de estas observaciones en el límite de la tecnología es el empleo de potentes láseres para crear estrellas artificiales. Los telescopios lanzan un fino haz de láser al cielo que excita átomos de sodio en una capa de la atmósfera terrestre (mesosfera) a unos 90 kilómetros de altura, haciéndolos brillar y creando un pequeño



Desde lugares sin contaminación lumínica, el espectáculo del firmamento en una noche sin luna es una de las grandes maravillas de la naturaleza. Fuente: Alejandro Sánchez de Miguel, tomada en la Isla de Pascua, en medio del océano Pacífico.

punto de luz brillante, una especie de “estrella artificial”. Las medidas de esta denominada estrella de guiado se emplean para corregir los efectos distorsionadores de la atmósfera, una técnica conocida como óptica adaptativa y que cada día es más común en los grandes telescopios, pues sirve para poder hacer observaciones al límite de resolución del instrumento, casi como si estuviera en el espacio sin atmósfera. Si a esta ganancia de calidad de las imágenes, sin el emborronamiento producido por la turbulencia atmosférica, le añadimos un cielo negro libre de contaminación lumínica, que hace que el contraste entre el fondo de cielo y el astro observado sea el mayor posible, el rendimiento científico de los telescopios gigantes es máximo, optimizándose las enormes inversiones que dichos instrumentos requieren.

3. SALIR DE LAS CÁRCELES DE LUZ

Mas allá del indudable valor científico, educativo y cultural que representa la astronomía, su incidencia y los beneficios que reporta en la actualidad no son suficientemente conocidos o valorados. Muchos de los grandes avances en el desarrollo de las comunicaciones, de los sistemas de navegación e, incluso, en las tecnologías médicas avanzadas de obtención de imágenes, han de ser atribuidos al desarrollo de la moderna astronomía.

Hoy podemos considerar que el universo es un laboratorio que atesora una infinidad de conocimientos sin descubrir y que de su observación se desprenden nuevos logros científicos y beneficios tecnológicos con repercusión directa en la sociedad. Por ello, el papel de la astronomía ha de ser contemplado desde una visión mucho más amplia, y la perniciosa influencia de la contaminación lumínica a este respecto constituye un serio problema.

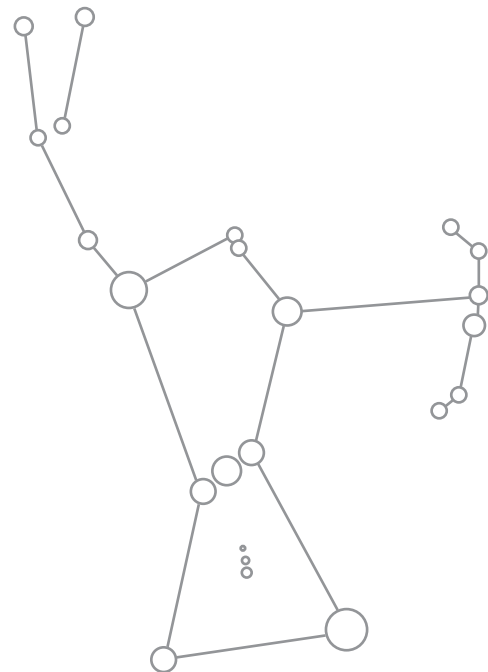
Además, y para terminar, el derecho a la observación de las estrellas tiene también otras muchas dimensiones que afectan directamente a múltiples facetas de nuestra vida. El poder observar un firmamento limpio y oscuro es un componente de la calidad de vida de los ciudadanos, y es también un referente que permite

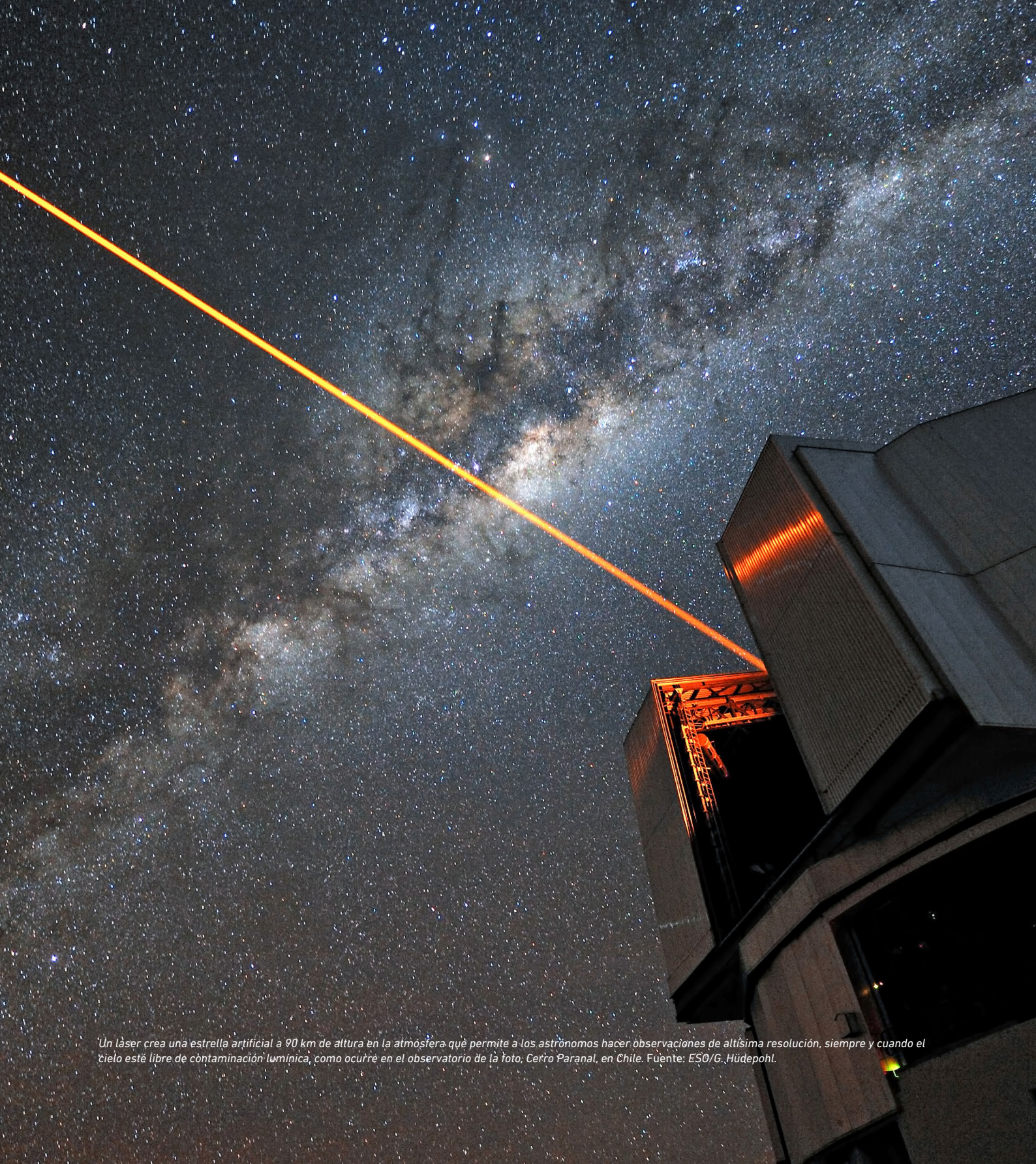
valorar y redescubrir el inmenso patrimonio cultural que la humanidad ha acumulado observando los cielos nocturnos.

Las “cárceles de luz” que hemos construido sobre nuestras ciudades nos aíslan del universo al que pertenecemos y cuya contemplación y estudio nos ha hecho ser como somos. ¿Queremos seguir añadiendo barrotes a estas prisiones, o dejaremos ventanas abiertas para seguir creciendo en el conocimiento?

4. SOBRE EL AUTOR

Ángel Gómez Roldán es el director de la revista “Astronomía”. Trabajó durante catorce años en los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias y es miembro de Cel Fosco, Asociación contra la Contaminación Lumínica, www.celfosc.org. Para contactar: angel.gomez@astronomia-mag.com.





Un láser crea una estrella artificial a 90 km de altura en la atmósfera que permite a los astrónomos hacer observaciones de altísima resolución, siempre y cuando el cielo esté libre de contaminación lumínica, como ocurre en el observatorio de la foto, Cerro Paranal, en Chile. Fuente: ESO/G. Hudepohl.

STARLIGHT, EN DEFENSA DEL CIELO OSCURO

“El cielo, nuestra herencia común y universal, es una parte integral del ambiente percibido por la humanidad, que ha observado siempre el cielo para interpretarlo o para entender las leyes físicas que gobiernan el universo. Este interés en la Astronomía ha tenido implicaciones profundas para la ciencia, la filosofía, la religión, la cultura y nuestro concepto general del mundo”.

El texto anterior forma parte de la proclamación de 2009 como el Año Internacional de la Astronomía, y se hizo en la 33ª Conferencia General de la Unesco en París, en el año 2005. Como fruto de esta inquietud nació StarLight (www.starlight2007.net), una de las principales iniciativas internacionales dedicada a la defensa de la calidad del cielo nocturno como derecho científico, cultural y medioambiental de la humanidad, basada en una serie de acciones y proyectos que han ido surgiendo en los últimos años en diversos ámbitos y países, llegando a conformar una red potencial de actores básicos en defensa del cielo nocturno en todas sus manifestaciones. La Conferencia Internacional en Defensa de la Calidad del Cielo Nocturno y el Derecho a la Observación de las Estrellas (el largo nombre completo de StarLight) abordó en abril de 2007, en su primera reunión en la isla canaria de La Palma, un conjunto de áreas temáticas que definían el marco

de actuación en defensa de la calidad del cielo nocturno. Desde la dimensión científica y tecnológica, que atiende la necesidad de los astrónomos (profesionales y también aficionados) de disponer de cielos oscuros y nítidos, hasta los beneficios para la sociedad: medioambientales, culturales, educativos, etc.

Contando como promotores con el Ministerio de Medio Ambiente de España, el Gobierno de Canarias, La Palma Reserva de la Biosfera y el Instituto de Astrofísica de Canarias, y con el apoyo de la Unesco y el programa MaB (Hombre y Biosfera) de la misma organización de las Naciones Unidas, la iniciativa culminó con la celebración de la mencionada Conferencia Internacional, que convocó a cerca de doscientos expertos de multitud de disciplinas de una treintena de países. Uno de los objetivos fundamentales de la reunión fue consensuar una declaración sobre la protección del cielo oscuro como un derecho básico de la humanidad en la que sería denominada como la Declaración sobre la Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a la Luz de las Estrellas, o Declaración de La Palma. Esta declaración, cuyo texto íntegro puede consultarse en www.starlight2007.net/pdf/DeclaracionStarlightES.pdf es el pilar básico a partir del cual se están construyendo otras iniciativas para la protección y consolidación de lugares protegidos en todo el planeta para el disfrute, observación y estudio del cielo bajo condiciones de contaminación lumínica mínima o inexistente.

Ángel Gómez Roldán



La visión humana, a pesar de los medios electrónicos y las imágenes digitales, es insustituible para la observación astronómica. La contaminación lumínica afecta muy seriamente a esta capacidad. Fuente: Fotocomposición del autor, imagen de fondo estelar cortesía de Marco Lorenzi.

EL LADO
OSCURO
DE LA LUZ
CONTA-
MINACIÓN
LUMINICA

¿PUEDE LA LUZ AFECTAR A NUESTRA SALUD?

Rol MA, Otálora BB, Martínez Nicolás A, Bonmatí MA, Ortiz-Tudela E, Argüelles R, Martínez-Madrid MJ, Madrid JA.

Laboratorio de Cronobiología, Departamento de Fisiología, Facultad de Biología, IMIB-Arrixaca, Universidad de Murcia.

1. INTRODUCCIÓN

Los astronautas/cosmonautas apenas si llevan medio siglo viajando al espacio; sin embargo, los viajes espaciales han dado lugar a descubrimientos sin precedentes sobre el sistema solar y han permitido a la humanidad observar y vigilar la Tierra desde una nueva perspectiva.

Gracias a las fotografías nocturnas de la Tierra se ha puesto de manifiesto que el grado de contaminación luminosa crece a un ritmo alarmante. En ellas podemos identificar la localización de todos los centros de población, incluso los más pequeños, por la luz que emiten. La comparación de las fotografías espaciales de 1970 con las del 2000 revelan que incluso las áreas más remotas de la Tierra se están contaminando progresivamente por la luz nocturna, es decir, la oscuridad está desapareciendo.

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

Por ello en este artículo nos centraremos en describir brevemente algunas de las implicaciones funcionales de la contaminación luminosa durante el periodo de oscuridad sobre la biología circadiana humana y su patofisiología.

Pero conviene comenzar por dar a conocer qué es el sistema circadiano y qué es la Cronobiología, ciencia que se encarga del estudio de los ritmos biológicos, que son precisamente los que se ven afectados por la contaminación lumínica.

La Cronobiología es una ciencia que comienza a desarrollarse a partir de los años 60, cuyo objetivo es el estudio de los ritmos biológicos, entendidos estos como cambios periódicos en una variable biológica. Entre otros temas se ocupa de responder a preguntas relacionadas con la influencia del tiempo en los procesos biológicos, como por ejemplo: ¿por qué la temperatura sube por la tarde?, ¿por qué es más probable un ataque de asma por la mañana temprano?, ¿por qué una copa de vino produce mayores niveles de alcoholemia por la mañana que por la tarde?, o ¿qué es lo que desencadena que muchos animales se reproduzcan en un periodo concreto del año?

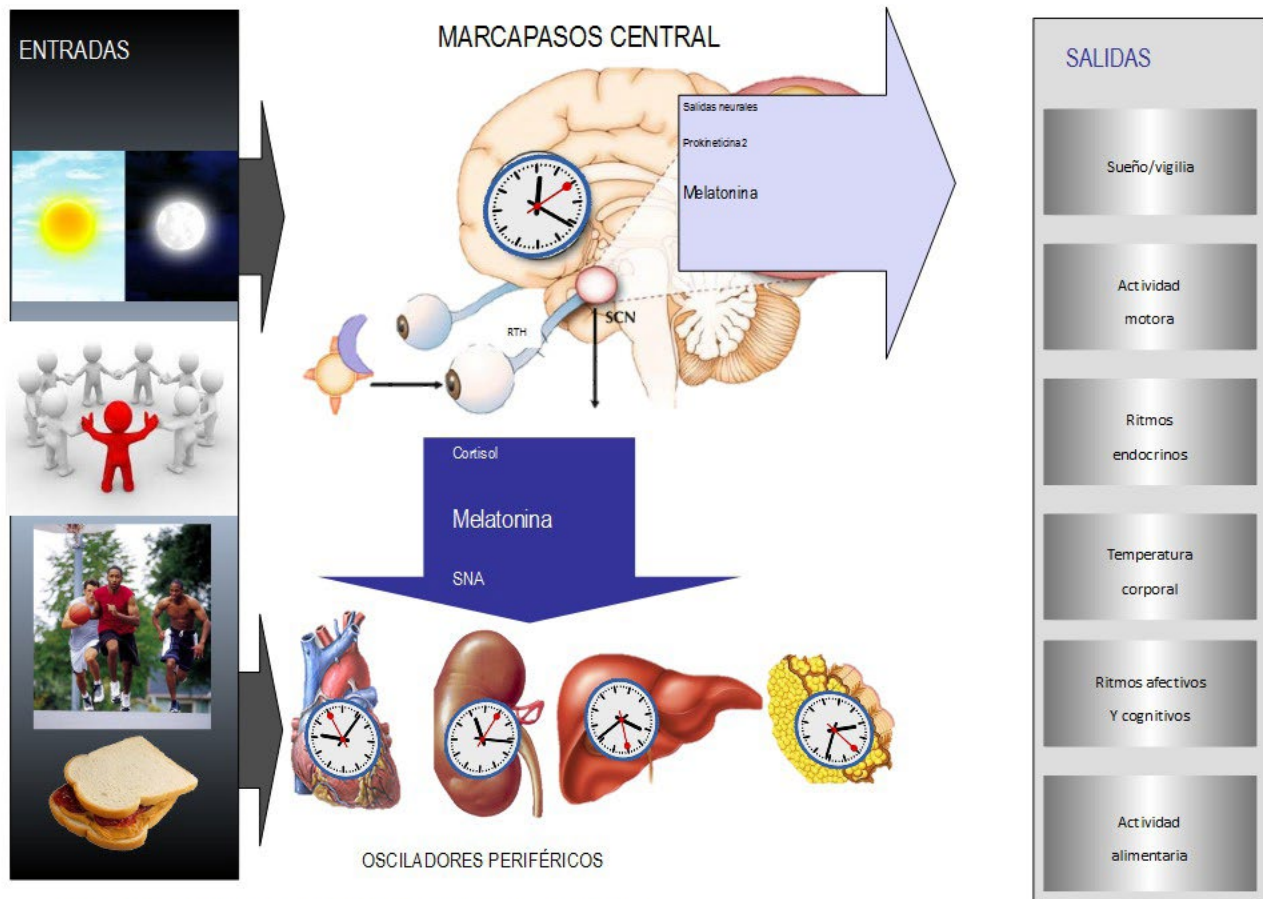
La Cronobiología introduce una nueva dimensión en la Biología y la Medicina, el tiempo. Cuando integramos el tiempo en la biología de los seres vivos observamos que la fisiología, la bioquímica y la conducta de cada ser vivo es diferente en función de la hora del día y del día del año en el que se estudie.

Como en cualquier otra ciencia, existe un lenguaje particular que puede dificultar la aproximación de un profano en la materia a estos temas. Por tanto, parece interesante introducir algunos de estos términos de uso común en esta disciplina. Entre los parámetros que caracterizan los ritmos biológicos, el periodo, o tiempo que tarda en repetirse una oscilación completa, y su

inversa, la frecuencia, o número de ciclos por unidad de tiempo, son los que se han utilizado tradicionalmente para caracterizar los diferentes ritmos biológicos. Se suele utilizar como unidad de frecuencia el día.

De este modo, los ritmos pueden clasificarse como ritmos circadianos, con frecuencia próxima a un ciclo por día (periodo comprendido entre >20 y <28 h, es decir, aquellos que oscilan con un periodo cercano, *circa*, a las 24 horas, *diem*); ultradianos, con frecuencia superior a un ciclo por

día (periodo <20 h); e infradianos, ritmos cuya frecuencia es inferior a la diaria (período >28 h). Entre esos últimos se encuentran los ritmos circalunares (período ≈ 28 días) y los circanuales (período ≈ 365 días). El prefijo *circa*-, suele utilizarse para referirse solamente a aquellos ritmos para los cuales se ha demostrado su persistencia en condiciones ambientales constantes, en caso contrario deberían utilizarse los términos: ritmo diario o nictemeral (en lugar de ritmo circadiano), ritmo anual (en lugar de ritmo circanual), ritmo mareal (en lugar de circamareal),



Modificado de Garaulet M & Madrid JA. 2009. *Current Opinion in Lipidology*, 20:127-134)

Figura 1. Estructura de un sistema circadiano. En mamíferos, la estructura básica consta de un marcapasos central ubicado en los núcleos supraquiasmáticos del hipotálamo (NSQ). Este marcapasos o reloj recibe la información luminosa a través del tracto retino hipotálamico, y la actividad sincronizada de sus neuronas comunican la señal temporal mediante proyecciones nerviosas y señales humorales al resto del organismo. De hecho, la alternancia del ciclo luz/oscuridad y otras señales de entrada como, por ejemplo, el horario de alimentación, ayudan a poner en hora el reloj actuando como sincronizadores. Además de este marcapasos principal existen numerosos osciladores periféricos tanto en el cerebro como en otros órganos. Todos ellos han de trabajar perfectamente coordinados entre sí. El funcionamiento de este reloj se traduce en la expresión rítmica de múltiples variables fisiológicas, la mayoría de ellas con un periodo cercano a las 24 horas, por lo que se denominan ritmos circadianos.

ritmo lunar (en lugar de ritmo circalunar), etc. Por poner algunos ejemplos, un ritmo circadiano es el que presenta el patrón de sueño-vigilia, un ritmo infradiano lo constituye el ciclo menstrual de las mujeres o los ritmos estacionales de reproducción de muchos animales, y un ritmo ultradiano es el que muestra un recién nacido en su alimentación y sueño (con ciclos de 3-4 horas).

Desde que la vida se originó en nuestro planeta, se desarrolló en un entorno rítmico predecible. Debido a su importancia para la supervivencia de las especies, la selección natural ha favorecido que todos los organismos, desde procariontes hasta los humanos, posean relojes que generan oscilaciones con periodos de aproximadamente 24 horas (reloj circadiano); así, cada forma de vida evolucionó para garantizar la coordinación temporal de sus procesos fisiológicos entre sí y con el ambiente.

2. ¿DÓNDE ESTÁ EL RELOJ BIOLÓGICO Y CÓMO FUNCIONA?

Hoy en día, más que pensar en un único reloj, es más apropiado pensar en todo un sistema encargado de mantener el orden temporal y que no sólo incluye al marcapasos principal, sino también a toda una serie de relojes subordinados.

Así, esta red de estructuras organizada jerárquicamente, responsable de la generación y sincronización de los ritmos circadianos con el medio ambiente, es lo que se conoce como el sistema circadiano, y en el caso de mamíferos, el marcapasos central está situado en el núcleo supraquiasmático (NSQ) del hipotálamo (figura 1). El sistema circadiano cuenta, además, con osciladores periféricos en casi todos los tejidos del organismo. Cada tejido presenta un ritmo en sus funciones (expresión de genes, producción de proteínas específicas de ese tejido, etc.), pero todos ellos están dirigidos por el ritmo que marca el reloj central, es decir, su fase la determina el marcapasos central. También conviene destacar la existencia de un mecanismo molecular, que implica a los genes denominados genes reloj, entre los que se encuentran Bmal 1, Clock, Per (1,2,3) y Cry (1,2), que subyace a estas oscilaciones. El sistema

circadiano funcionaría, por tanto, como una orquesta en la que el NSQ actuaría como el director, mientras que los distintos grupos instrumentales serían estos osciladores periféricos, y para que exista la necesaria coordinación temporal entre ellos, es necesario que el reloj difunda su señal al resto del organismo mediante señales de salida a través de mediadores humorales (entre los cuales la hormona melatonina juega un papel principal) y de señales nerviosas. Como consecuencia de la actividad del reloj, aparecen ritmos manifiestos en prácticamente todas las variables fisiológicas (figura 1), como por ejemplo ocurre con la temperatura central y periférica, la presión arterial, la sensibilidad a insulina, la secreción de cortisol o la fuerza muscular, que oscilan a lo largo de las 24 h tal y como se ilustra en la figura 2. De hecho, se utilizan precisamente los registros de los denominados ritmos marcadores (melatonina, cortisol, actividad, temperatura) como una forma de evaluar el estatus del reloj, y más recientemente la monitorización circadiana ambulatoria, basada en el registro simultáneo de variables complementarias en un intento de objetivar el grado de sincronía de los ritmos entre sí.

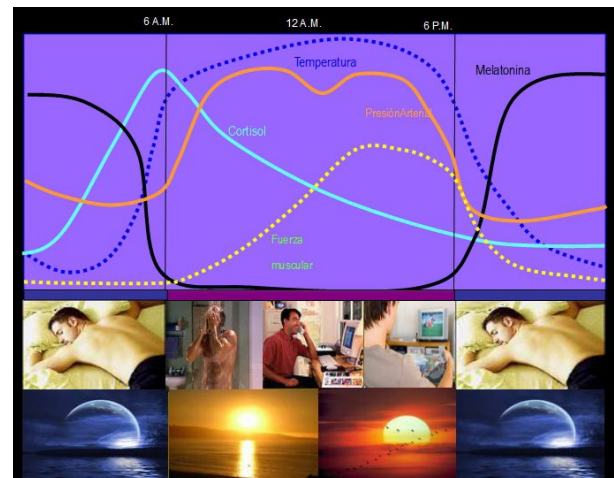


Figura 2. Ritmos circadianos de algunas variables fisiológicas, como el de la secreción de melatonina (máxima durante la noche), de cortisol (con un pico justo antes de levantarse), de la temperatura central (con un mínimo hacia las 3-4 de la mañana), de presión arterial (que se eleva durante el día) y de fuerza muscular (con valores más altos en la tarde).

No obstante, el NSQ tiende a seguir su propio ritmo; por ejemplo, en la mayoría de las personas retrasa debido a que posee un periodo endógeno (tau) de aproximadamente 24,5 horas. Sin embargo, en la vida cotidiana, estos desajustes no se producen gracias a que determinados factores ambientales, denominados sincronizadores o *zeitgebers* (término alemán que significa literalmente “dador de tiempo”), lo ponen en hora diariamente. Los sincronizadores son una serie de entradas periódicas de información (como el ciclo luz-oscuridad, los contactos sociales, el ejercicio regular, el horario de alimentación). De todos ellos, el más importante es la alternancia del ciclo luz-oscuridad.

3. LA MELATONINA, LA HORMONA DE LA NOCHE

Una de las salidas del NSQ mejor conocidas es la vía multisináptica que alcanza la glándula pineal, responsable de la síntesis de melatonina, hormona que difunde el mensaje temporal del NSQ al resto del organismo, actuando, por tanto, como cronobiótico (sincronizador temporal). Su síntesis está sometida a una doble regulación: por un lado, a la estimulación noradrenérgica (es decir, del neurotransmisor adrenalina) por parte del NSQ, que tiene lugar durante la noche; y por otro a la acción directa inhibitoria de la luz.

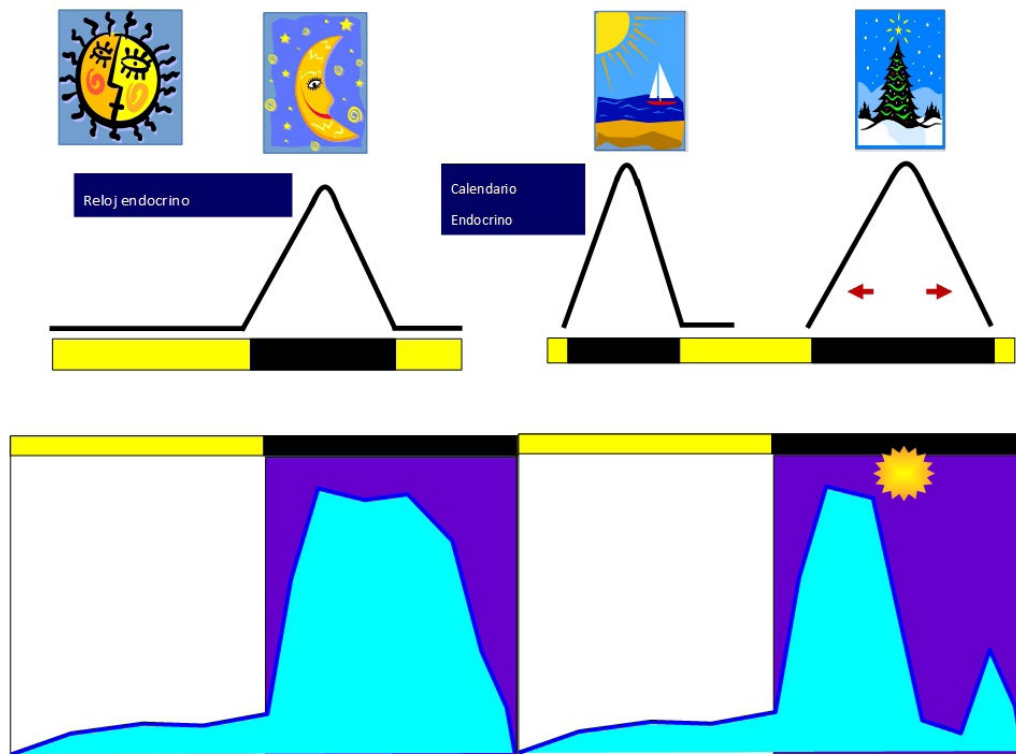


Figura 3. Secreción nocturna de melatonina. La secreción de melatonina ocurre durante el periodo de oscuridad, por lo que actúa como reloj endocrino, indicando al organismo cuando llega la noche; y también como calendario endocrino, puesto que el tiempo que permanece elevada su secreción se va alargando o acortando en función de la época del año. Esto permite que los organismos se preparen para el periodo reproductor, para las migraciones, etc. Si durante el periodo de oscuridad se recibe un pulso de luz, la secreción se inhibe y, en ocasiones, como se muestra en la figura inferior, no puede recuperar los niveles que hubiera mostrado sin dicho pulso.

Así, la producción de esta hormona muestra un marcado ritmo circadiano, con valores bajos durante el día y elevados durante la noche, con independencia del carácter nocturno o diurno de los organismos, lo que ha llevado a que se la conozca como la "oscuridad química". La gran estabilidad de su ciclo, y el hecho de que su producción coincida con la oscuridad, ha permitido que la melatonina sea utilizada por los organismos como un reloj diario que les informa de la llegada de la noche y también como un calendario endocrino que les informa del momento del año preciso en el que se encuentran (figura 3). Esto último se consigue gracias a que la duración de la producción de melatonina está directamente relacionada con la duración de la noche y, por lo tanto, a medida que se extiende el periodo de oscuridad se prolonga el tiempo en el que la secreción de melatonina permanece elevada. De igual forma, un acortamiento de la fase de oscuridad supone una disminución progresiva del tiempo que los niveles de esta hormona permanecen elevados.

Así, en aquellos animales con reproducción estacional, centrada en los días largos de la primavera-verano, la melatonina estimula la función reproductora (muestra una actividad progonadotropía), mientras que en los reproductores de días cortos, como el ciervo o la oveja, esta hormona inhibe la función gonadal (función antigonadotropía).

Pero además de su acción cronobiológica, la melatonina, un derivado del aminoácido triptófano, presenta otras muchas acciones. Gracias a su naturaleza, esta indolamina puede atravesar libremente la membrana plasmática de la célula y actuar como neutralizadora de radicales libres, es neuroprotectora, modula la función inmune y también ha demostrado su eficacia como oncostático en algunos tipos de cáncer.

En las sociedades modernas, el ciclo natural de luz-oscuridad se ha alterado por el abuso de la luz artificial durante la noche. Una de las consecuencias fisiológicas directas de la exposición a luz nocturna es la supresión de la síntesis de melatonina. La reducción en los niveles de melatonina se produce tanto por la prolongación de la luz al periodo de oscuridad natural como por exposiciones breves a la luz durante la noche. El grado de supresión vendrá definido por el momento en que tenga lugar la exposición, la duración de la misma y las características de la luz (intensidad y longitud de onda).

Así, el posible restablecimiento de la síntesis elevada de melatonina tras una breve exposición a la luz durante la noche parece depender del momento de la fase de oscuridad en el que se produce la exposición. Si la exposición a la luz se produce en la primera mitad de la noche, los niveles de melatonina nocturnos pueden restablecerse (en una hora tras el pulso de luz). Por el contrario, si el pulso de luz se produce en la segunda mitad del periodo de oscuridad, ese restablecimiento no ocurre (figura 3).

La intensidad también influye así en humanos. La exposición a un pulso de luz brillante de 30 min de duración en mitad de la fase de oscuridad conduce a una reducción del 70% de la secreción de melatonina. En ratas bastan 0,2 lux para suprimir la secreción de melatonina, si bien en humanos son necesarias intensidades superiores o prolongar el tiempo de exposición; por ejemplo, a una intensidad de 0,1 lux de luz azul, equivalentes a una noche de luna llena, la exposición debe alcanzar los 90 minutos para que se suprima parcialmente la secreción de esta hormona. En la figura 4 se recogen algunos ejemplos, calculados a partir de modelos teóricos que permiten establecer una comparativa de cómo se reduciría la secreción de melatonina con distintos tipos de luz.

La melatonina se reduce al 50% tras:

403 horas de luz monocromática roja de 100 lux

66 min de luz de una vela próxima

39 min de luz de una bombilla incandescente de 60 W

15 min de exposición a un fluorescente de luz de día 58 W

13 min de luz generada por diodos LED

Figura 4. Inhibición de la secreción de melatonina por exposición a diferentes tipos de luz según la longitud de onda predominante y el tiempo de exposición. Estos datos teóricos se han obtenido mediante modelado matemático. (Schulmeister et al. 2004, Pauley 2004).

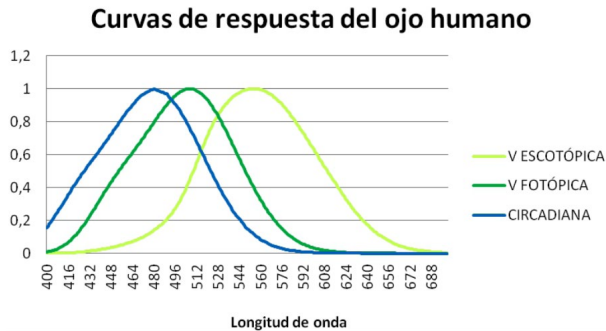


Figura 5. Sensibilidad espectral donde pueden observarse los máximos correspondientes a la visión fotópica (de día), escotópica (de noche) y el máximo de excitación para las células ganglionares de la retina, que envía la información al sistema circadiano. Reproducido de Turner, P.L. y Mainster, M.A. Br. J. Ophthalmol. 2008; 92: 1439-1444.

Como se desprende de estos cálculos, no todos los tipos de luces afectan por igual a la secreción de melatonina, ya que actualmente sabemos que la inhibición es mayor con longitudes de onda que se encuentran en el rango del azul. El motivo de esto radica en la existencia de una subpoblación de células ganglionares en la retina que son directamente fotosensibles y que poseen un fotopigmento, la melanopsina, particularmente sensible a la luz de entre 460 y 480 nm. Estas células, descritas por primera vez por Berson y su grupo en 2002, no intervienen en la formación de imágenes, sino en la transmisión de la información luminosa no visual que alcanza el NSQ gracias al tracto retinohipotalámico, como se ilustra en la figura 1. No obstante, la transmisión de luz al sistema circadiano también depende de conos y bastones, aunque en menor medida que las anteriores (figura 5).

Pero para que la secreción de melatonina sea la adecuada, no sólo es necesaria la oscuridad durante la noche, como ya hemos mencionado, también es necesario exponerse a luz brillante durante el día. En humanos se necesitan como mínimo 200-300 lux de intensidad para que el sistema circadiano se mantenga sincronizado, de tal forma que la insuficiente exposición a luz diurna y/o la excesiva exposición a luz brillante por la noche perjudica el funcionamiento del NSQ.

4. DISFUNCIÓN CIRCADIANA (CRONODISRUPCIÓN, CD)

Pensemos ahora en la sociedad en la que vivimos; se están implantando jornadas de trabajo continuadas de 24h, hecho que se refleja en un aumento de la proporción de población que participa habitualmente en trabajo por turnos, lo que también implica extender la iluminación artificial a la noche, el picoteo nocturno, la constancia ambiental en la temperatura gracias a los sistemas de refrigeración/calefacción, el sedentarismo, ocio nocturno, etc. En consecuencia, enviamos señales conflictivas a nuestro reloj que se traducen en lo que actualmente se conoce como cronodisrupción (CD) o disfunción circadiana, es decir, pérdida del orden temporal interno: los ritmos fisiológicos dejan de estar coordinados entre sí y con el ambiente.

Para la salud del organismo no sólo es importante que los ritmos en las variables fisiológicas se mantengan, además es necesario que guarden una relación de fase, un orden, apropiado entre ellos. Por ejemplo, en los hepatocitos existen enzimas lipolíticas y también lipogénicas. Si la actividad de ambas enzimas estuviese aumentada al mismo tiempo, su actuación sobre el almacenamiento o utilización de grasa sería completamente ineficaz. Por el contrario, si las enzimas lipolíticas están activas en unos momentos del día (por ejemplo, en el periodo de sueño, y por tanto de ayuno del organismo) y las lipogénicas se activan en otro momento (por ejemplo, durante el periodo de predominio de la alimentación) el organismo podrá almacenar y utilizar la grasa de forma cíclica de acuerdo a sus necesidades.

Existe un "precio a pagar" fisiológico por la alteración persistente del ciclo circadiano. Así, por ejemplo, desplazamientos semanales de 12 horas en el ciclo de luz-oscuridad reducen significativamente la esperanza de vida media de hámsters aquejados de miocardiopatía o en ratones envejecidos. Desplazar los hábitos personales hacia el modo de vida nocturna, por ocio o trabajo, no sólo se asocia a una disminución paralela en el tiempo dedicado a dormir, que ha pasado de 9 horas a principios del siglo XX a 7 horas cien años más tarde, sino que favorece la aparición de ciertas patologías. En humanos, la

CD se asocia a un aumento en la incidencia del síndrome metabólico, de las enfermedades cardiovasculares, deterioro cognitivo, trastornos afectivos, envejecimiento acelerado, alteraciones en la reproducción e incluso del riesgo de padecer determinados tipos de cáncer como el de mama, próstata y colorrectal.

Además, en animales de experimentación la luz continua empeora patologías preexistentes como es el caso de la evolución del hepatoma o del melanoma.

Cada vez existen más evidencias en la literatura científica que vinculan la exposición a luz por la noche (en inglés Light At Night o LAN) con este aumento del riesgo, si bien los estudios epidemiológicos en humanos son por el momento asociativos y no indican causalidad, pero las evidencias apuntan en este mismo sentido (estos tipos de cáncer son más abundantes en personal de vuelo con frecuentes transiciones horarias, en personal sanitario con trabajo a turnos, se ha descrito una correlación positiva entre el aumento de riesgo de cáncer de mama y próstata y el nivel de contaminación lumínica evaluado por imágenes por satélite, y las mujeres ciegas presentan menor incidencia de cáncer de mama).

Por todo ello, recientemente (2007) la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (International Agency for Research on Cancer) ha concluido que el trabajo a turnos que implique disrupción circadiana es, probablemente, carcinogénico en humanos (grupo 2A). Esta misma Agencia de Investigación Internacional, en una nota de prensa, reivindica la “necesidad de más estudios para evaluar los posibles riesgos potenciales de la luz nocturna en otros tipos de cáncer”.

En otras situaciones los efectos de la luz continua no son tan llamativos, pero no por ello dejan de ser perjudiciales. Así, la luz continua en las unidades de cuidado neonatal dificulta la maduración del sistema circadiano, afectando por tanto a la consolidación del patrón sueño-vigilia de 24 horas, y contribuye al denominado síndrome confusional agudo de las unidades de cuidados intensivos de adultos donde la constancia ambiental es la norma.

De todos modos, no podemos concluir que la iluminación siempre sea perjudicial, al contrario. La luz del día es beneficiosa para la sincronización del sistema circadiano, es más, la utilización de lámparas de lumoterapia permite

mejorar los ritmos de actividad-descanso en personas en las que este patrón se encuentra especialmente alterado como es el caso de las personas que sufren de la enfermedad de Alzheimer. Lo importante es la hora del día en la que se recibe la luz.

5. CONCLUSIONES

Para mantener una buena salud es necesario que el sistema circadiano funcione correctamente. La luz es el principal sincronizador del sistema circadiano y por tanto es importante que el día sea día y la noche sea noche, lo que implica exponerse a luz brillante (que no implica tomar el sol) durante el día y hacer un uso adecuado de la iluminación en el interior de edificios, teniendo en cuenta tanto la intensidad como su espectro.

En cuanto a la iluminación nocturna en exteriores, no sólo debe primar el criterio de la eficiencia energética, por lo que habría que recomendar aquellas lámparas en cuyo espectro se encuentre reducida la banda del azul, siendo las más apropiadas las lámparas de sodio a baja presión que las de tipo LED con una fuerte emisión en dicha banda o las lámparas LED anaranjadas. Por otro lado, se hace imprescindible desarrollar una normativa para evitar la intrusión del alumbrado público en el ámbito privado, regulando una distancia mínima de las luminarias a las ventanas o puertas de los edificios. Hay que recordar que un buen alumbrado público se caracterizará por iluminar estrictamente las zonas en las que la luz sea necesaria, sin ser ésta emitida hacia zonas que no la requieran.

Con las evidencias científicas existentes y aplicando el principio de precaución, tenemos la obligación de trabajar en el desarrollo de nuevas tecnologías de iluminación cronosaludables que salvaguarden nuestro reloj y no interfieran con los ritmos circadianos normales de los animales y plantas.

6. LECTURAS ADICIONALES

- Erren, T. C.; Reiter, R. J. Revisiting chronodisruption: when the physiological nexus between internal and external times splits in humans. *Naturwissenschaften*. 2013, Apr; 100(4):291-8. doi: 10.1007/s00114-013-1026-5. Epub.
- Garaulet, M. y Madrid, J.A. 2009. Chronobiology, genetics and metabolic syndrome. *Current Opinion in Lipidology*. 20(2):127-34.
- Pauley, S. M. Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue. *Med Hypotheses*. 2004; 63(4):588-96.
- Stevens, R. G.; Brainard, G. C.; Blask D. E.; Lockley, S. W. y Motta, M. E. Adverse health effects of nighttime lighting: comments on american medical association policy statement. *American Journal of Preventive Medicine*. 2013 Sep; 45(3):343-6. doi: 10.1016/j.amepre.2013.04.011.
- Varios autores. Documento Final del Grupo de Trabajo GT-LUZ *Contaminación Lumínica*. CONAMA 9. Congreso Nacional del Medio Ambiente. Cumbre del desarrollo sostenible. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/35531797/LUZ-final>.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aschoff, J. (Ed). 1981. *Handbook of Behavioral Neurobiology 4: Biological Rhythms*. Plenum Press, New York.
- Cardinali, D. P.; Golombek, D. A.; Bonanni Rey, R. A. 1992. *Relojes y calendarios biológicos*. Fondo de Cultura Económica, Buenos Aires.
- Dunlap, J. C.; Loros, J. J.; DeCoursey, P. 2004. *Chronobiology Biological Timekeeping*. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sutherland, Massachusetts.
- Golombek, D. (Ed). 2002. *Cronobiología Humana. Ritmos y relojes biológicos en la salud y en la enfermedad*. Ediciones de la Universidad Nacional de Quilmes. Buenos Aires.
- Madrid, J. A. y Rol, M. A. (Ed.). 2006. *Cronobiología Básica y Clínica*. Editec@ Rec. Madrid.
- Marques, N.; Menna-Barreto, L. (Ed). 2003. *Cronobiología: Principios e Aplicações*. Edusp, Sao Paulo.
- Moore-Ede, M. C.; Sulzman, F. M.; Fuller, C. A. 1982. *The Clocks that Time Us. Physiology of the Circadian Timing System*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Reilly, T.; Atkinson, G.; Waterhouse, J. 1996. *Biological Rhythms and Exercise*. Oxford University Press, Oxford.
- Refinetti, R. 2000. *Circadian Physiology*. CRC Press, Boca Raton.
- Reinberg, A.; Smolensky, M. H. (Ed). 1983. *Biological Rhythms and Medicine. Cellular, Metabolic, Physiopathologic and Pharmacologic Aspects*. Springer-Verlag, New York.

- Reinberg, A.; Labrecque, G.; Smolensky, M. H. (Ed). 1991. Flammarion, París.

- Smolensky, M. H.; Lamberg, L. 2000. *Body Clock, Guide to Better Health*. Henry Holt and Co. New York.

- Touitou, I.; Haus, E. (Ed). 1994. *Biologic Rhythms in Clinical and Laboratory Medicine*. Springer-Verlag. Berlin.

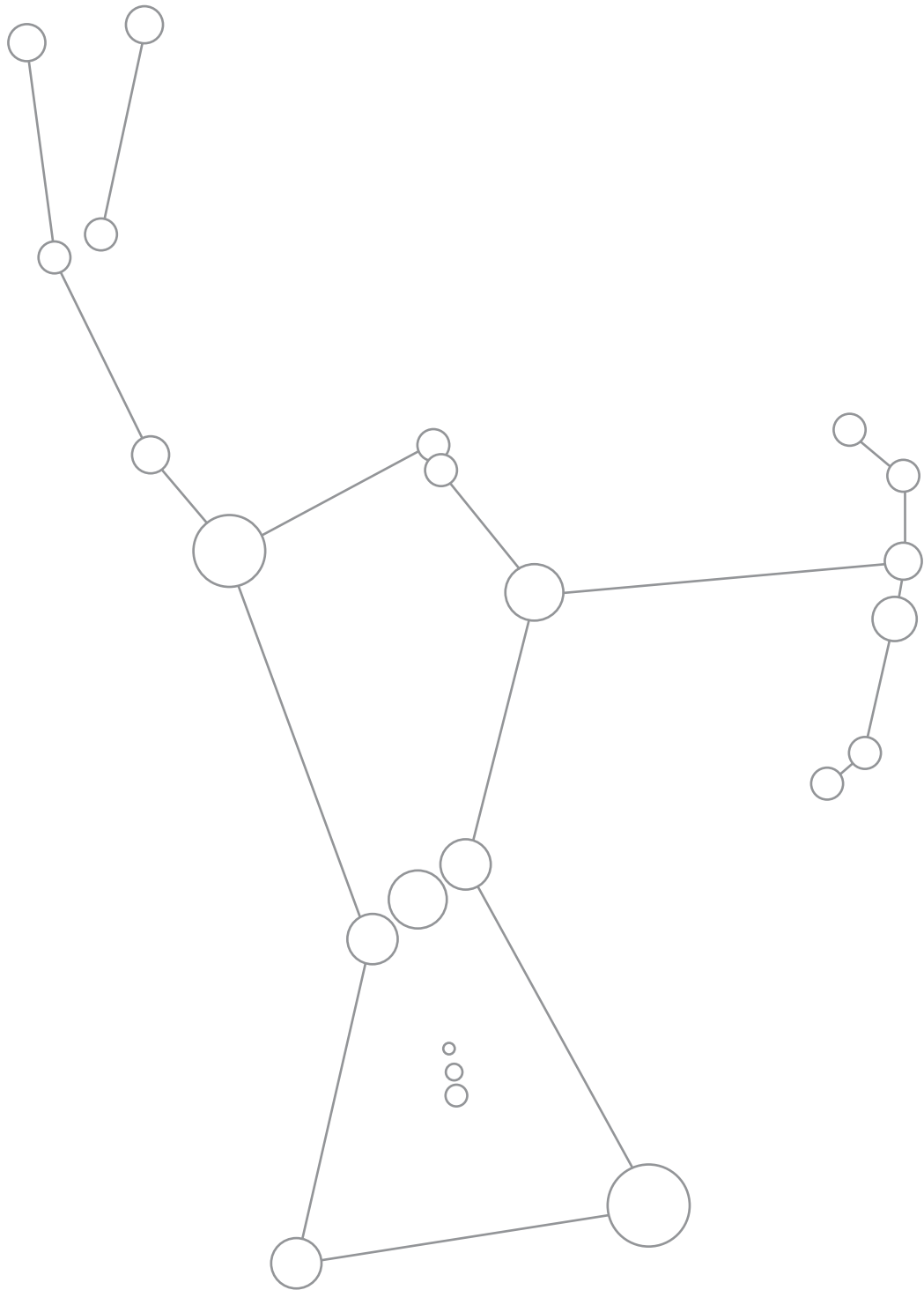
8. PÁGINAS WEB SELECCIONADAS

- <http://www.um.es/cronobio>. Página del Grupo de Cronobiología de la Universidad de Murcia.
- <http://www.cronobio.es>. Página divulgativa sobre Cronobiología.
- <http://www.circadian.com>. Portal de la empresa Circadian Technologies.
- <http://www.temponavida.com/gmdrb/gmdrb/Bem-vindos.html>. Portal de Cronobiología del Grupo de Cronobiología de la Universidad de Sao Paulo.
- [http://www.hhmi.org/biointeractive/browse?&field_bio_biointeractive_topics\[0\]=23464](http://www.hhmi.org/biointeractive/browse?&field_bio_biointeractive_topics[0]=23464). Página de Howard Hughes Medical Institute Holiday Lectures.
- <http://www.jcircadianrhythms.com/home>. Página de la revista on-line de Cronobiología, *Journal of Circadian Rhythms*.
- <http://informahealthcare.com/cbi>. Página de la revista on-line de Cronobiología, *Chronobiology International*.
- <http://www.sleepquest.com/>. Información de William Dement's Sleep Research Center.
- <http://www.sleepfoundation.org>. Web de la National Sleep Foundation.
- <http://www.srbr.org>. Página oficial de la Society for Research on Biological Rhythms.

9. SOBRE LOS AUTORES

El Laboratorio de Cronobiología de la Universidad de Murcia, creado en 1992, está integrado por profesores e investigadores de Fisiología, Cronobiología e Inteligencia Artificial, especializados en diferentes áreas complementarias relacionadas con la Cronobiología y el Sueño. También formamos parte de la Red Española de Estudios sobre Contaminación Lumínica.

Los autores agradecen al RD12/0043/0011, SAF2013-49132-C2-1-R e IPT-2011-0833-900000, incluyendo cofinanciación con Fondos FEDER.



EL LADO
OSCURO
DE LA LUZ
CONTA-
MINACIÓN
LUMINICA

LA ILUMINACIÓN Y LA FALACIA DE LA SEGURIDAD

Alejandro Sánchez de Miguel

Utilizamos y justificamos todo el uso y gasto de iluminación principalmente por seguridad. Sin embargo, no se realizan evaluaciones sobre cuánta seguridad nos proporciona esa luz y descuidamos otros factores que pueden ser más importantes que la iluminación. En este artículo intentaré hacer un ejercicio de escepticismo sobre el uso que hacemos de la iluminación y su aplicación a la seguridad. Ha de quedar claro ante todo que mi área de investigación no es la seguridad, sino la medida de la luz. Pero, como ciudadano informado en el tema, me acechan serias dudas sobre los criterios que se utilizan, los conflictos de intereses existentes y la seriedad con la que se trata este aspecto.

1. MÁS LUZ ¿MÁS SEGURIDAD? PARTE I: SEGURIDAD CIUDADANA

Durante la mayor parte de la historia de la humanidad, la única fuente de luz no natural fue el fuego y sus derivados (lámparas de aceite, de gas, velas, etc.). Sin embargo, a partir de principios del siglo XIX, las primeras fuentes de iluminación basadas en el paso de corriente eléctrica comenzaron a funcionar. No obstante, la luz no empezó a generalizarse en nuestras calles hasta la instalación masiva de lámparas de gas y, más tarde, con las bombillas incandescentes de Edison.

Desde entonces, cada vez hemos tenido más y más luz. Es algo consustancial al ser humano; somos animales diurnos y salvo en raras excepciones (citas románticas y a la hora de dormir) estamos más cómodos con un nivel de iluminación relativamente alto. La noche y la oscuridad

nos asustan de manera instintiva. La luz nos da seguridad. Sin embargo... ¿es esa seguridad real?

Los estudios rigurosos demuestran que es un tema complicado, y que en general se podría decir que la luz, por sí misma, no proporciona más seguridad cuando superamos un cierto nivel mínimo.

Cuando hablamos de seguridad e iluminación aparecen dos temas polémicos por antonomasia. La seguridad ciudadana y la seguridad vial.

El tema de la seguridad ciudadana parece haber sido tratado de manera más sistemática. Ken Pease realizó una revisión de varios estudios sobre el efecto de la iluminación y el crimen en Estados Unidos y en el Reino Unido. La conclusión fue que en el Reino Unido, claramente, la experiencia era positiva, aunque en algunos casos la luz sólo hacía que el crimen abandonara la zona donde se había aumentado la iluminación y ocupara las zonas aledañas. Los estudios en Estados Unidos no eran tan concluyentes, en algún caso concreto ¡incluso la violencia aumentaba con la iluminación! Como citaba Pease en su estudio, durante los años 80 y hasta mediados de los 90 se asumía sin ninguna evidencia que la luz “mágicamente” eliminaba el crimen. Sin embargo, no se hicieron esfuerzos por comprobar los mecanismos por los que funcionaba (cuando lo hacía).

Lo más curioso era que cuando disminuía el crimen al aumentar la iluminación en una zona, no sólo disminuía de noche, sino también de día. Eso daba pistas de como podía afectar la iluminación nocturna al crimen.

Se lanzaron algunas hipótesis que voy a intentar resumir.

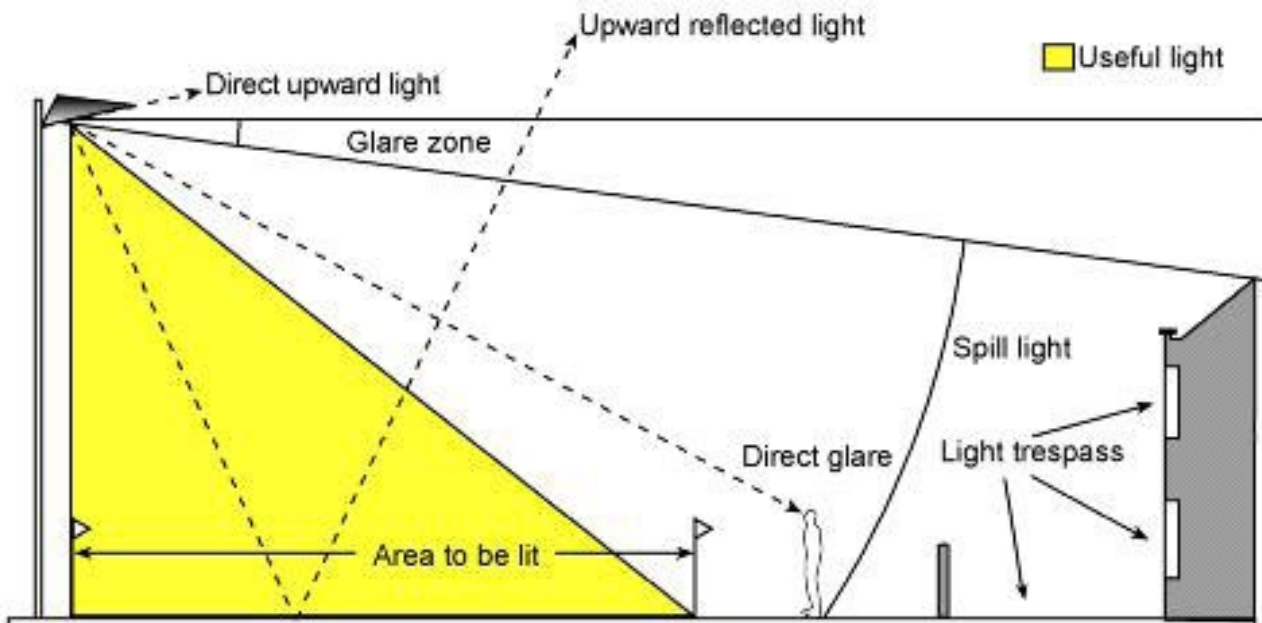
¿Cómo la iluminación nocturna reduce el crimen de día?

- Durante las obras hay más presencia de trabajadores y policía solucionando los problemas derivados de las obras.
- La nueva iluminación ofrece a los ciudadanos una muestra de que las autoridades apuestan por la zona y, por tanto, van más por la zona.
- La presencia de iluminación podría disuadir a los criminales por clasificar la zona como menos apropiada para el crimen. (Nota: en esto yo soy escéptico).
- La nueva iluminación hace que vaya más gente a la zona durante la noche, haya más negocios y, por tanto, también haya más gente de día.
- La nueva iluminación hace que disminuya el interés por moverse a otras zonas y, por tanto, aumente la cohesión del barrio y estén más atentos a visitantes inoportunos.
- Los criminales cometen crímenes durante el día y la noche; si son arrestados durante la noche ya no podrán cometer crímenes durante el día.

¿Cómo reduce la iluminación nocturna el crimen durante la noche?

- La nueva iluminación incrementa el tiempo disponible para el mantenimiento del jardín y la fachada de la casa, por tanto, hay más gente en la calle.
- La iluminación nocturna aumenta la cantidad de peatones en la calle y, por tanto, la vigilancia vecinal.
- La gente puede detectar el crimen de manera más sencilla.
- La presencia de la policía es más visible y, por tanto, hace desistir de cometer crímenes.

El resumen de todo esto es básicamente: la luz no proporciona seguridad por sí misma. Es la presencia de los vecinos en la calle lo que da más seguridad.



La contaminación lumínica es a menudo causada por la forma en que proyectan la luz las luminarias. La elección del dispositivo adecuado y el cuidadoso montaje y orientación de la luz pueden suponer un cambio significativo.

Pero también puede hacer que la iluminación incremente el crimen en algunos lugares.

¿Por qué la iluminación puede incrementar el crimen durante el día?

-Los ladrones pueden camuflarse como electricistas para entrar en las casas.

-Hace que las casas queden vacías durante el día, ya que pueden ir a realizar actividades que normalmente son diurnas en horario nocturno.

-Las actividades "desordenadas" que se realizan en un lugar durante la noche puede crear que ese lugar se convierta en centro de reunión.

¿Cómo la iluminación incrementa el crimen durante la noche?

-Incrementa la actividad social durante la noche y, por tanto, la presencia de casas vacías donde es más fácil robar.

-Incrementa la visibilidad de la víctima potencial y el juicio de su vulnerabilidad.

-Incrementa la visibilidad sobre quiénes podrían ser testigos del crimen.

-El incremento de la iluminación disminuye la visibilidad de las áreas contiguas por contraste.

-El incremento de iluminación facilita las actividades como la venta de droga u otras formas problemáticas de la vida callejera.

O en otras palabras... si no hay gente en la calle, la iluminación juega en contra de la seguridad. (Traducción libre de *A review of street lighting evaluations: crime reduction effects*, por Ken Pease, 1999).

Un análisis más riguroso posterior, indicaba que probablemente la iluminación es más efectiva en comunidades homogéneas y estables.

En este sentido, es una pena que estos estudios sólo se hayan realizado en países anglosajones. El único ejemplo que conozco de un país no anglosajón en materia de seguridad e iluminación es el de Berlín. Allí disponen de la mayor población de farolas de gas del planeta. Posiblemente, éstas sean las farolas menos luminosas del mundo occidental. Un fósil viviente del mundo de

la iluminación. Sin embargo, según las autoridades berlinesas, en las calles iluminadas con gas en el barrio de Steglitz-Zehlendorf no se producen más crímenes que en las iluminadas con otro tipo de iluminación. Y es que, el barrio de Steglitz, es un barrio universitario de gente rica o acomodada. Donde volvemos a lo de las comunidades homogéneas y estables.

Sin embargo, tal y como afirma Paul Marchant, muchos de los estudios tienen numerosos errores estadísticos, por lo que algunas de las conclusiones de los estudios que afirman que la luz es la causante del incremento de la seguridad podrían ser erróneos o, incluso, indicar todo lo contrario. Desde luego, otros estudios, centrados en el crimen específicamente, no remarcan que la presencia de luz sea significativa para cometer delitos. Mucho más importante es la presencia de cámaras de vídeo vigilancia o la robustez de puertas y ventanas.

Es un tema que da para mucho. Como el caso de los campus oscuros para prevenir el vandalismo o los numerosos estudios que citan el IDA y la CfDS, incidiendo en la falta de pruebas sobre la antaño verdad absoluta de que la iluminación reducía el crimen.

En mi ciudad, Madrid, hay un buen ejemplo de qué es lo que puede pasar en uno de estos lugares donde se ha aumentado la iluminación. Muchas veces, ese cambio de iluminación viene acompañado de una rehabilitación general del entorno. Es el caso del barrio de Lavapiés, una zona que de un tiempo a esta parte ha mejorado mucho. Pero no es sólo, o la principal causa, el cambio de la iluminación, sino la ampliación de las aceras, permitiendo que aparecieran terrazas veraniegas que han dinamizado comercialmente la zona.

Mi conclusión es que lo que realmente mejora la seguridad son las personas, no las luces. Evidentemente, en una zona muy transitada debe haber un nivel de luz algo mayor, pero llegado a cierto límite no hay ningún aumento de seguridad.

2. MÁS LUZ ¿MÁS SEGURIDAD? PARTE II: SEGURIDAD VIAL

Una cosa evidente es que para ver por la noche los humanos necesitamos luz. Sin embargo, no está tan claro cuál es el mejor método para promover la seguridad en la carretera. Durante años se ha asumido que iluminar las carreteras las hacía más seguras. Pero ese hecho estaba basado en “estudios” hechos en Bélgica con unas conclusiones muy cuestionadas en la actualidad.

Hace relativamente poco, se empezaron a revisar los “estudios” que se realizaron hasta el año 2000 y se pudo comprobar cómo carecían del menor rigor estadístico.

Lo que sí está claro es que a mejor visión, mejor la seguridad. Salvo que suponga un aumento de la velocidad, que sí está comprobado que es un factor de riesgo en los conductores.

Hace relativamente poco (2005) se produjo un interesante experimento involuntario. Simplemente, robaron el cobre de la autopista A15 francesa y se pudo comprobar que ese hecho hizo reducir los accidentes en esa autopista.



Pero... ¿es seguro apagar todas las autopistas? No. En muchas ocasiones, sobre todo cerca de las ciudades, las autopistas circulan junto a centros comerciales, polígonos industriales o instalaciones deportivas que ponen focos muy potentes que producen deslumbramiento. Eso hace que el conductor se vea deslumbrado, por lo que se debe adecuar la iluminación a la iluminación del entorno.

El principal factor de seguridad vial, sobre todo en ciudad, es la visibilidad. Por desgracia, muchas veces las propias farolas inciden negativamente en este factor:



Iluminación de seguridad, por George Fleenor, bajo licencia Creative Commons. Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Como podemos ver en la imagen adyacente, el deslumbramiento hace en muchas ocasiones que disminuya la visibilidad.

Pero la farolas más comunes en España, y por supuesto la mayoría de los focos, no mejoran la visibilidad al crear deslumbramiento.

Cada lugar debe ser estudiado adecuadamente y sólo se deben instalar luces de manera adecuada.

Otro tema es la manipulación escandalosa que se realizan de algunos datos. Por ejemplo, en la noticia publicada por El País, el 11 de febrero de 2014, se afirma que en la Comunidad de Madrid, en 2013, se habían incrementado los accidentes mortales respecto a 2012. Se había pasado de 61 en 2012 a 64 en 2013. Pero, cuando vamos a la página 21 del anuario de accidentes de la DGT, ¡sorpresa!

En 2013 disminuyó el número de accidentes en 1, ya que el número de accidentes mortales en 2012 fueron 65 en vez de los 61 que comenta el periódico. El periodista ha sido contactado por si fue víctima de informaciones interesadas. Pero... no he recibido respuesta. La explicación de esta diferencia fue matizada por el servicio de Estadística de la DGT a petición del que escribe. En la noticia se usaban los datos de muertos en 24 h y en el anuario de la DGT los muertos en 30 días. Este es un ejemplo de la baja significación del dato. Estamos a la espera de que la DGT publique los datos de los muertos en 2013 a 30 días.

Pero lo curioso es que las autopistas madrileñas no están apagadas desde 2013, sino mucho antes. Ya en 2011 podíamos leer en La Razón (5/12/2012) cómo las autopistas M40, M50 y otras estaban apagadas. Pero en 2010, con las farolas de esas autopistas encendidas, hubo en Madrid 90 accidentes, en 2011 hubo 84, y en 2012 finalmente 65 (accidentes mortales en carreteras interurbanas, pág. 21).



Imagen de la Comunidad de Madrid desde la Estación Espacial Internacional.
Fuente: NASA/ESA (2010).

¿Tendrá que ver que la Asociación Española de Fabricantes de Iluminación (Anfalum) tenga interés en vender más farolas para que se sea tan poco riguroso en los datos? Me cuesta creer que dicha asociación esté siendo rigurosa dado que su propuesta es iluminar toda la red del estado, según dicha noticia.

Pero claro, cuando se comprueba con los datos que sus afirmaciones son falsas y que no se producen más accidentes al quitar la iluminación... pues se les cae el chiringuito. ¿Solución? Me invento los datos o utilizo referencias no contrastadas y anticuadas.



Imagen de la Comunidad de Madrid desde la Estación Espacial Internacional.
Fuente: NASA/ESA (2010).

¿Pero estamos locos? Pues debe, ya que en Holanda han empezado a apagar sus autopistas. En esta noticia dicen que los heridos graves subirán un 2,5%, muy lejos del 20% que proclama Alfalun. En Inglaterra también apagan autopistas. De hecho, en Bélgica (país donde se iluminaba el 100% de las autopistas) están pensando en retirar las farolas, ya que la colisión con ellas supone el 18% de las muertes por colisión con obstáculos. Según el Instituto para la Seguridad Vial de Bélgica, las farolas han resultado ser unos obstáculos extremadamente rígidos y peligrosos. Es el doble de probable morir al golpear una farola que una valla. Un país donde no pueden apagar las autopistas es Alemania, ya que nunca han estado iluminadas, a pesar de no tener límite de velocidad y ser famosas por su seguridad.

Con todo esto no quiero decir que no haya que iluminar algunos tramos. Ni que la luz no mejore la seguridad vial. Pero lo que está claro es que es un tema delicado que debe ser tratado con rigor y no "chantajeado" por cifras falsas.

Uno de los argumentos que se utilizan para defender la iluminación en las carreteras es que hay un 20% más de muertos frente a heridos graves en las carreteras no

iluminadas frente a las iluminadas. Sin embargo, este argumento puede ser falaz, ya que no tiene en cuenta que la mayoría de las carreteras secundarias del país no tienen iluminación. Y por todos es sabido que las carreteras secundarias es donde más accidentes se producen, independientemente de la iluminación. Además, cuando se estudian con detalle los datos se ve que no siempre es así, y dada la gran cantidad de factores que influyen en la seguridad vial, es aventurado asegurar que ese 20% extra de peligrosidad es debido a la iluminación y no a otros factores (el ratio de heridos graves/muertes es de $3,9 \pm 2$ en carreteras iluminadas y el de carreteras sin iluminar 3.1 ± 1 para el año 2012). Si hacemos un test para ver si es significativa la diferencia de muestras para ese año, vemos que las diferencias de medias es de 0.836 ± 0.876 al 95%. De hecho, podríamos decir que no podemos rechazar que sean diferentes ambas medias al 95%, aunque sí al 90%. En pocas palabras: con los datos de 2012 no se puede afirmar, ni siquiera, que existan diferencias significativas entre las carreteras con iluminación y sin iluminación, y si las hay, la dependencia es mucho menor de lo que nos intentan vender.

El estudio estadístico de este tipo de datos debe hacerse con sumo cuidado, ya que se puede estar incurriendo en sesgos nada fáciles de controlar.

Por otro lado, las afirmaciones de Alfalum se basan en estudios hechos en EE.UU. en los años 70 (*Illuminating Engineering Society of North America, 1977*) y en el estudio *Las Carreteras y la Noche. Ver y ser visto*, del Instituto Mafre de Seguridad Vial (julio 2004). El análisis crítico de dicho informe supondría numerosas páginas. Pero la crítica principal es la falta de rigor estadístico del mismo y la utilización de técnicas cualitativas como la inspección visual de carreteras. No es comprensible que la inversión en carreteras y autopistas se realice por su estado, ni que la inversión en el único estudio sobre seguridad vial nocturna en España se realice por una entidad privada y sin los datos y garantías que puede tener cualquier publicación, por ejemplo, de investigación en galaxias (por poner un ejemplo que conozco de cerca).

Además, estos resultados no coinciden con los publicados por otras agencias europeas de seguridad vial.

Mi conclusión es que no se puede asegurar que la iluminación por sí sola proporcione mayor seguridad

vial en vías interurbanas. Mucha gente piensa que coches nuevos y más seguros y la reducción de velocidad son lo más eficaz para reducir los accidentes. Además, el deslumbramiento es posiblemente el factor más importante y afecta más con la edad. Y como dice en esa noticia la profesora M^a. José Carrasco, el deslumbramiento no viene sólo de los focos de los coches, sino también de las farolas. Un ejemplo de esto lo tenemos en la carretera A5 (<http://www.youtube.com/watch?v=hvkV7L0xuTI>), donde unos campos de deporte ciegan a los conductores de la autopista.

O sea, que sin luz no podemos conducir, pero nuestros coches ya llevan luz. Farolas en la carretera hacen que vayamos más deprisa y, por tanto, menos seguros, además de deslumbrarnos y el riesgo que existe de chocar contra ellas. Lo que más nos deslumbra son los focos de otros coches, por lo que desde mi punto de vista, lo ideal en las autopistas sería poner unas buenas medianas anti deslumbramiento y no llenar las autopistas españolas de farolas.

Mi área de investigación no es la seguridad vial, pero de los pocos datos que he podido recopilar está clara la falta de rigurosidad de muchos estudios sobre seguridad vial y la evidente e inaceptable posición de conflicto de intereses que presentan algunos agentes de presión en el área de la seguridad.

Además, en la noticia del 12 de junio de 2014, Alfalum afirma que el coste del alumbrado de carretera es pequeño. Sin embargo, supone más del 50% del gasto energético de los ayuntamientos según el libro de la Energía en España 2004, y el coste estimado actual para España es de aproximadamente 830 millones de euros anuales. El consumo por habitante en España, de 116 kWh anuales, supera ampliamente los 48 kWh de Alemania, donde, repito, no se ilumina ninguna autopista. Sin contar que las farolas típicamente se amortizan en 10-20 años, por lo que la verdadera inversión es más el cambio de la farola (que es el negocio de Alfalum) que el ahorro energético.

Las inversiones del Estado deben ser regidas por criterios científicos rigurosos e independientes; no debemos consentir la manipulación producida por informaciones sesgadas, más aún cuando producen un grave daño al medio ambiente.

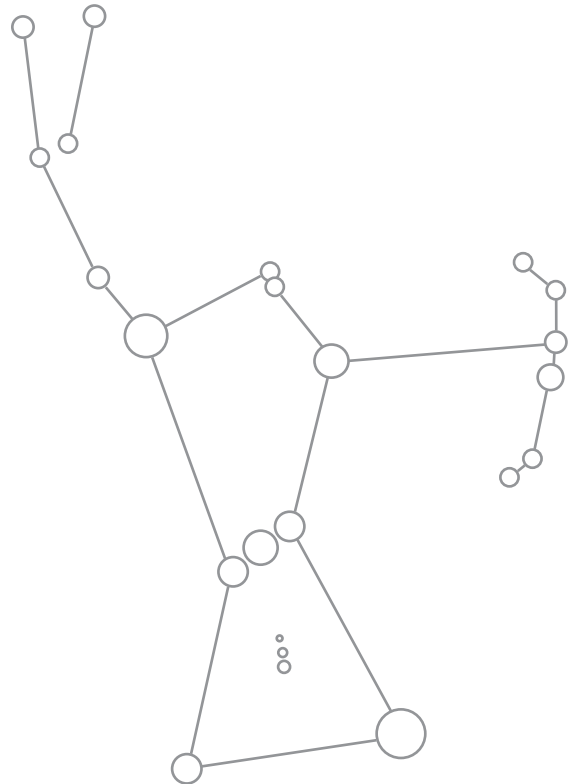
3. PÁGINAS WEB SELECCIONADAS

- http://internacional.elpais.com/internacional/2012/09/27/actualidad/1348738168_383938.html.
- <http://www.telegraph.co.uk/motoring/news/8404916/Motorway-lights-to-be-turned-off-to-cut-carbon.html>.
- http://es.wikipedia.org/wiki/Significaci%C3%B3n_estad%C3%ADstica
- <http://www.elcorreo.com/salud/vida-sana/20131112/deslumbramiento-accidentes-coche-trastorno-201311120759-rc.html>.
- <http://smart-lighting.es/alumbrado-publico/el-ministerio-de-fomento-recuerda-que-la-iluminacion-de-las-carreteras-estatales-no-depnde-de-el-a-excepcion-de-los-tuneles/>.
- <http://eprints.ucm.es/25949/1/documento36329.pdf>.

4. SOBRE EL AUTOR

Aficionado a la astronomía desde los 5 años, Alejandro siempre ha estado interesado en la investigación y la divulgación. Además de labores de investigación profesional y amateur, ha coordinado y organizado numerosos eventos y actividades de divulgación (AstroMad 2001, 2003, 2005 y 2007, XIX CEA, VII SEA, etc.). Ha sido presidente, tesorero, vocal y socio de honor de la Asociación de Astrónomos Aficionados de la Universidad Complutense de Madrid, vocal de actividades de la Agrupación Astronómica de Madrid y representante de Astrohenares y la AAM en el Año Internacional de la Astronomía. Es graduado en Física por la Universidad Complutense de Madrid y Máster en Astrofísica por las universidades Autónoma y Complutense de Madrid. Ha trabajado desde 2008 a 2013 en la caracterización de la formación estelar en galaxias con alta formación estelar activa y desde la misma fecha colabora dentro de la red SPMN. Co-coordinador del proyecto *Nixnox* de la Sociedad Española de Astronomía.

Actualmente trabaja en su tesis doctoral *Estudio de las fuentes de contaminación lumínica mediante el uso de técnicas de imagen*. En septiembre de 2014 recibió el premio Dark Sky Defender, de la International Dark-Sky Association, como coordinador e impulsor del proyecto de ciencia ciudadana *Cities at Night*. Es miembro fundador de GPC y socio del IDA, Celfosc, SEA y de la red Europea de investigación en Contaminación lumínica LoNNe.



EL LADO
OSCURO
DE LA LUZ
CONTA-
MINACIÓN
LUMINICA

CONTAMINACIÓN LUMÍNICA: UN PROBLEMA MEDIOAMBIENTAL QUE PUEDE Y DEBE SOLUCIONARSE

Fabio Falchi

ISTIL - Light Pollution Science and Technology Institute - www.lightpollution.it.

CieloBuio - Coordinamento per la protezione del cielo notturno - www.cielobuio.org.

En este artículo presento los resultados y perspectivas de los esfuerzos por disminuir la contaminación lumínica en Italia. Los principales resultados son: de las 20 regiones italianas, 18 han aprobado leyes contra la contaminación lumínica; doce de ellas prescriben usar exclusivamente luminarias totalmente apantalladas en nuevas instalaciones tanto públicas como privadas; todas las leyes aprobadas con posterioridad a 2002 prescriben luminarias totalmente apantalladas. Otras prescripciones, además del apantallamiento total, son máximos permitidos de luminancia o iluminancia, el apagado o atenuación a ciertas horas o el uso de lámparas con espectros de emisión de bajo impacto. Para alguna iluminación concreta (por ejemplo monumentos y edificios históricos) existe reglamentación especial. Desgraciadamente, algunas de las leyes regionales más antiguas no son eficaces debido a la debilidad de sus prescripciones técnicas.

Pese a que casi se ha doblado el flujo instalado debido a nuevas infraestructuras y a lámparas de mayor eficiencia, el impacto en el cielo es nulo; por ejemplo, en 2013 medí un brillo del cielo igual al del año 1998.

Deben implementarse medidas adicionales para disminuir la contaminación lumínica, como son limitar el nuevo flujo instalado, seguido de una disminución del flujo instalado

total, además de limitar el contenido de luz azul en la luz producida.

En los últimos años están aumentando rápidamente los estudios científicos que evidencian las consecuencias negativas de la contaminación lumínica en el medio ambiente y la salud humana. La contaminación lumínica ya no es, como se solía pensar, tan sólo un problema para los astrónomos. Es un peligro para nuestro medio ambiente y para nuestra salud.

1. LEYES REGIONALES ITALIANAS CONTRA LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

En Italia, la mayor parte del territorio y la población está, más o menos, protegido contra la contaminación lumínica. Las leyes regionales italianas contra la contaminación lumínica se muestran en la figura 1 junto con su año de adopción. Las leyes que sólo permiten un flujo cero directamente hacia arriba se muestran en azul. Las que permiten flujo cero con algunas pequeñas excepciones se muestran en azul claro. La Toscana, en

amarillo, permite un flujo hacia arriba del 3%. Leyes con límites aún mayores o que carecen de prescripciones técnicas se muestran en rojo. Las regiones sin una ley al respecto están en blanco. Véneto, la primera región que adoptó una ley, en 1997, permitiendo un 3 por ciento de flujo, actualizó la ley en 2009, permitiendo cero por ciento de flujo hacia arriba. La actualización se hizo ante la evidencia de que el límite del 3% de flujo superior era ineficaz para detener la contaminación lumínica. Aunque se limitaron las peores luminarias, como las tipo globo, se permite el uso de otras instalaciones muy contaminantes y poco eficientes como son las que utilizan luz indirecta. Además, es notorio que la luz emitida en pequeños ángulos sobre el plano horizontal, como ocurre con la luz de las instalaciones parcialmente apantalladas, es desproporcionadamente efectiva en contaminar el medio ambiente nocturno, especialmente a gran distancia de las fuentes luminosas. Luginbuhl, Walker y Wainscoat (2009) demostraron que a 100 km una luminaria con un flujo superior del 3% produce casi tres veces más brillo en el cielo que una igual completamente apantallada.

Desde hace 15 años se cuenta con una serie de medidas del brillo del cielo tomadas casi en el centro del grupo de regiones en azul del noreste de Italia. La letra S indica la posición del observatorio de San Benedetto Po, donde se tomaron las medidas de la serie temporal discutida más abajo.

La norma principal para carreteras, grandes áreas y construcciones normales adoptadas por las regiones representadas en azul en el mapa de la figura 1 son:

- La intensidad luminosa instalada de la luminaria, no debe exceder 0,49 cd/km en y sobre el plano horizontal.
- La luminancia de la carretera o la iluminancia de la superficie iluminada no puede superar el valor mínimo recomendado por las normas de seguridad, siendo obligatoria la reducción del flujo con bajos volúmenes de tráfico.
- En algunas de estas regiones se han aprobado algunas normas adicionales:
- Lámparas con elevado rendimiento de color se permiten sólo para propósitos específicos (edificios históricos e iluminación monumental,

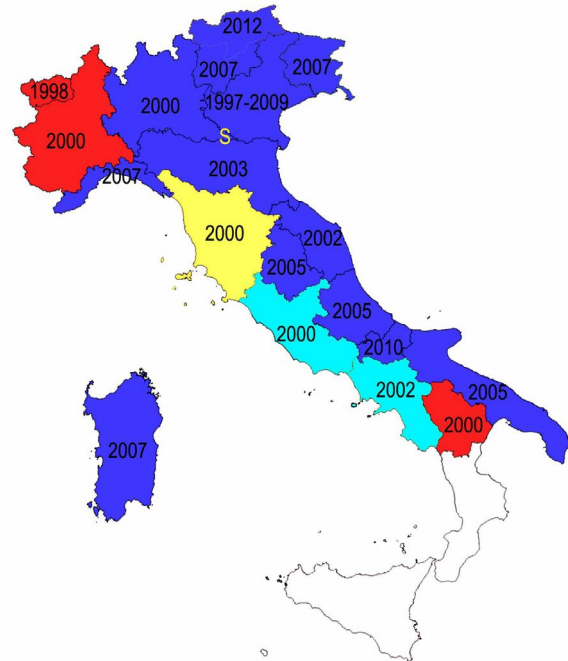


Figura 1. Leyes regionales italianas con su año de aprobación. La letra S indica la posición del Osservatorio Astronomico di San Benedetto Po, donde se ha analizado la serie temporal de brillo del cielo. Actualizado de Falchi 2011.

áreas peatonales, centros históricos), y no para la iluminación normal de carreteras.

- La relación entre la distancia entre postes y la altura de los postes debe ser mayor que 3,7 (para minimizar la proliferación de postes).

Nótese que estas normas se aplican en todo el territorio regional, no sólo en áreas específicas alrededor de observatorios astronómicos y parques naturales. Estas normas son efectivas para todas las instalaciones nuevas (tanto públicas como privadas), mientras que para las instalaciones antiguas el plan de actualización a nuevas luminarias menos contaminantes varía según las diferentes regiones. En algunos casos no existe ningún plan de actualización, de modo que el cambio de produce cuando se decide reemplazar el dispositivo de alumbrado por la razón que sea.

Para iluminaciones concretas existen algunas excepciones, a destacar:

Edificios históricos y monumentos pueden ser iluminados de abajo hacia arriba, con restricciones en cuanto a luminancia /iluminancia y con limitación de horario.

En instalaciones muy pequeñas (por ejemplo, la iluminación de un jardín particular) que usen lámparas de menos de 1500 lúmenes se permite un flujo hacia arriba superior a cero, si no se supera en total los 2250 lúmenes hacia arriba.

Los carteles luminosos no pueden exceder 4500 lúmenes de flujo total y deben ajustarse a un horario.

No todas estas normas se aplican por igual, incluso en los casos en los que las prescribe la ley, pero la más importante de todas (norma a) tiene mucho éxito y se aplica incluso en regiones donde no está impuesta.

2. CRECIMIENTO DEL FLUJO INSTALADO Y CONSECUENCIAS EN EL BRILLO DEL CIELO

En Italia, a pesar de los problemas económicos, la energía empleada en alumbrado público ha crecido de forma constante en los últimos 35 años, de 2200 GWh en 1977 a casi 6400 GWh en los últimos años (Terna 2013). Sólo últimamente parece haber una parada en ese crecimiento (ver figura 2), probablemente a consecuencia de la crisis económica. Combinando los datos de consumo energético con el aumento de la eficiencia media de las lámparas instaladas en tres de las regiones más industrializadas del norte de Italia (Lombardía, Véneto y Emilia-Romaña), se ha calculado el flujo total emitido en estas regiones durante los últimos 15 años, como se muestra en la figura 3.

Se espera un aumento comparable en otras fuentes de contaminación lumínica, especialmente las instalaciones privadas (industrias, centros comerciales, etc.). De 1998 a 2012 hubo un aumento de aproximadamente el 80% del flujo instalado. Si los demás factores hubieran permanecido igual, se habría experimentado un sustancial aumento del brillo del cielo (del 80%) en el observatorio

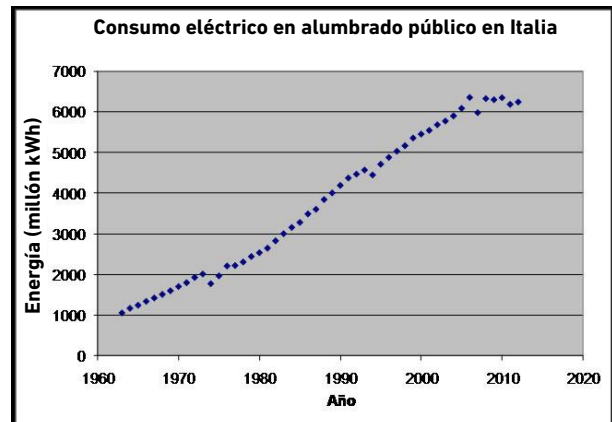


Figura 2. Consumo de energía en millones de kWh en Italia para alumbrado público.

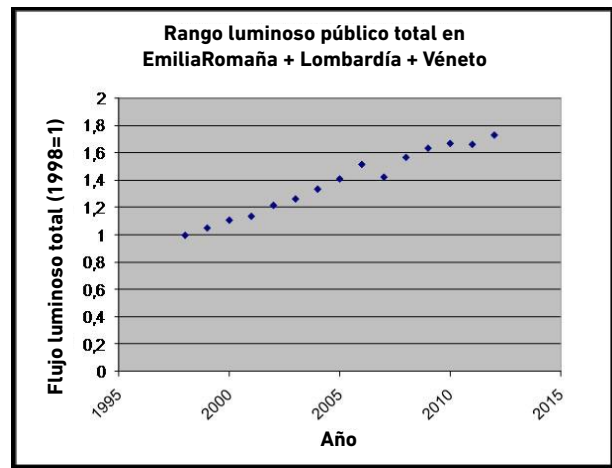


Figura 3. Suma del consumo energético para alumbrado público de tres regiones en los últimos 15 años. Actualizado de Falchi 2011.

de San Benedetto Po, que está rodeado por las regiones de Lombardía, Véneto y Emilia-Romaña.

3. MEDIDAS DEL BRILLO DEL CIELO 1998-2013

He medido el brillo del cielo en el Observatorio San Benedetto Po (indicado por la letra S en la figura 1) desde 1998. He usado una cámara CCD con calidad científica equipada con filtros astronómicos Johnson-Cousin (B y V), y más recientemente un Sky Quality Meter (SQM) calibrado

con las medidas del CCD en la banda V (por ejemplo, descubrí una pequeña desviación entre las medidas del CCD en banda V y el SQM y las corregí).

Encontré que, pese al aumento del 80% del flujo instalado en las regiones circundantes, esto no se acompañaba de un aumento en el brillo del cielo. Las medidas del brillo del cielo en 2013 eran iguales, considerando los errores de medida y las variaciones de unas noches a otras, que en 1998. La figura 4 muestra la serie temporal. Un

Brillo total del cielo en el Observatorio de San Benedetto Po

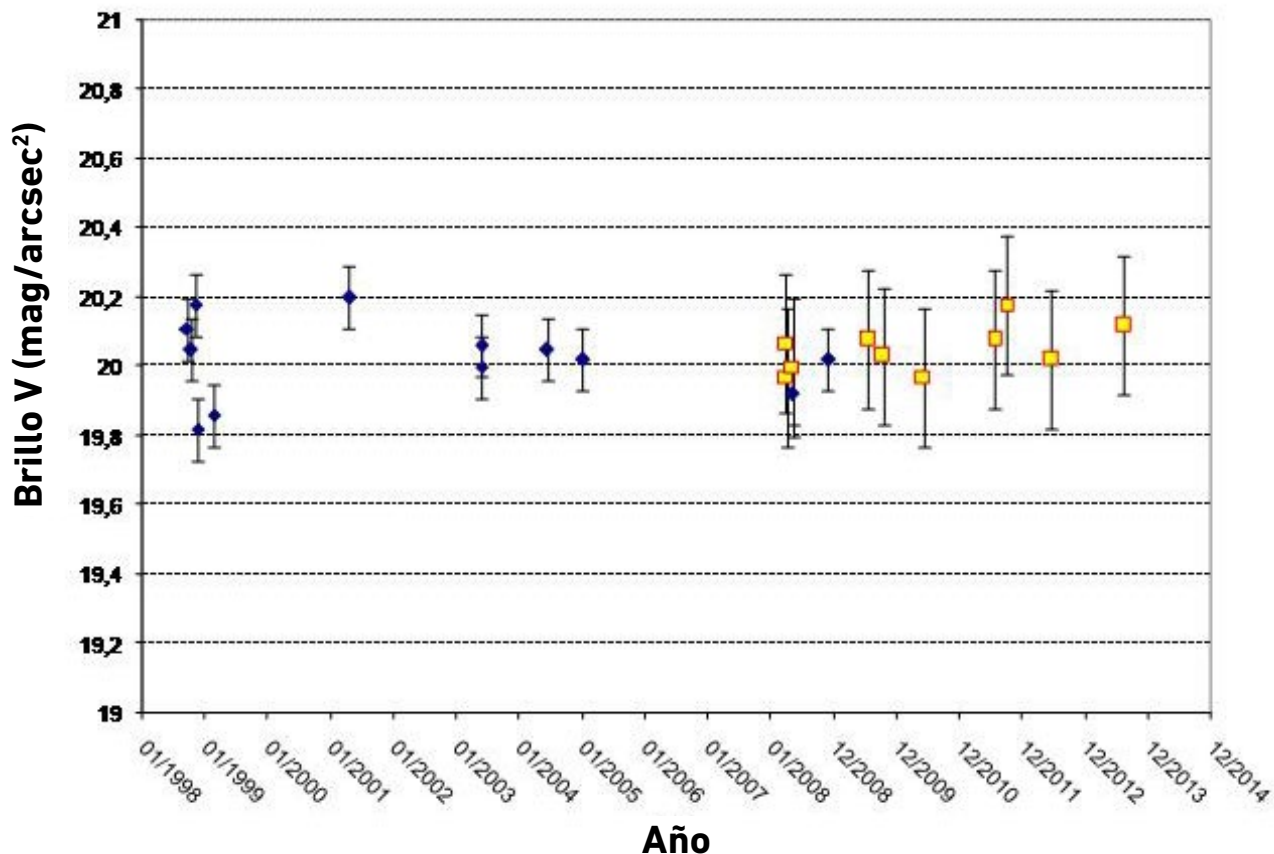


Figura 4. Brillo total del cént en banda V en el Observatorio de San Benedetto Po de 1998 a 2013. Los datos representados por los diamantes azules son medidas tomadas con una CCD con filtro Johnson V, mientras que los cuadrados amarillos son medidas tomadas con SQM calibrados. Actualizado de Falchi 2011.

resultado similar, con una serie temporal más corta, se obtuvo en un lugar situado a unos 25 km al oeste de San Benedetto Po.

¿Por qué el aumento del flujo luminoso no se ve reflejado en un aumento del brillo del cielo? Mi respuesta es que se debe a la aplicación de leyes contra la contaminación lumínica. Estas leyes sólo permiten la instalación de luminarias totalmente apantalladas y, por tanto, se elimina en todas las nuevas instalaciones la luz más perjudicial, que es la emitida a pequeños ángulos sobre la horizontal. Además, a lo largo de los años, un número de instalaciones más antiguas fueron gradualmente actualizadas con luminarias totalmente apantalladas, disminuyendo la contaminación lumínica que generan.

4. FLUJO DIRECTO E INDIRECTO COMPARANDO CONDICIONES CON Y SIN NIEVE

Las medidas del brillo del cielo en el cénit obtenidos con nieve, comparadas con medidas similares tomadas en los mismos lugares sin nieve, permite distinguir la fracción de la luminancia del cielo que es causada directamente por la luz emitida por los dispositivos de alumbrado y la fracción que resulta de luz reflejada por el terreno y alrededores. De hecho, el flujo directamente emitido por los dispositivos no cambia, mientras que el flujo reflejado aumenta debido a la cubierta de nieve. Comparando el brillo en cinco lugares de Italia y uno de Eslovenia encontré que la principal fuente artificial de brillo del cielo es la luz directamente emitida hacia arriba, mientras que la luz reflejada tiene un rol secundario, como se observa en la figura 5. El gráfico muestra que en todos los lugares estudiados el brillo del cielo nocturno de origen artificial producido por la luz escapando directamente hacia arriba es el principal componente del brillo del cielo nocturno de origen artificial: en Tradate y Zaplana suma aproximadamente un 60%, mientras que en San Benedetto Po y Cembrano está por encima del 90%. Esto significa que si, por arte de magia, pudiéramos eliminar todo el flujo directo hacia arriba (manteniéndolo donde es útil, hacia abajo) ¡podríamos eliminar del 60% al 90% del brillo

del cielo! Una discusión en profundidad al respecto se encuentra en Falchi 2011.

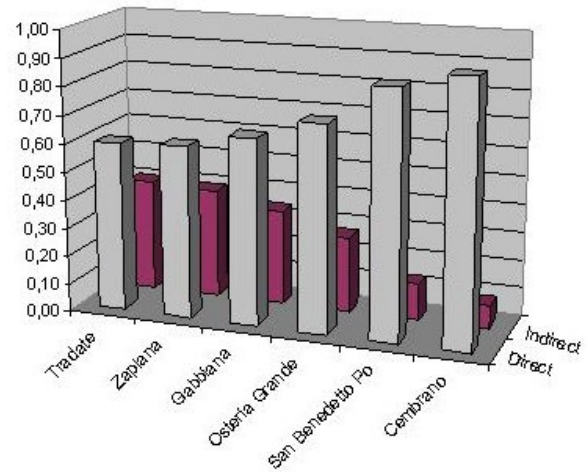


Figura 5. Producción de brillo en el cenit debido a luz directa e indirecta en seis lugares. Adaptado de Falchi 2011.

De estos datos se deduce que eliminando la parte del flujo que ilumina directamente hacia arriba, es posible una mejora sustancial de la calidad del cielo nocturno. Prueba de ello es también que los valores de las medidas del brillo del cielo en San Bernadetto Po se mantengan constantes, pese al aumento del flujo luminoso.

5. EFECTOS MEDIOAMBIENTALES Y EN LA SALUD DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

La exposición a la luz por la noche disminuye la secreción de melatonina en la mayoría de los animales, incluidos los seres humanos. Las variables responsables de la supresión de la producción de melatonina son la intensidad de la luz, longitud de onda, momento del día

y duración de la exposición a la luz. Según progresan las investigaciones se van descubriendo niveles cada vez más bajos de intensidad luminosa que suprimen la producción de melatonina. En 1980, Lewy mostró que la luz brillante suprimía la secreción de melatonina. Ahora se sabe que iluminancias del orden de 1 lux pueden afectar los ritmos circadianos (Wright *et al.*, 2001, Glickman *et al.*, 2002). La típica iluminación de un dormitorio al caer la noche es suficiente para reducir y retrasar la producción de melatonina (Gooley *et al.* 2011).

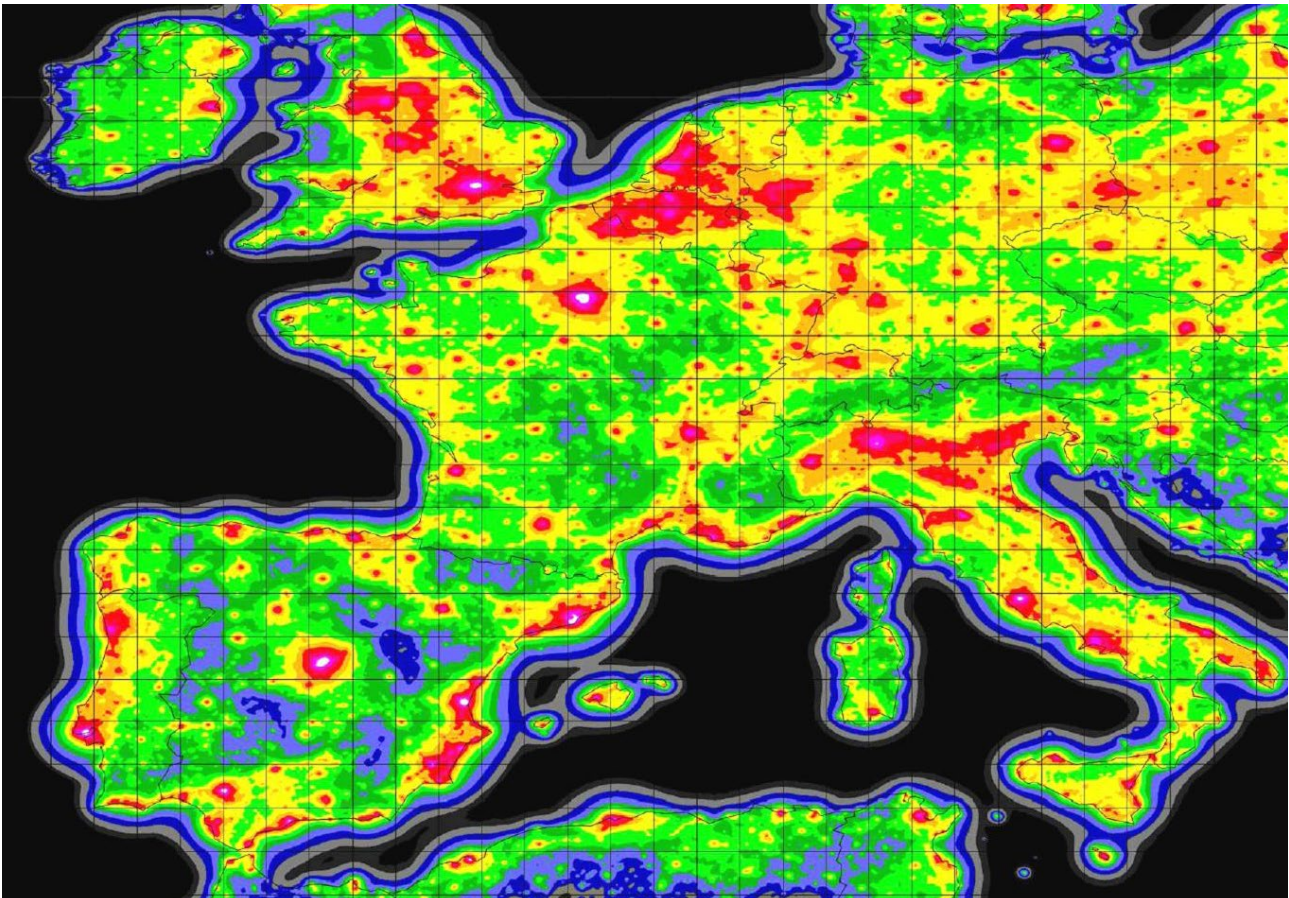


Figura 6: Mapa de Europa occidental con una calibración preliminar. El mapa fue calculado en la preparación del segundo atlas mundial de brillo del cielo de origen artificial. Los niveles indican el brillo de origen artificial en el cénit para una noche despejada: negro <2% de aumento sobre el brillo natural, gris oscuro 2-4%, gris 4-8%, azul oscuro 8-16%, y así. Otros niveles son: verde oscuro 32-64%, amarillo 128-250%, rojo 5-10 veces el brillo natural (la Vía Láctea no es visible), magenta 20-40 veces, blanca >40 veces. El brillo del cielo de origen artificial cuando el cielo está cubierto es habitualmente varias veces más brillante en las proximidades de las zonas urbanizadas, de modo que los efectos ecológicos de la contaminación lumínica aumentan con la nubosidad (Kyba *et al.*, 2011). El cielo, incluso en las zonas mostradas en negro, puede estar lejos de estar impoluto debido a que habitualmente hay mayor brillo del cielo más cerca del horizonte. Por ejemplo, en la pequeña área en negro que hay entre las Islas Baleares y la Península el cielo brilla por todo el horizonte, especialmente en dirección Noreste (Barcelona) y Oeste (Valencia).

A principios del nuevo milenio se descubrió un nuevo fotorreceptor, no formador de imágenes. Esto, junto al fotopigmento melanopsina, ha permitido una comprensión mayor de cómo la luz afecta a los seres humanos. Varios estudios han demostrado que variando el espectro de la luz cambiaba la respuesta humana a la exposición a la luz nocturna (por ejemplo, en Thapan *et al.* 2001; Brainard *et al.* 2001). A modo de ejemplo, Cajochen *et al.* (2005), estudiaron el impacto de la longitud de onda midiendo niveles de melatonina, estado de alerta, termorregulación y ritmo cardíaco. Descubrieron que una exposición de dos horas a luz monocromática de 460 nm al anochecer suprimía de manera significativa la producción de melatonina. Tan sólo cambiando la longitud de onda a 550 nm, manteniendo la misma intensidad, hora y duración de la exposición, no se apreciaba ningún efecto.

Dado que la melatonina es un agente oncostático, o anticancerígeno, su disminución en sangre debido a la exposición a luz artificial puede promover (comparado con niveles nocturnos normales de melatonina en sangre) el crecimiento de algunos tipos de cáncer (Glickman *et al.* 2002; Stevens *et al.* 2007; Stevens 2009; Kloog *et al.* 2008, 2009; Bullough *et al.* 2006; Haim *et al.* 2010).

La luz artificial por la noche actúa directamente en la fisiología, pero también indirectamente causando desórdenes y disminución del sueño que pueden tener un efecto negativo en diversos desórdenes como diabetes, obesidad y otros (Haus & Smolensky 2006; Bass & Turek 2005; Reiter *et al.* 2011a; Reiter *et al.* 2011b; Bray & Young 2012). Consecuencias fisiológicas, epidemiológicas y ecológicas de la luz por la noche son discutidas en Navara & Nelson (2007) y Fonken & Nelson (2011).

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer ha incluido el trabajo a turnos, que implica disrupción del ritmo circadiano (Straif *et al.* 2007), en la lista del grupo 2A (probable cancerígeno en humanos).

Como hemos visto, se puede producir disrupción circadiana por la exposición a luz artificial por la noche.

La luz por la noche se está convirtiendo en un asunto de salud pública (Pauley 2004; Stevens 2009; Fonken & Nelson 2011). La Asociación Médica Americana mantiene una posición firme al respecto, con una resolución (2009) que dice que la contaminación lumínica constituye un riesgo para la salud pública.

El continuo aumento del alumbrado exterior, junto al uso cada vez más extendido de lámparas de descarga de elevada intensidad y LED con fuertes emisiones de longitudes de onda cortas, probablemente tendrá un grave impacto negativo en la salud humana y el medio ambiente nocturno.

En el medio ambiente nocturno natural, animales y plantas están expuestos a niveles de iluminación nocturnos que van desde menos de medio mililux con un cielo nublado, un mililux bajo el cielo estrellado en una noche sin luna, 0,02 lux con la luna en cuarto creciente o menguante, a un máximo de 0,1-0,3 lux en las noches alrededor de la luna llena. La luz artificial en una carretera típica, 20 lux, es varias decenas de miles de veces más brillante que la iluminación experimentada alrededor de la luna nueva en condiciones naturales. La vida ha evolucionado con estos niveles naturales de iluminación nocturna, por lo que no es sorprendente que la luz artificial por la noche tenga importantes efectos ambientales en ecología del comportamiento, de poblaciones y de comunidades al afectar la búsqueda de comida, hábitos reproductivos, de orientación, migración, comunicación, competición y predación. La contaminación lumínica puede ser la forma de contaminación más generalizada y, al mismo tiempo, a la que menos atención se le presta. En los últimos años, la comunidad científica está empezando a darle la importancia que merece. Análisis de las consecuencias ecológicas de la luz por la noche se encuentran en Navara & Nelson 2007; Longcore & Rich 2004; Rich & Longcore 2006; Longcore 2010; Kempenaers *et al.* 2010; Hölker *et al.* 2010; Kyba *et al.* 2011; Gaston *et al.* 2012; Gaston *et al.* 2013.

Las importantes evidencias de los efectos negativos que la luz artificial por la noche tiene sobre los animales y la salud humana deben sopesarse frente a los supuestos (pero aún por probar) efectos positivos en seguridad.

6. MEDIDAS ADICIONALES

Para obtener unos resultados más robustos en la protección del medio ambiente nocturno y recuperar el cielo estrellado se debe actuar a todos los niveles. Aquí se indican algunos puntos, según sugiere la iniciativa Starlight junto con CieloBuiro e ISTIL (Falchi y Marin, 2012):

- a. Considerar que el primer paso hacia la eficiencia es limitar la luz innecesaria.
- b. Hacer presión para que se adopten normas que permitan una reducción sustancial de los niveles actualmente utilizados en iluminación exterior, guiando el mercado de la tecnología LED hacia una iluminación más amigable con el medio ambiente.
- c. Llevar a cabo estudios para comprobar si, y en su caso cómo, la luz disminuye el crimen y/o los accidentes de tráfico.
- d. Sopesar los beneficios (cuando se encuentren en el punto c) con los beneficios de otras acciones al mismo coste (por ejemplo, mayor control policial).
- e. Considerar los problemas de salud del uso de la luz por la noche, especialmente aquella con contenido azul, y limitar el contenido de luz azul en iluminación nocturna tanto de interior como de exterior.
- f. Advertir qué frecuencias específicas (por ejemplo, aquellas con un componente azul elevado) afectan a muchas especies silvestres y alteran el funcionamiento de los ecosistemas tanto en ambiente urbanos como más allá de ellos.
- g. Definir adecuadamente el concepto de tecnologías ecológicas, que además de su eficiencia energética tengan en cuenta el control de la contaminación lumínica y todos sus aspectos, siguiendo las siguientes prescripciones mínimas:
 - No permitir luminarias que emitan luz directamente en y sobre la horizontal;
 - evitar la sobreiluminación;
 - no malgastar flujo luminoso más allá de la zona a iluminar;

- apagar las luces cuando la zona no esté en uso;
- buscar el crecimiento cero del flujo instalado total, para posteriormente disminuirlo (tal y como viene sucediendo con el resto de contaminantes);
- limitar fuertemente la luz “azul”, de longitud de onda corta.

Con respecto a los puntos e y f, es importante resaltar lo siguiente:

Para reducir los efectos adversos en la salud causados por la disminución en la producción de melatonina y la disrupción circadiana en humanos y animales, y dada la dependencia de la longitud de onda en la supresión de melatonina, se recomienda la prohibición total de iluminación nocturna con luz que tenga longitudes de onda menores de 540 nm. La emisión relativamente baja de las lámparas de sodio de alta presión en este rango espectral puede marcarse como el límite superior en cuanto a emisiones de luz de longitud de onda corta que puede considerarse aceptable. Así, se debe seguir la siguiente norma (Falchi *et al.* 2011):

El rango de longitudes de onda de la luz visible por debajo de 540 nm, correspondientes al espectro con una elevada sensibilidad a la supresión de melatonina, debe establecerse como un rango protegido. Las lámparas que emiten un flujo energético dentro del rango protegido mayor que el emitido por una lámpara de sodio de alta presión a igual salida fotópica, no debe instalarse para uso nocturno.

7. CONCLUSIONES

La contaminación lumínica es un problema global para cuyo estudio y resolución se requiere una aproximación multidisciplinar. Los ecologistas deberían continuar la acción empezada por los astrónomos (Settele, 2009). La ciencia ya ha mostrado cuáles son las principales líneas de acción para minimizar los efectos negativos del uso de luz artificial por la noche. El principal problema ahora es implementar estas acciones en leyes y que se cumplan de manera efectiva.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Medical Association, House of Delegates, (2009) *Resolution 516-Advocating and Support for Light Pollution Control Efforts and Glare Reduction for both Public Safety and Energy Savings*, online at:<http://www.ama-assn.org/ama1/pub/upload/mm/475/a-09-ref-comm-e-annotated.pdf>.
- Bass, J.; Turek, F. W. (2005) Sleepless in America: a pathway to obesity and the metabolic syndrome? *Arch Intern Med*; 165:15–16.
- Brainard, G. C.; Hanifin, J. P.; Greeson, J. M.; Byrne, B.; Glickman, G.; Gerner, G. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *Journal of Neuroscience*, 21(16), 6405–6412.
- Bray, M.; Young, M. (2012) Chronobiological effects on obesity. *Current Obesity Reports*. Doi: 10.1007/s13679-011-0005-4.
- Bullough, J. D.; Rea, M. S.; Figueiro, M. G. (2006). Of mice and women: light as a circadian stimulus in breast cancer research. *Cancer Causes Control*; 17:375–383.
- Cajochen, C.; Munch, M.; Koblacka, S.; Krauchi, K.; Steiner, R.; Oelhafen, P.; Orgul, S.; Wirz-Justice, A. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 90:1311–1316.
- Falchi, F. 2011. Campaign of sky brightness and extinction measurements using a portable CCD camera. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 412, 33–48. Doi:10.1111/j.1365-2966.2010.17845.x.
- Falchi, F.; Cinzano, P.; Elvidge, C. D.; Keith, D. M.; Haim, A. (2011) Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental Management* 92, 2714–2722.
- Falchi, F.; Marin, C.; *There are several ways of Lighting the Future, Starlight Initiative-CieloBuiro-ISTIL 2012*. www.starlight2007.net/pdf/LightGreenPaperComments.pdf.
- Fonken, L. K.; Nelson, R. J. 2011. Illuminating the deleterious effects of light at night. *F1000 Med Rep.* 2011; 3: 18.
- Gaston, K. J.; Davies, T. W.; Bennie, J.; Hopkins, J. 2012. Reducing the ecological consequences of night-time light pollution: options and developments. *Journal of Applied Ecology*, 49, 1256–1266. Doi: 10.1111/j.1365-2664.2012.02212.x.
- Gaston, K. J.; Davies, T. W.; Bennie, J.; Hopkins, J. 2013. The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal *Biol. Rev.* Doi: 10.1111/brv.12036.
- Glickman, G.; Levin, R.; Brainard, G. C. 2002. Ocular Input for Human Melatonin Regulation: Relevance to Breast Cancer. *Neuroendocrinology Letters*, 23 (suppl 2):17–22.
- Gooley, J. J.; Chamberlain, K.; Smith, K. A.; Khalsa, S. B.; Rajaratnam, S. M.; Van Reen, E.; Zeitzer, J. M.; Czeisler, C. A.; Lockley, S. W. 2011. Exposure to room light before bedtime suppresses melatonin onset and shortens melatonin duration in humans. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 96:463–72.
- Kempenaers, B.; Borgström, P.; Loës, P.; Schlicht, E.; Valcu, M. 2010. Artificial Night Lighting Affects Dawn Song, Extra-Pair Siring Success, and Lay Date in Songbirds, *Current Biology*, Vol. 20, Issue 19, pp. 1735–1739.
- Kloog, I.; Haim, A.; Stevens, R. G.; Barchana, M.; Portnov, B. A.; 2008. Light at Night Co-distributes with Incident Breast but not Lung Cancer in the Female Population of Israel. *Chronobiology International*, 25(1), 65–81.
- Kloog, I.; Haim, A.; Stevens, R. G.; Portnov, B. A. Global co-distribution of light at night (LAN) and cancers of prostate, colon, and lung in men. *Chronobiol Int.* 2009; 26(1):108–25.
- Kyba, C. C. M.; Ruhtz, T.; Fischer, J.; Hölker, F. 2011. Cloud Coverage Acts as an Amplifier for Ecological Light Pollution in Urban Ecosystems. *PLoS ONE*, 6(3): e17307. Doi:10.1371/journal.pone.0017307.
- Haim, A.; Yukler, A.; Harel, O.; Schwimmer, H.; Fares, F. 2010. Effects of chronobiology on prostate cancer cells growth in vivo. *Sleep Science*, 3 (1): 32–35.
- Haus, E.; Smolensky, M. 2006. Biological clocks and shift work: circadian dysregulation and potential long-term effects. *Cancer Causes Control*; 17:489–500.
- Hölker, F.; Wolter, C.; Perkin, E. K.; Tockner, K. 2010. Light pollution as a biodiversity threat. *Trends EcolEvol* 25: 681–682.
- Lewy, A. J.; Wehr, T. A.; Goodwin, F. K.; Newsome, D. A.; Markey, S. P. 1980. Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science* 210:1267–1269.
- Longcore, T. and Rich, C. 2004. Ecological Light Pollution, *Front. Ecol. Environ.*; 2(4): 191–198.
- Longcore, T. 2010. Sensory Ecology: Night Lights Alter Reproductive Behavior of Blue Tits, *Current Biology*, Vol. 20, Issue 20, pp. R893–R895.
- Luginbuhl, C. B.; Walker, C. E.; Wainscoat R. J. 2009. *Phys. Today*, 62, 35.
- Navarra, K. J.; Nelson, R. J. 2007. The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. *J. Pineal Res.* 43:215–224.
- Pauley, S. M. 2004. Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue, *Medical Hypotheses*, 63, 588–596.
- Reiter, R.; Tan, D.; Korkmaz, A.; Ma, S. 2011a. Obesity and metabolic syndrome: Association with chronodisruption, sleep deprivation, and melatonin suppression. *Annals of Medicine*; doi:10.3109/07853890.2011.586365
- Reiter, R.; Tan, D.; Sanchez-Barcelo, E.; Mediavilla, M.; Gitto E. *et al.* 2011b. Circadian mechanisms in the regulation of melatonin synthesis: disruption with light at night and the pathophysiological consequences. *J. Exptl Integr Med* 1: 13–22; doi: 10.5455/jeim.101210.ir.001.
- Sette, J. 2009. Ecologists should join astronomers to oppose light pollution. *Nature*, 576, 379.
- Stevens, R. G.; Blask, E. D.; Brainard, C. G.; Hansen, J.; Lockley, S. W. *et al.* 2007 Meeting Report: The Role of Environmental Lighting and Circadian Disruption in Cancer and Other Diseases. *Environmental Health Perspectives*, vol. 115, n. 9, p. 1357–1362.
- Stevens, R. G. 2009. Light-at-night, circadian disruption and breast cancer: assessment of existing evidence. *International Journal of Epidemiology*, doi: 10.1093/ije/dyp178.
- Straif, K.; Baan, R.; Grosse, Y.; Secretan, B.; El Ghissassi, F.; Bouvard, V.; Altieri, A.; Benbrahim-Tallaa, L.; Coglian, V. 2007. Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting. *Lancet Oncol.* 2007 Dec; 8(12):1065–6. PubMed PMID: 19271347.

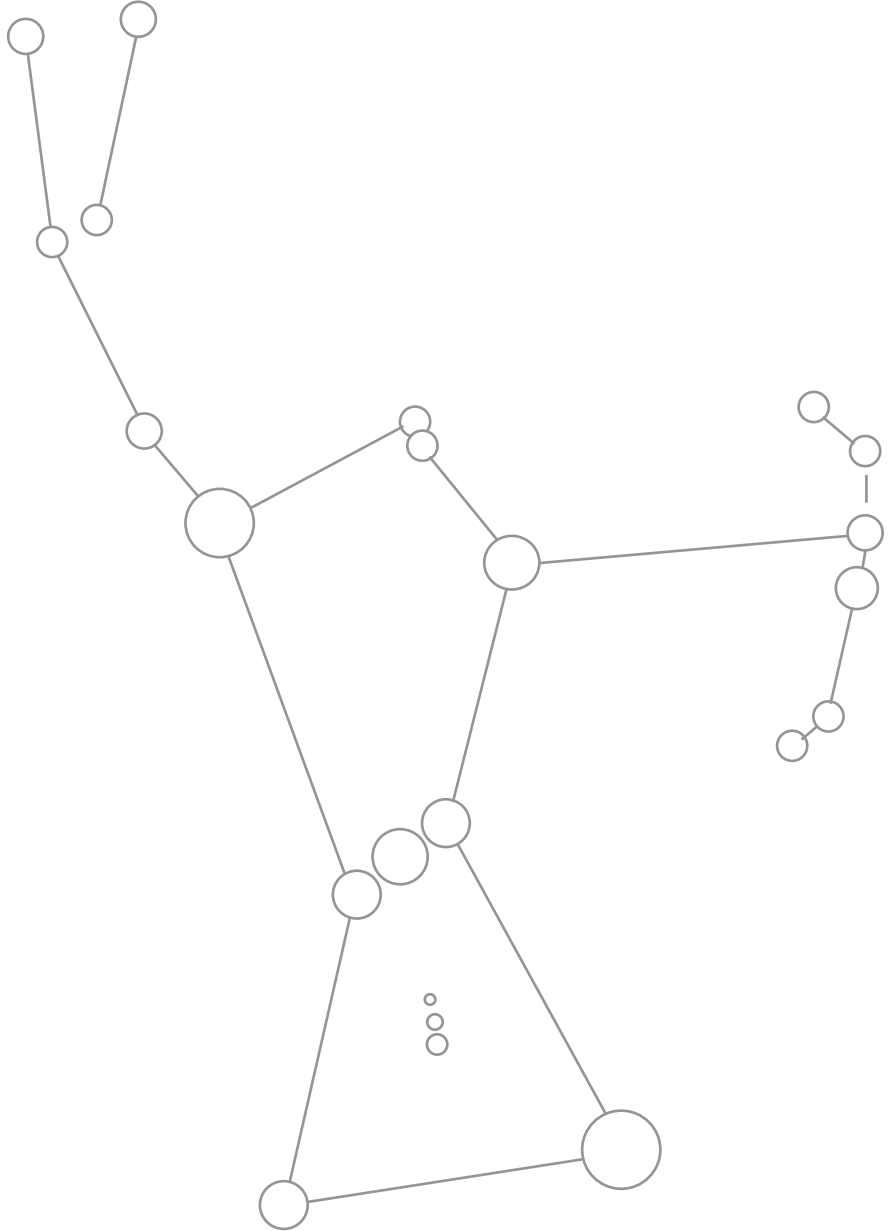
- Terna 2013 http://www.terna.it/default/Home/SISTEMA_ELETTRICO/statistiche/consumi_settore_merceologico.aspx.

- Thapan, K.; Arendt, J.; Skene, D. J. 2001. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans, *Journal of Physiology*, 535, 261–267.

- Wright, K. P. Jr.; Hughes, R. J.; Kronauer, R. E.; Dijk, D. J.; Czeisler, C. A. 2001. Intrinsic near-24-h pacemaker period determines limits of circadian entrainment to a weak synchronizer in humans, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 98(24): 14027-32.

9. SOBRE EL AUTOR

Fabio Falchi, físico y profesor, lleva más de 20 años estudiando la contaminación lumínica. Actualmente está trabajando en la nueva versión del *World Atlas of Artificial Night Brightness* en el ISTIL -Light Pollution Science and Technology Institute-. Es el presidente de CieloBuiro, la asociación italiana para la protección del cielo nocturno.



EL LADO
OSCURO
DE LA LUZ
CONTA-
MINACIÓN
LUMINICA

LA DESCONTAMINACIÓN LUMÍNICA. UNA NECESIDAD INAPLAZABLE

Josep M. Ollé Martorell

La contaminación lumínica constituye una seria agresión al medio ambiente causada por una inadecuada iluminación artificial.

En este artículo se presenta una breve evaluación del daño que puede producir la contaminación lumínica, así como los criterios básicos para la descontaminación lumínica y su posterior prevención.

Se exponen varios ejemplos de descontaminación lumínica realizados en áreas urbanas con el fin de mostrar no solo su viabilidad, sino también los importantes ahorros económicos obtenidos, por lo que en estos momentos de crisis económica la descontaminación lumínica es una necesidad que no puede aplazarse por más tiempo.

Finalmente, se muestra una nueva fuente de luz, el LED PC-ámbar, llamado a ser un gran aliado para la descontaminación lumínica.

1. EVALUACIÓN DEL DAÑO QUE PUEDE PRODUCIR LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

La iluminación artificial exterior, sobre todo la pública, se ha convertido en nuestro país en uno de los mejores ejemplos de despilfarro de energía, por la forma de iluminar con unos niveles de iluminación desmesurados, innecesarios y que en nada benefician a la correcta visión nocturna. Somos un país mediterráneo con una gran incultura de la luz y hemos querido convertir la noche en día, por lo que en los años anteriores a la actual situación de crisis económica, cuando nos creíamos ricos, las instalaciones de alumbrado exterior se realizaban sobreiluminando en exceso no solo el suelo sino también el espacio aéreo.



La consecuencia inmediata de este despilfarro de energía luminosa ha sido un incremento considerable de la contaminación lumínica y una demanda de energía eléctrica en continuo crecimiento, con las conocidas consecuencias sobre el medio ambiente: la generación de electricidad implica el consumo de combustibles fósiles con un importante aumento de los gases de efecto invernadero que nos han llevado al actual cambio climático.

Debemos dar a la contaminación lumínica la misma consideración que damos a cualquier otro tipo de contaminación: acústica, química, del aire, etc.

Ante cualquier tipo de contaminación, los pasos a seguir son:

1º- Evaluar el grado de daño producido o que puede producir la contaminación sobre el medio ambiente y sobre las personas.

2º- Minimizar los efectos negativos descontaminando la zona afectada y estableciendo los criterios para una prevención adecuada de cara a futuras actuaciones que puedan volver a contaminar.

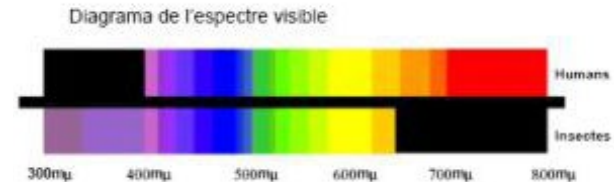
El daño que puede producir un contaminante depende básicamente de tres factores: su toxicidad, la cantidad de contaminante presente en la zona afectada y el tiempo de permanencia del contaminante o de exposición al contaminante. Analicemos cada uno de ellos:

1.1. LA TOXICIDAD DE LA LUZ

Cuando hablamos de contaminación lumínica nos referimos a una contaminación producida por la luz, entendiendo ésta como la radiación electromagnética que forma parte del espectro visible entre el ultravioleta y el infrarrojo y que corresponde a radiaciones con longitudes de onda entre 380 nm a 780 nm.

Este rango de radiación electromagnética, que al incidir en nuestros ojos nos posibilita la visión, presenta también una toxicidad que afecta tanto al medio ambiente como a los seres humanos, ya que la luz no es inocua. Numerosos expertos nos alertan de la toxicidad de la luz y de los daños que puede producir a la fauna nocturna el uso inadecuado de la luz artificial en el medio nocturno, entre ellos destacan Alfons Dolsa y su esposa M^a Teresa

Albarran, entomólogos y directores del “Museo de las Mariposas de Catalunya”, que llevan muchos años advirtiéndonos de estos daños.¹ En sus artículos nos muestran una comparativa del espectro visible entre los humanos y los insectos:

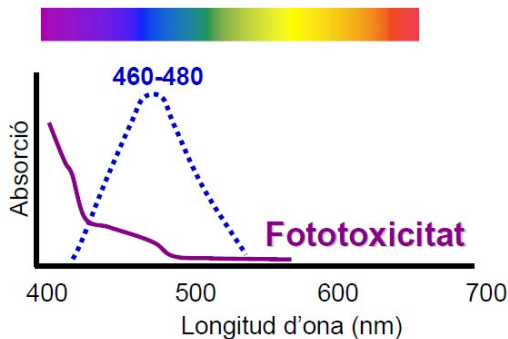


El planeta Tierra, al girar sobre si mismo, produce ciclos día-noche en los que pasa de estar iluminado por la luz del Sol a la oscuridad de la noche, y la vida en nuestro planeta se rige por este ciclo desde hace miles de años. La gran mayoría de vida animal, fauna e insectos, están adaptados para vivir en el mundo nocturno: en la oscuridad se esconden de sus depredadores, se alimentan, cazan y se reproducen.

Muchas especies son sensibles a la luz con radiaciones azuladas, en cambio no ven la luz roja, por lo que ésta no perturba sus ciclos vitales. Diversos artículos de especialistas nos aportan datos e informaciones sobre los efectos negativos de romper el ciclo día-noche. ¿Cuántos insectos hemos visto morir achicharrados por su empeño en ir hacia la luz de las farolas con luz blanca de las calles? Nos remitimos a la recopilación hecha por Cel Fosc, asociación contra la contaminación lumínica.²

Por otro lado, los expertos en cronobiología, cada vez con más convicción debido a los resultados de sus investigaciones, nos alertan de los riesgos para la salud humana de la alteración de los ciclos circadianos: se están estableciendo relaciones causa-efecto entre diversas afectaciones de la salud humana y la disrupción del ciclo sueño-vigila por la consecuente alteración de la segregación de la hormona melatonina, que desempeña un papel fundamental en el sistema inmunológico.

“Visió circadiària”



La lum i el color sobre els ritmes circadiaris. Influència en la salut de les persones.
Dra Trinitat Cambras

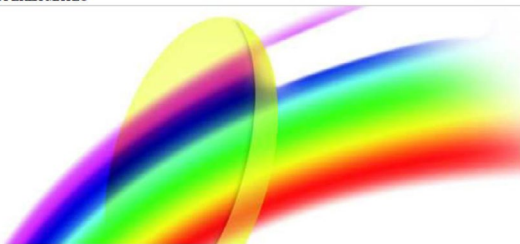
Se debe evitar emitir al aire libre luz en longitudes de onda menores de 540 nm para reducir los efectos adversos sobre la salud: disminución de la producción de melatonina y disrupción del ritmo circadiano en los seres humanos y afectación a los animales.³

La doctora Trinitat Cambras, del Departamento de Fisiología de la Universitat de Barcelona,⁴ termina sus presentaciones sobre cronobiología con una frase ilustrativa: “La luz adecuada en la hora adecuada”, indicando que el problema no es tanto la luz como el mal uso que podamos hacer de ella.

OFTALMOLOGIA

Un filtro amarillo para proteger la retina

MARÍA PILAR PERLA MATEO



El nuevo filtro óptico absorbe la luz azul y violeta, lo que evita el desgaste de la retina.

No podemos obviar los efectos de la luz azulada sobre los ojos: la doctora en ciencias de la visión Celia Sánchez Ramos, Directora del Departamento de Óptica II (optometría y visión), de la Universidad Complutense de Madrid, ha diseñado un nuevo filtro óptico que

absorbe la luz azul y violeta, evitando así el desgaste de la retina. Explica que en la actualidad el ser humano pasa entre 5000 y 6000 horas al año bajo exposición lumínica y como la esperanza de vida es cada vez mayor, el riesgo de sufrir patologías de la retina va a aumentar exponencialmente en los próximos años si no se toman medidas preventivas.⁵

La revista Nature geoscience publicó un artículo de diversos investigadores de EE.UU. en el que muestran cómo la intensidad de las luces de las ciudades altera la concentración de radicales de nitrato con un efecto directo en la concentración de ozono al día siguiente.⁶

Los radicales de nitrato se forman de la reacción de dióxido de nitrógeno con el ozono. Estos radicales son sumamente inestables en la luz del sol, pero aumentan durante la noche, cuando funcionan como un oxidante clave atmosférico. Durante la noche ellos reaccionan con la numerosa especie química, incluyendo compuestos volátiles orgánicos liberados por plantas y actividades humanas, y compuestos esenciales para la producción de ozono al día siguiente.

1.2. LA CANTIDAD DE CONTAMINANTE

La cantidad de contaminante, su concentración o intensidad determinan el grado de daño que éste puede producir. En el caso de la contaminación lumínica, la cantidad viene determinada por el nivel de iluminación de los espacios exteriores.

La sociedad actual tiene asumido que uno de los efectos colaterales del progreso es la contaminación de todo aquello que el ser humano toca. Aceptamos unos niveles máximos de contaminación legalmente establecidos del aire que respiramos en las ciudades, del ruido que soportamos, del agua que bebemos, de los aditivos químicos que incorpora la comida.

También deberíamos aceptar los niveles máximos de contaminación lumínica que los expertos determinen que podemos soportar sin que se produzcan daños en nuestra salud o en el medio ambiente. Sin embargo la sociedad, la española al menos, aún no está concienciada y sigue creyendo que cuanto más luz haya en las calles por la noche y cuanto más deslumbre, mejor.



Fuente: <http://ecomasverde.blogspot.com.es/>

Es necesario revertir esta creencia para que sean aceptados aquellos niveles de iluminación, que los expertos de la CIE⁷ consideran suficientes para garantizar una visión correcta nocturna en las calles sin comprometer la sensación de seguridad. Estos valores están detallados en la publicación CIE 136-2000.⁸

Así se conseguiría reducir la cantidad de contaminante lumínico presente en el medio nocturno en nuestras calles, sobre todo el producido por la reflexión de la luz en los pavimentos.

1.3. EL TIEMPO DE EXPOSICIÓN

Unos niveles bajos de contaminante pero prolongados en el tiempo pueden ser tan dañinos como una elevada concentración en un corto espacio de tiempo.

Podemos limitar el tiempo de exposición a la contaminación lumínica individualmente por medio de persianas que eviten la luz intrusa en nuestro dormitorio. También usando gafas o filtros que eliminen las radiaciones azuladas, que son las más dañinas. Ya se comercializan filtros protectores de smartphones y tablets que protegen nuestra retina de dichas radiaciones.⁹

A nivel colectivo, la limitación del tiempo de exposición pasa por adecuar las instalaciones de alumbrado público para eliminar la luz intrusa en las ventanas de las viviendas. Sería conveniente, si la situación económica lo permite, instalar sistemas de regulación de los niveles de iluminación en función del uso de las vías a base de detectores de personas. También se deberían apagar todas aquellas luces que no son estrictamente necesarias a partir de la media noche: ornamentales, vallas luminosas publicitarias, parques y jardines que no son accesibles porque están cerrados de noche.

2. CRITERIOS BÁSICOS PARA LA DESCONTAMINACIÓN LUMÍNICA Y SU POSTERIOR PREVENCIÓN

La descontaminación lumínica y su posterior prevención deben basarse en una serie de criterios técnicos de los que destacamos, como básicos, los siguientes:

- El alumbrado público debe iluminar sólo lo que es público: el suelo de los viales y espacios de titularidad o uso público, eliminando la luz intrusa, por encima de los 4,5 m en las fachadas de las viviendas.

- Tanto en espacios públicos como privados se debe iluminar con el mínimo nivel de iluminación necesario. En España disponemos del R.D. 1890/2008, Reglamento de eficiencia energética en las instalaciones de alumbrado exterior, que ya nos determina unos valores máximos en la ITC-EA-02. Pero deberían ajustarse más según el grado de protección contra la contaminación lumínica de la zona a iluminar:

- En zonas E1 la iluminancia media en el suelo debería ser inferior a 5 lux.
- En zonas E2 se deberían considerar como valores máximos permitidos los valores correspondientes a las clases de alumbrado más restrictivas para cada situación de proyecto según el R.D. 1890/2008.
- En zonas E3 y E4 se deberían considerar como valores máximos permitidos los valores correspondientes a las clases de alumbrado indicadas para cada situación de proyecto. Pero si se utilizan lámparas con un índice de reproducción cromática de 80 ó superior, se deberían considerar como valores máximos permitidos los valores correspondientes a la clase de alumbrado inmediatamente inferior.

- Instalar luminarias no contaminantes con un FHSi (Flujo luminoso en el Hemisferio Superior con la luminaria en su posición de instalación) como máximo de un 1% para zonas E2, de un 2% para zonas E3 y E4 y 0% en zonas E1. Pero si la luminaria está a más de 6 m de altura, el FHSi debería ser = 0%, independientemente de la luminaria y de la zona donde esté situada.

- Utilizar generadores de luz artificial que emitan una luz que no pueda causar efectos negativos: en zonas E1 y E2 sólo se deben instalar lámparas de sodio de baja o alta presión o de nuevas tecnologías que tengan el mismo espectro de radiancia como los LED PC-ámbar.

3. EJEMPLOS DE DESCONTAMINACIÓN LUMÍNICA DE ZONAS URBANAS E3 Y E4

1) La urbanización Mas Bertrán es una zona residencial, que estaba iluminada con luminarias con un FHS=25% y con lámparas de 250 W de vapor de mercurio color corregido (VMCC) con una gran contaminación como puede apreciarse en la siguiente fotografía:

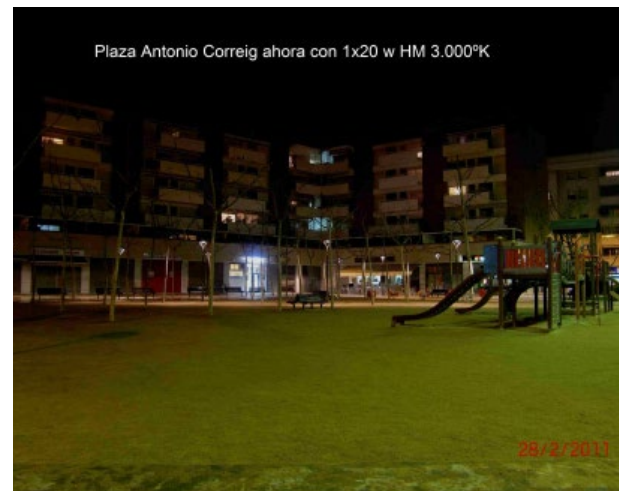


El ahorro obtenido con esta actuación fue de un 70,47% con un coste unitario de 769 € la inversión se recupera en 5,3 años considerando un coste de la electricidad de 0,17 €/KWh.

En las siguientes imágenes se puede apreciar la eliminación de la luz intrusa: antes, con una luminaria de 250 W y un FHS = 25%, se midieron 30 lux en la ventana; y después de la descontaminación lumínica, sólo 2 lux antes de la medianoche y con una luz de 3000 K con una mínima emisión por debajo de los 500 nm.



2) Plaza Antonio Correig. Es otra actuación de descontaminación lumínica en la que se sustituyeron las luminarias esféricas de 250 W VMCC, que producían una elevada luz intrusa en las viviendas, por luminarias con FHS = 0% con una lámpara de 20 W y luz cálida de 3000 K. Al eliminar por completo la contaminación lumínica y ajustar la iluminación a los límites establecidos por el Reglamento se obtuvo un ahorro energético del 92%, con unos resultados luminotécnicos más que satisfactorios:



4. NUEVA TECNOLOGÍA PARA LA DESCONTAMINACIÓN LUMÍNICA: LED PC-ÁMBAR¹⁰

El uso de fuentes de luz LED para el alumbrado público es ya una realidad y, con la irrupción de las ESE en el mundo del alumbrado público, ya casi no se plantea otra opción que no sea con luminarias a base de LED debido a su larga vida útil, buen mantenimiento del flujo lumínico, gran versatilidad y adaptabilidad a todo tipo de requerimientos lumínicos.

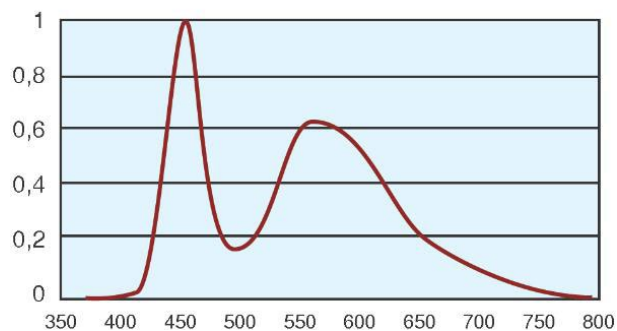
Pero, lamentablemente, en instalaciones de alumbrado público se han instalado LED de luz fría (6000 K) argumentando su mayor eficacia lumínica y obviando la incidencia de la luz azulada en el medio nocturno, ya sea a nivel astronómico o biológico.

Actualmente, los LED de luz cálida de 3000 K ya están consiguiendo una eficacia elevada que permiten su uso en alumbrado público, aunque siguen con una importante emisión de radiación por debajo de los 500 nm.

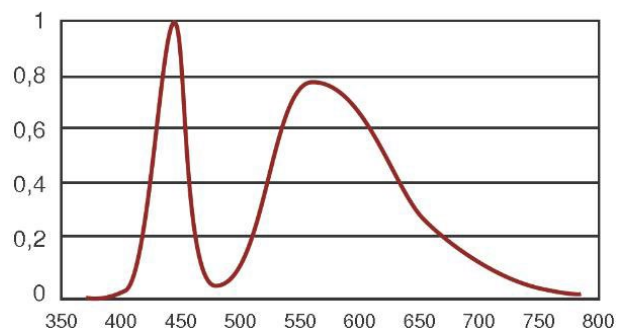
En las tres gráficas siguientes comprobamos que alrededor de los 440 nm hay un pico de emisión pronunciado, dado que actualmente el LED blanco se fabrica a partir de un LED azul al que se aplican diversas capas de fósforo con el fin de emitir luz blanca. Este pico de radiación es el que afecta tanto a la salud humana como a la fauna nocturna.

El LED PC-ámbar (Phosphor Converted Amber) tiene un espectro de emisión que por debajo de los 500 nm la emisión de luz es prácticamente nula, por lo que se reduce significativamente el nivel de contaminación luminosa a la vez que disminuye la afectación al medio nocturno y a la salud de las personas. Esto es debido a que este tipo de LED también se fabrica a partir de un LED azul, pero el tipo y cantidad de fósforo que se utiliza elimina el pico de emisión en los 440 nm, manteniendo su eficacia lumínica en niveles altos (90 lm/W). El índice de reproducción cromática CRI tiene un valor de 40, lo que significa una mejora del 60% respecto a las lámparas de vapor de sodio de alta presión (VSAP), que tienen un valor CRI de 25.

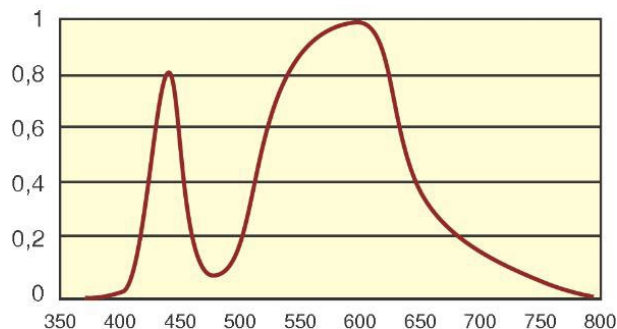
Blanco frío



Blanco neutro



Blanco cálido



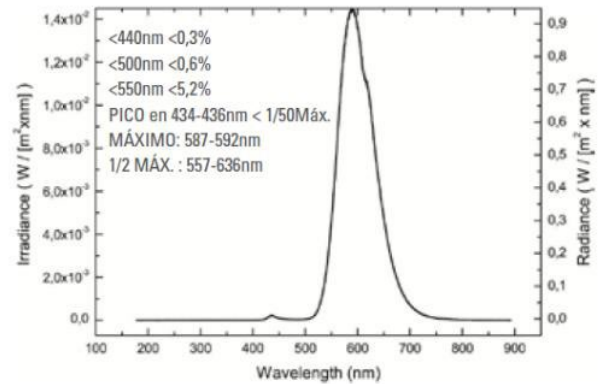
En la fotografía siguiente, realizada en la población de Serinya por el Dr. Andreas Hänel, del museo planetario de Schoelerberg (presentada en el *XIII Simposio Europeo para la Protección del Cielo Nocturno*, en Pamplona), se muestra una luminaria con lámpara de vapor de sodio de alta presión a la derecha y otra luminaria con LED PC-ámbar a la izquierda.



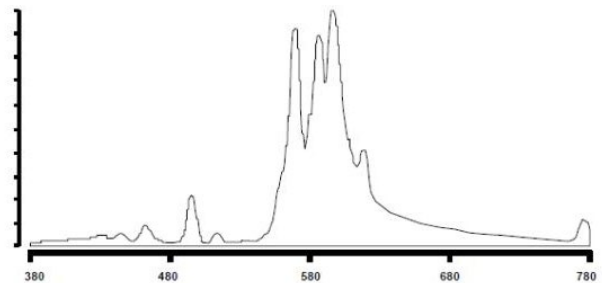
Vemos que la apariencia de color es muy similar, pero encima de las luminarias el Dr. Andreas nos muestra el análisis espectral de ambas fuentes de luz. Puede apreciarse la casi nula emisión de luz azulada del PC-ámbar.

A continuación se muestra el espectro lumínico del LED PC-ámbar, donde puede apreciarse que el pico de emisión en los 440 nm prácticamente desaparece por completo. Al lado se presenta el espectro lumínico de las lámparas de vapor de sodio de alta presión, que es mucho más irregular, además de tener algunos picos de emisión relativamente importantes en los 460, 495 y 780 nanómetros.¹¹

Espectrometría PC-Ámbar contrastada por el IREC



Espectrometría del Vapor de Sodio de Alta Presión



Otra ventaja respecto a las lámparas de menor potencia de VSAP (50 W) o de HM (20 W) es que con las luminarias de LED PC-ámbar la potencia puede ser inferior a 20 W. Actuando sobre el driver podremos reducir aún más el consumo para ajustar la iluminación a los niveles lumínicos requeridos. Esto nos permite dosificar la luz al valor justo y necesario para cada caso, usando además una luz prácticamente inocua.



4.1. ANÁLISIS REALIZADOS

Con el fin de asegurar y certificar la idoneidad de estos PC-LED para su uso en alumbrado público, se contactó con diversas personas y organismos de reconocido prestigio, enviándoles muestras de luminarias con LED PC-ámbar para su análisis:

1) Sr. Alfons Dolsa. Director del Museo de las Mariposas de Catalunya.

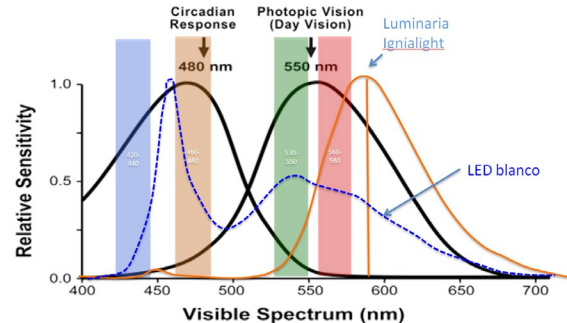
El Sr. Alfons Dolsa ha realizado pruebas empíricas comparando la atracción que producen sobre los insectos luminarias equipadas con lámpara de vapor de mercurio VMCC, de vapor de sodio de alta presión (VSAP) y con LED PC-ámbar.

El resultado ha sido que la atracción provocada por el VSAP era un 60% inferior que la provocada por la luminaria con lámpara de VMCC, y la atracción provocada por la luminaria con LED PC-Ámbar era un 70% inferior que la provocada por el VMCC.

2) Universidad de Murcia. Laboratorio de Cronobiología.

El profesor Dr. Juan Antonio Madrid lidera el Laboratorio de Cronobiología Cronolab¹² en el que se encuentra la Unidad de Iluminación, que dispone de espectrorradiometría para caracterizar los principales parámetros físicos de la luz y cuenta con los dos procedimientos más modernos para medir la actividad biológica de la luz en humanos: la pupilometría y la medida de la inhibición de la melatonina en saliva. La pupilometría permite valorar la respuesta del reloj biológico cerebral a cualquier tipo de luz, mientras que la medida de la melatonina es la técnica aceptada generalmente como “gold estándar” para determinar los efectos de la luz sobre la glándula pineal y el sistema circadiano.

En la gráfica siguiente compara el espectro de emisión de la luminaria PC-ámbar y el espectro de emisión de un LED blanco. Vemos que la luminaria con LED PC-ámbar no emite en la zona de mayor sensibilidad circadiana, donde sí lo hace el LED blanco.



Superposición del espectro de emisión de la luminaria Ignialight (LEDs naranja) y el de diodos LED blancos. Obsérvese como los LEDs naranja no emiten en la zona de mayor sensibilidad circadiana, mientras que es muy elevada la emisión del diodo LED blanco en esa zona.

Esto significa que el uso de LED PC-ámbar para alumbrado público nocturno prácticamente no tiene efecto sobre los ciclos circadianos en el ser humano.

3) Instituto de Astrofísica de Canarias.

El Instituto de Astrofísica de Canarias¹³ es un referente a nivel europeo y mundial en lo que se refiere a la protección de cielo nocturno. Dispone de la Oficina Técnica para la Protección de la Calidad del Cielo (OTPC),

creada para facilitar la aplicación de la Ley del Cielo, y desde la cual se analizan, homologan y certifican lámparas y luminarias para uso en entornos de especial protección del cielo por su interés natural y astronómico. Se facilitaron al IAC muestras de luminarias con LED PC-ámbar para validar su aprobación según sus requerimientos. Al mismo tiempo, y a petición del IAC, se ha procedido a realizar una certificación de radiancia espectral en el espectro visible (350-850 nm).

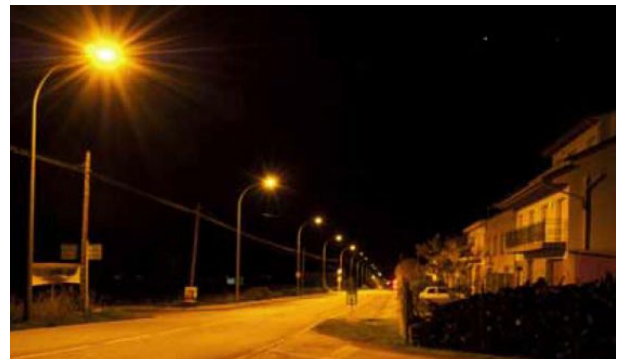
Como resultado se ha conseguido el certificado de luminaria y lámpara, validando que más del 80% de su radiancia se produce entre 550-700 nm, es inferior a 0,5% entre 350-440 nm, inferior al 1% entre 350-500 nm e inferior al 15% entre 350-550 nm, ni hay emisión singular por debajo de 500 nm que sobrepase 1/50 de la emisión máxima del LED.

Instalaciones realizadas con luminarias Ignialight LED PC-Ámbar:

1) Banyoles: luminarias LED PC-ámbar 40 W en lugar de 70 W de sodio alta presión.



2) Santa Pau: luminarias PC-ámbar de 130 W en lugar de 250 W de sodio alta presión.



5. CONCLUSIONES

Después de analizar los efectos negativos sobre el medio ambiente, los posibles daños sobre la salud humana y los importantes ahorros económicos obtenidos, no existe razón técnica que invalide los resultados ni razón alguna que impida aplicar los criterios básicos para la descontaminación lumínica y su posterior prevención.

La descontaminación lumínica de nuestras ciudades no sólo es posible, sino que es necesario realizarla cuanto antes. No se trata de dejar a oscuras las ciudades, sino de iluminar sólo los espacios que deben ser iluminados con la luz menos dañina posible y con los niveles de iluminación mínimos, aquellos que los expertos internacionales recomiendan como suficientes para garantizar una adecuada visión sin afectar a la sensación de seguridad.

6. NOTAS

1. Alfons Dolsa y Teresa Barragan: <http://www.papallones.net/download.htm>.
2. Cel Fosc. Asociación contra la contaminación lumínica: <http://www.celfosc.org/biblio/bio/index.html>.
3. Fabio Falchi, 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* (2011), doi:10.1016/j.jenvman.2011.06.029.
4. Grupo de Cronobiología del Departamento de Fisiología de la Universidad de Barcelona: http://www.ub.edu/web/ub/es/recerca_innovacio/recerca_a_la_UB/grups/fitxa/G/CRONOBIO/equipInvestigador/index.html?
5. Dra. Celia Sanchez-Ramos: Universidad Complutense, Madrid: <http://optica.ucm.es/departamentos-centro>.
6. H. Stark, S. S. Brown Wong, J. Stutz, C. D. Elvidge, I. B. Pollack, T. B. Ryerson, W. P. Dube, N. Wagner y D. D. Parrish. *Luces de la ciudad y el aire urbano*. Disponible en: <http://www.nature.com/ngeo/journal/v4/n11/full/ngeo1300.html#affil-auth>.
7. CIE Commission International de l'Eclairage: <http://www.cie.co.at/cie/>.
8. Publicación 136-2000 de la Commission International de l'Eclairage: *Guía para la iluminación de zonas urbanas*: http://div4.cie.co.at/?i_ca_id=587&pubid=144.
9. Tecnología sostenible y responsable: <http://www.reticare.com/es/>.

10. Ponencia presentada en el XXXIX Simposium Nacional de Alumbrado de Mataró: <http://www.ceisp.com/Mataro-2013.406.0.html>.

11. IREC Institut de Recerca en Energia: <http://www.irec.cat/index.php/es/areas-tecnologicas-y-de-investigacion/iluminacion>.

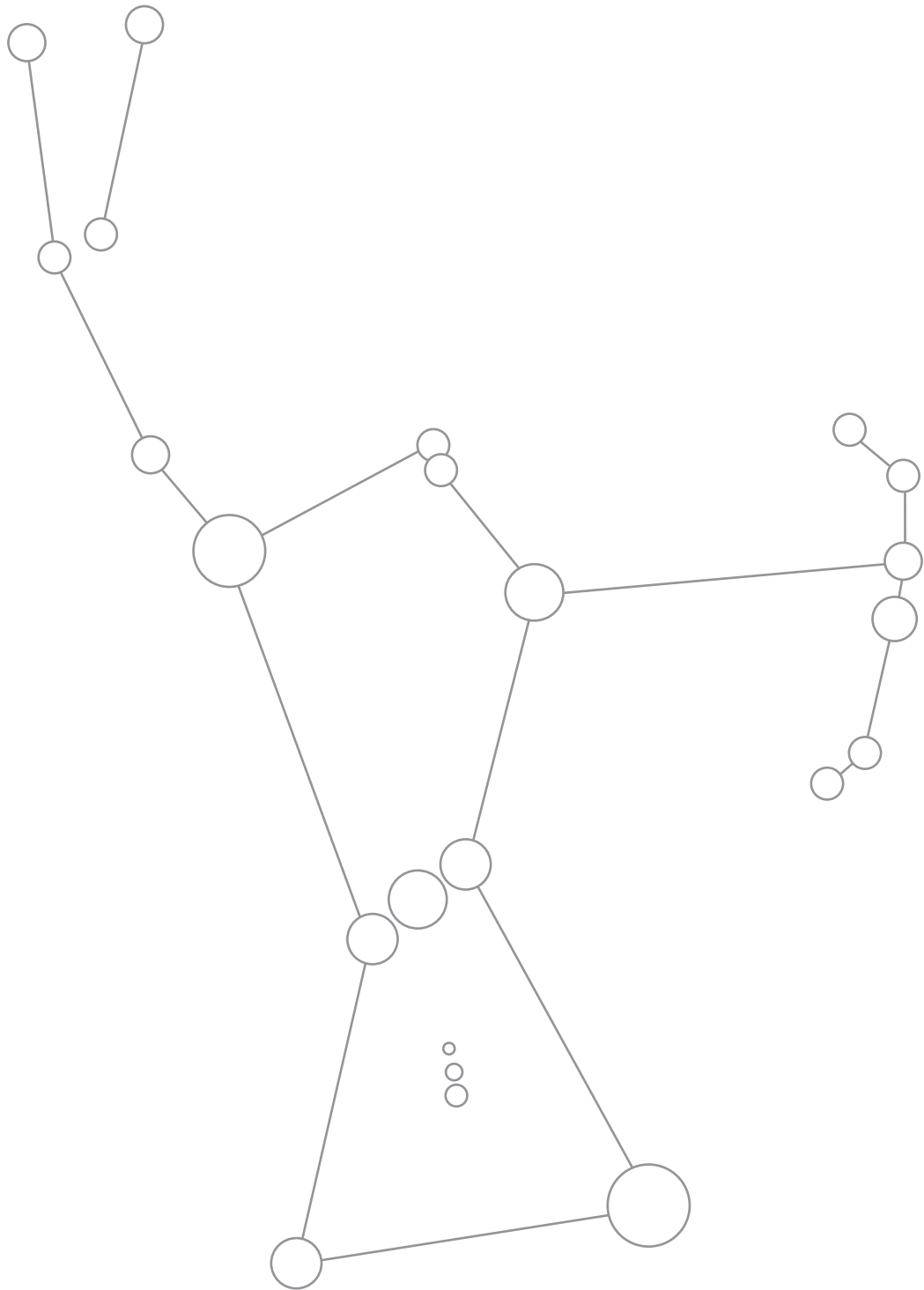
12. Universidad de Murcia. Laboratorio de Cronobiología: <http://www.um.es/cronobio/>.

13. Instituto de Astrofísica de Canarias: <http://www.iac.es/servicios.php?op1=28>.

7. SOBRE EL AUTOR

Josep M. Ollé Martorell es ingeniero técnico en electrónica industrial. Técnico municipal del alumbrado público de Reus, profesor asociado de Luminotecnia en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad Rovira y Virgili de Catalunya, delegado del Comité Español de Iluminación en Cataluña; miembro activo de Celfosc, Asociación contra la contaminación lumínica; y miembro fundador de Tecnicat, Asociación de técnicos al servicio de la Administración.

Publicado originalmente en la revista Electra.



EL LADO
OSCURO
DE LA LUZ
CONTA-
MINACIÓN
LUMINICA

POSTPRODUCIR LA NOCHE, UNA REFLEXIÓN SOBRE EL DETERIORO URBANO DEL PAISAJE NOCTURNO

José Parra

La luz eléctrica ha creado el espacio sin muros y el día sin noche. El espacio ha dejado de existir.

- Umberto Boccioni: *Manifiesto futurista*, 1910 -

1. BREVE HISTORIA URBANA DE LA NOCHE

Hasta bien entrado el siglo XIX, la noche era un tiempo no funcional. Las ciudades habían sido concebidas para satisfacer los criterios productivos del día y, por tanto, desde un punto de vista programático, lo específico de la noche era el cese de dichas funciones o, como mucho, labores muy concretas de puesta a punto que asegurasen la continuidad de las tareas que debían ser retomadas al día siguiente. De hecho, hasta la Revolución Industrial, las ciudades se cerraban al caer la noche, se aislaban por completo de la naturaleza, asegurando las puertas de los muros y las defensas que, durante el día, las mantenían conectadas con el territorio. La noche era un paisaje de toque de queda, de suspensión, de retiro que señalaba el fin de la eficacia urbana.¹

En la actualidad, nadie cuestiona la omnipresencia de la luz eléctrica, convertida ya en algo tan natural e indispensable como la luz del Sol. Tanto que, antes de su invención, apenas sí podemos imaginar cómo era realmente la noche para tantas generaciones que nos

han precedido. Podríamos suponer que la gente se iluminaba con velas, si bien, las velas, y en especial las de calidad, las de cera de abeja, eran un producto de lujo al alcance de muy pocos. Es difícil recrear mentalmente un espacio doméstico premoderno porque ni siquiera en su representación cinematográfica, hasta la proeza técnica del Barry Lyndon de Stanley Kubrik (1975), apenas se había concebido una fotografía medianamente fiel a la luz original de aquellos siglos. Pero incluso los interiores del XVIII, narrados con tanta precisión por Kubrick, ni siquiera son representativos de su tiempo.

A pesar de lo tenue de sus ambientaciones, aquéllas eran las estancias de las clases altas. Comparadas con las viviendas del pueblo llano, las iglesias y los palacios de los poderosos irradiaban una luz cegadora porque, como ha escrito Antonio Muñoz Molina, ésta contrastaba con la oscuridad en la que sobrevivía casi todo el mundo. “En los palacios los espejos multiplicaban el resplandor; en las iglesias, el oro de los retablos. Durante una gran parte de la historia humana, la noche ha sido una tiniebla sólo traspasada por la luz de las hogueras, por la llama solitaria y móvil de una lámpara, por la claridad de la luna llena, que revela los volúmenes pero no los colores de las cosas”.²



Fotograma de Barry Lyndon, 1975.

En su reciente ensayo *Brilliant, The Evolution of Artificial Light*,³ una rigurosa y apasionante historia de la luz artificial, Jane Brox ahonda en este aspecto demostrando que la iluminación, aparte de un problema de tecnología ha sido siempre una cuestión de estatus social. Como esta autora documenta con exhaustividad, las clases más desfavorecidas apenas si podían acceder a fuentes de luz de dudosa calidad y desagradable olor: mechas vegetales, grasas animales y pequeños fuegos como los de la cocina que, además de calentar, en muchas ocasiones, constituían la única iluminación del hogar. Eran fuentes inestables y peligrosas, focos de habituales incendios, cuya extinción, por razones de seguridad, se decretaba poco después del anochecer. Por ello, no es de extrañar que en algunos idiomas la expresión “toque de queda”, como en inglés, *curfew*, procedente del francés antiguo *covre-feu*, signifique, literalmente, “cubrir, apagar el fuego”.⁴

Las lámparas de gas y, posteriormente, las farolas eléctricas cambiaron para siempre esta relación de estados sociales cuyos modelos, alterados tras la Revolución Francesa, evolucionaron precipitadamente

en el siglo XIX. Así, es posible rastrear dicha evolución en la propia historia del alumbrado público ya que, con la posibilidad de desplazarse por la noche en condiciones de seguridad, la ciudad iluminada redefinió por completo el concepto de lo urbano.

El alumbrado público trajo consigo una nueva urbanidad. Subrayaba el poder planificador de la ciudad formal surgida tras la Revolución Industrial, cuyo ejemplo paradigmático fue el París del Segundo Imperio. Para los ingenieros del barón Haussmann, la luz de las farolas dispuestas regularmente a ambos lados de la calle era, ante todo, una estrategia para garantizar el orden público.

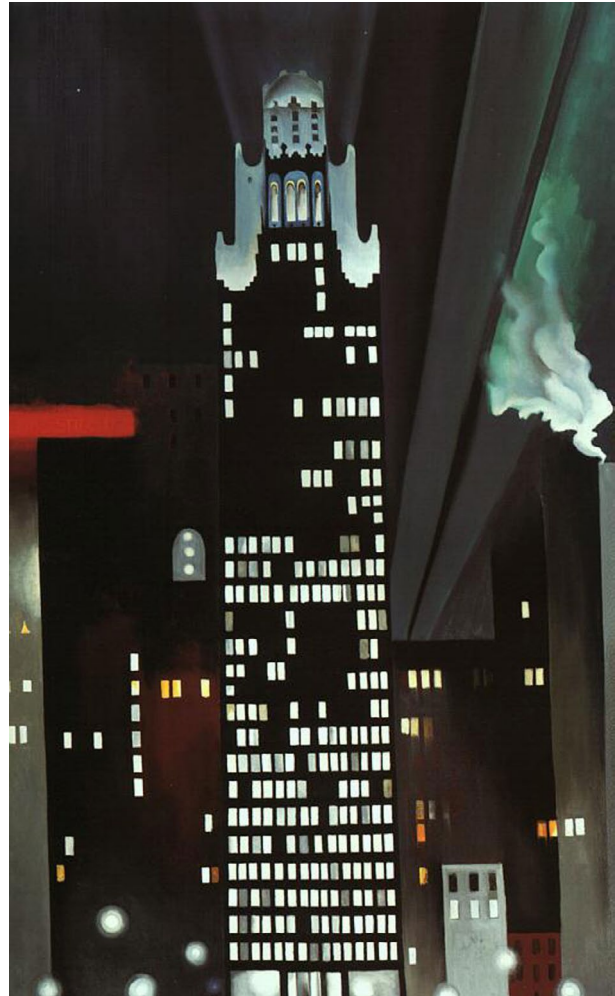
El mobiliario urbano vino a sustituir muros y barreras como instrumentos de control.⁵ Como señala Marc Armengaud,⁶ el alumbrado expresa la idea del bulevar, de la avenida como sistema de infraestructuras integradas: el centro se ha desplazado desde las plazas históricas hasta una red de circulaciones ordenadas que conectan con la periferia. El bulevar surge también con una voluntad civilizadora: busca mantener ocupada a la población burguesa para que, al comenzar a disfrutar de



Camille Pissarro: Boulevard Montmartre, effet de nuit, Paris, óleo sobre tela, 1897.

su tiempo libre, cese en su beligerancia contra el poder establecido. El bulevar iluminado brinda el soporte a un proyecto de sociedad que se expresa a través de formas nuevas y difusas de ocio como cafés, teatros, galerías y pasajes comerciales que sustituyen definitivamente a la plaza de la iglesia.

El modelo del bulevar será tan exitoso que, rápidamente, se extenderá por todas partes. El glamur y el magnetismo de la noche iluminada incidirán en la condición cosmopolita de las grandes urbes que, con la llegada del alumbrado eléctrico, pugnarán por diferenciarse obsesivamente en su propia personalidad nocturna. Casi al mismo tiempo, en el Nuevo Mundo, el ímpetu capitalista producía otra tipología marcada por el espíritu de la época, el rascacielos y, tras su invención, la trama moderna se verá colmatada con edificios corporativos que rivalizarán en iluminación artificial con objeto de reafirmar su presencia tutelar durante la noche.



Georgia O'Keeffe: The Radiator Building at Night, Nueva York, óleo sobre tela, 1927.

Fritz Lang: Times Square, fotografia de 1923.





Brinkman & Van der Vlugt: Fábrica Van Nelle, Róterdam, 1927, fotografía de Evert Marinus van Ojen, 1930.

Las vanguardias artísticas tomaron buena nota de estas nuevas escenografías urbanas. La fotografía de Fritz Lang de Times Square en 1923, realizada mediante doble exposición, y en la que el director se inspiraría para las escenografías de su película *Metrópolis* (1927), demuestra la fascinación que la modernidad, una vez entrado el siglo XX, sintió por la iluminación artificial como símbolo de progreso tecnológico. Podría decirse incluso que el proyecto de la ciudad moderna surge desde la consideración de la luz eléctrica como material de construcción, partícipe de la estructura de la misma y de la imagen de sus edificios, cubiertos de textos y anuncios luminosos, hasta el punto de que, como ya escribiera Hugo Haring en 1925, éstos funden el suelo con el cielo, han dejado de tener fachada.

Finalmente, con la aparición de la luz fría del neón y las lámparas fluorescentes de estructura tubular, mostradas por primera vez al público en la Feria Internacional



Illumination News, portada de 1932.

de Nueva York de 1939, este énfasis en la rotulación abrió otras formas de expresión que, más allá de su novedad como instrumento técnico, operaron una nueva transformación urbana relacionada con la movilidad y la gran escala de las infraestructuras. Desde los años 30, en los Estados Unidos, sistemas urbanos específicamente nocturnos como el *strip* cuestionaron todo modelo precedente de ciudad para reconstruir la urbanidad de la noche a partir de ejes de tráfico rodado. El *strip* surge como un paisaje de símbolos entretreídos en la hipertrofia de vallas publicitarias y el amontonamiento de carteles que de día se diluyen en un caos formal pero que, tras ponerse el sol, vuelven a hacerse legibles en su riqueza de significados. Reclamos luminosos de hoteles, casinos o estaciones de servicio que afirman cada noche sus funciones: el comercio, el movimiento y la información, dotando al territorio de una complejidad socio-espacial que, en el fondo, y como escribieran irónicamente Robert Venturi y Denise Scott Brown en su ya clásico *Learning*



Los Ángeles, escenografía nocturna frente al Chinese Theater para el estreno de la película Hell's Angels, de Howard Hughes, 1931.



Denise Scott Brown, Fremont Street, Las Vegas, 1966.

from Las Vegas (1972), no distaba mucho de la articulación simbólica de las densas acumulaciones arquitectónicas y escultóricas del foro romano.⁷

Con la invención de las pantallas de LED, esta densidad de dispositivos narrativos, de multiplicidad de capas de información, está reconfigurando el urbanismo espectáculo de las más influyentes postmetrópolis asiáticas; ciudades genéricas, como Shanghái o Tokyo, donde la proliferación de fachadas digitales crea un paisaje numérico, tan poderoso y efectivo en su estrategia de simulación que se mantiene incluso encendido durante el día, desactivando por completo cualquier intento de diferenciar funcionalmente entre las lógicas espaciales del día y de la noche.

Ahora, aquella indefinición de la que hablaba Haring, sublimada en la multiplicidad de emisiones lumínicas de la ciudad contemporánea, se ha convertido en contaminación, en una opacidad autorreferencial que confina la visión en sus propios límites, que bloquea la relación histórica del ser humano con la bóveda celeste y atrapa sus anhelos en la inmediatez del consumo de masas. La visión nocturna de la Tierra desde el espacio es un elocuente mapa geopolítico donde las desigualdades socioeconómicas entre el norte y el sur se expresan a través del contraste entre el negro de los océanos, la oscuridad del vacío terrestre y el resplandor del sodio de las grandes conurbaciones industriales del planeta.

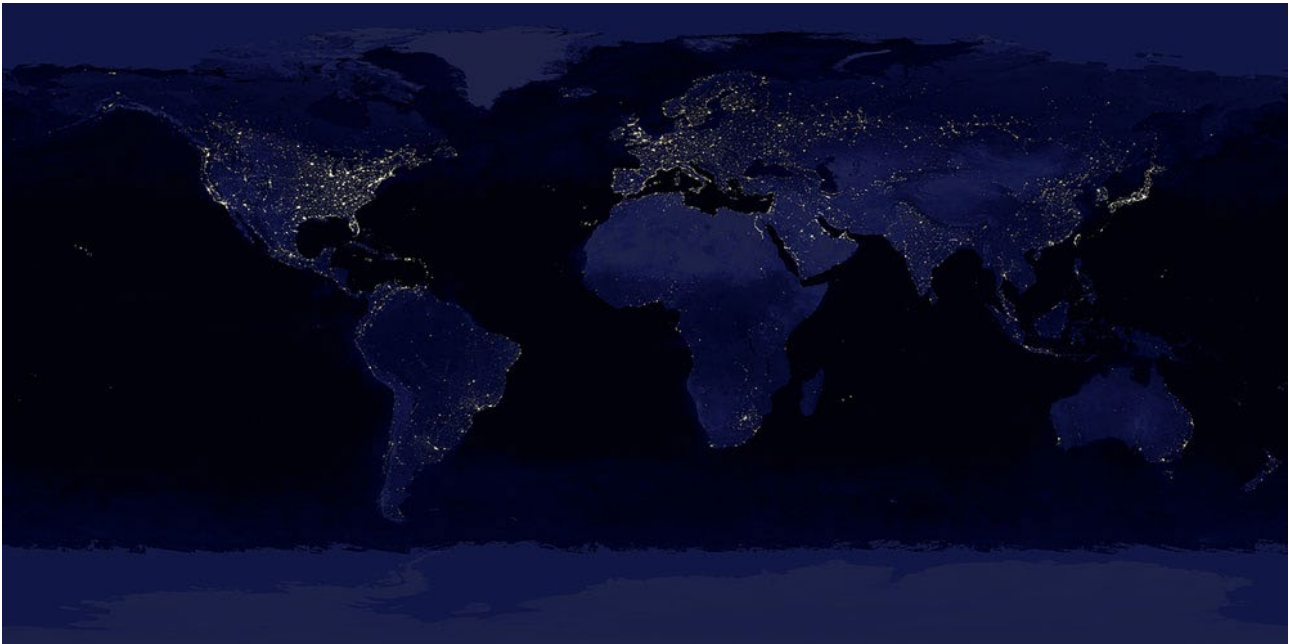


Imagen nocturna de la tierra tomada desde satélite. NASA, catálogo Visible Earth: Earth's City Lights.

Considerando la violencia de la polución nocturna como reflejo de otras formas más profundas de deterioro, la invitación del Museo de la Ciencia y el Agua del Ayuntamiento de Murcia, para participar con un texto crítico en el catálogo de la exposición *El lado oscuro de la luz*, brinda la oportunidad de revisar, desde su puesta en valor, algunas de las cuestiones –en especial las referidas al deterioro urbano del paisaje nocturno– abordadas por el proyecto de investigación denominado *Entropy City, una visión del deterioro (Escenarios y estrategias para la sostenibilidad en la ciudad del siglo XXI)*, llevado a cabo en esta misma ciudad hace poco más de cuatro años por encargo, precisamente, de otra Administración local. Dicho proyecto surgió en el marco del *Taller para la Innovación Social y el Desarrollo de Productos y Servicios Arquitectónicos Sostenibles*, auspiciado desde la Consejería de Cultura de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia y donde, además de éste, se desarrollaron otros seis proyectos con el propósito de elaborar una propuesta en diversos formatos que diera visibilidad a la innovación y al compromiso por la sostenibilidad de la Región de Murcia.⁸

Entropy City, una visión del deterioro fue codirigido por el autor de este texto junto a los arquitectos Lola Jiménez y Fernando de Retes. Se trataba de un proyecto multidisciplinar⁹ que definía su propio marco teórico en torno al concepto de deterioro, avanzaba diversas estrategias de intervención urbana y, finalmente, entre diversos escenarios para la acción, profundizaba en el deterioro del paisaje nocturno de nuestras ciudades proponiendo una experiencia participativa que abriera otras formas de entender e intervenir sobre el alumbrado público.

2. MARCO CONCEPTUAL Y CONSIDERACIONES TEÓRICAS

Desde una voluntad globalizadora del problema, el proyecto comenzó con un análisis taxonómico del deterioro de la ciudad, entendiendo ésta como espacio físico, político y social. A partir de la evaluación de los costes energéticos, económicos y sociales del deterioro se

detectaban otras formas más sensibles de actuar sobre él, señalando sistemas de ahorro asociados al preservar un determinado umbral o nivel mínimo de orden capaz de mantener operativo un entorno urbano sin merma de información y, por tanto, de reducir la presión de nuestras ciudades sobre el medio natural. Paralelamente, se trataba de propiciar un cambio de mentalidad frente al concepto de desarrollo para que, desvinculado de la idea de crecimiento, el deterioro pudiera ser percibido como un territorio de oportunidades, y las soluciones a los problemas asociados al mismo como procesos cada vez menos reglados y esperanzadores.

La raíz del proyecto era doble. Por un lado, la investigación, el diseño, la experimentación y la eventual patente de un sistema de base tecnológica destinado a mejorar la gestión de las infraestructuras urbanas. Por otro lado, la activación social de un uso eficiente, responsable y democrático del espacio público. Ambas condiciones supondrían un impulso creativo en la generación de nuevos servicios y estímulos con los que redefinir los entornos y ambientes de la ciudad del futuro. En este sentido, este proyecto dibujaba el escenario de un nuevo paisaje urbano donde la materia dejara paso a la información en una suerte de “ciudad desmaterializada”. Para lograr este objetivo era necesaria una nueva gestión del desarrollo de nuestras ciudades basado en flujos de información más que en el flujo de materiales. De hecho, la aplicación de los avances tecnológicos existentes permite pensar en un modelo de gestión diferente que encierre en sí mismo las claves de un urbanismo nuevo, más flexible, participativo y alejado de los modelos tradicionales de anticipación forzada o de soluciones mayoradas como respuesta a problemas concretos, lo cual resulta especialmente llamativo y costoso en el caso del alumbrado público.

3. LA CIUDAD Y EL DETERIORO DE LOS FLUJOS (ENERGÍA, INFORMACIÓN, MATERIA)

La civilización se esfuerza globalmente por generar orden, es decir, entropía negativa. La entropía¹⁰ con signo positivo implica deterioro, degradación, pérdida de información y de utilidad. En un mundo regido implacablemente por la Segunda Ley de la Termodinámica, ir en contra de la entropía exige un mantenimiento constante. Así, el mantenimiento puede definirse como el esfuerzo colectivo de la humanidad, desde las primeras civilizaciones hasta nuestros días, para conservar operativo cualquier entorno habitado. Toda actuación o dispositivo humano que funcione, desde la agricultura, las infraestructuras o la propia arquitectura, lo hace en virtud de una continua aportación de energía. Aunque esta energía es extremadamente valiosa, no es difícil constatar cómo nuestras ciudades, debido a un diseño y una gestión ineficientes de sus infraestructuras, dedican enormes cantidades de tiempo, dinero y energía a tareas de mantenimiento que, en general, no abordan más que cuestiones superficiales o cortoplacistas, desperdiciando recursos sin llegar a resolver cuestiones estructurales o problemas de fondo. En este sentido, pueden plantearse algunas preguntas clave:

¿Puede la sociedad experimentar un desarrollo conteniendo los inevitables costes del mantenimiento de sus sistemas, priorizando esfuerzos y renunciando a lo superfluo?

Con el propósito de incrementar el grado de sostenibilidad y de ecoeficiencia de nuestras ciudades, ¿pueden existir ciertos niveles de deterioro asumibles socialmente? O, mejor, ¿pueden invertirse socialmente los valores asociados al deterioro de modo que aquello que actualmente se considera inadmisibles, como el deterioro material, deje de ser una preocupación central frente al deterioro de otros parámetros como la contaminación lumínica?

¿Puede propiciar esta asunción no sólo el ahorro de recursos materiales y energéticos, sino también la obtención de mayores niveles de confort, cohesión social,

transparencia de la función pública e, incluso, yendo más allá, de nuevos estímulos intelectuales en nuestro entorno?

La ecuación sería: cuanto menos cantidad de materia, cuantos menos objetos sean necesarios para que las ciudades mantengan operativos sus entornos, menor será el deterioro, requiriéndose menos mantenimiento y, por tanto, menos aporte de energía. Se trataría, pues, de minimizar o, incluso, de invertir los objetivos en la lucha contra el deterioro para integrar este esfuerzo en las estrategias de ahorro energético. Para ello, además de una condición de diseño previa sobre las infraestructuras urbanas, sería necesario transferir la iniciativa a los ciudadanos, promoviendo su participación directa en una nueva definición funcional y socioespacial de la ciudad.

La serie de proyectos, entre los que se incluye el de alumbrado público interactivo, que serán descritos más adelante como aplicación de las ideas planteadas en esta reflexión sobre la ciudad, apuesta por las tecnologías apropiadas (TIC –tecnologías de la información y la comunicación: telefonía móvil, redes wimax, georreferenciación, etc.–) como medio para generar ambientes urbanos que favorezcan la interacción del ciudadano con las infraestructuras públicas, proponiendo así una nueva relación entre lo público y lo privado, entre las instituciones con sus sistemas de gestión de recursos y los usuarios de dichos recursos.

La transferencia de responsabilidad conlleva una mayor concienciación del ciudadano, ya que uno de los aspectos intrínsecos a la búsqueda de soluciones a la problemática medioambiental es la dificultad para comunicar de manera efectiva dicha problemática. Un modo de propiciar esta comunicación sería mediante la autoconcienciación a través de la asunción de responsabilidades individuales. Más aún en el caso de varios de los parámetros que no son todavía asumidos socialmente como deterioro, como ocurre con la contaminación lumínica de nuestras ciudades, mientras que, por el contrario, procesos de deterioro material poco representativos en términos de merma de operatividad son considerados inadmisibles.

Precisamente, por requerir un mayor esfuerzo de abstracción, entre todas las categorías del deterioro, el trabajo se centró en el deterioro de lo inmaterial y, más concretamente, en el deterioro de

los flujos. Contaminación lumínica, del aire, acústica, electromagnética, aumento de temperatura, ruido informativo o pérdida de información, intrusiones publicitarias en el espacio privado, aceleración del ritmo de vida, etc., todas estas formas de deterioro pasan relativamente desapercibidas, tanto para las instituciones como para el usuario del espacio público. Por ello, a través de varias acciones, exposiciones e iniciativas públicas, fue objeto del proyecto tratar de sensibilizar al ciudadano respecto a la magnitud y prioridad de estos problemas ambientales, pero también a las instituciones responsables, instándolas a la conceptualización y adecuada gestión de los mismos.

4. ESTRATEGIAS: EFICACIA, EFICIENCIA Y RESILIENCIA

Los ciudadanos soportamos como inevitables numerosas situaciones que son causa o efecto del deterioro del medio urbano que habitamos; no siempre somos conscientes de dicho deterioro o lo asumimos como el precio que debe pagarse por el nivel de progreso del que disfruta nuestra sociedad.

El acceso selectivo a múltiples capas de información sobre la ciudad posibilitaría una navegación basada en la intuición natural más que en la lectura forzada y forzosa de las señales.

Pero para lograr este objetivo es necesario actuar simultáneamente en tres niveles diferentes a través de tres estrategias diferenciadas:

Condición política: son las administraciones las que se ocupan de gestionar las infraestructuras de las que disfruta el ciudadano, así como de gestionar los fondos públicos que las hacen posibles. Tienen la responsabilidad de conseguir el máximo grado de desarrollo con la máxima economía. Puede denominarse **eficacia** a esta estrategia por la que la Administración pone en funcionamiento los sistemas necesarios.

Condición tecnológica y de diseño: es necesario minimizar los costos y optimizar los resultados mediante la utilización de componentes tecnológicos apropiados para

conseguir los fines perseguidos. Se trataría de **eficiencia**, una condición que tiene que ver con el rendimiento de los sistemas de gestión de los servicios públicos y del diseño del entorno artificial.

Condición social: asumir un cierto grado de deterioro o invertir los valores asociados a éste, de modo que esta nueva conceptualización implique una optimización de los servicios públicos y la reducción de sus costes de mantenimiento. Esta estrategia puede denominarse **resiliencia**, haciendo referencia a la necesidad de que la sociedad acepte nuevos estándares de confort, más apropiados con la situación energética actual. Esta estrategia incidiría en la dimensión social de la sostenibilidad antes que en cualquier otra condición tecnológica.

Los escenarios de futuro generados por este proyecto apuntaban a un nuevo modelo de gestión urbana donde el ciudadano pudiera interactuar libre y democráticamente con el espacio público, convirtiéndose, además de en usuario, en gestor de sus infraestructuras, tomando decisiones sobre ellas directamente, sin intermediarios. Insistiendo en la necesidad de transferencia de responsabilidad y construcción de una ciudadanía informada, podría aventurarse un menor consumo energético, lo cual redundaría en la calidad urbana y en nuevas posibilidades de uso del espacio público.

En este escenario de responsabilidad, es el usuario quien configuraría su propia visión de la ciudad, adaptándola a sus necesidades y actuando en consecuencia. Se exigiría, por tanto, la participación directa de ciudadanos informados, lo que, consecuentemente, requeriría de un posicionamiento político ante la situación de los entornos donde viven.

Mediante la apropiación por parte del ciudadano de los medios tecnológicos a su alcance, éste podría comenzar a generar información. Disponiendo de una red de sensores ligados al ciudadano, a través de su terminal móvil, se establecería una red de datos cambiantes y generados por el propio usuario, mapeando la ciudad con multitud de capas de información. Esta información, suministrada por los ciudadanos, podría serles devuelta amplificada por la suma de datos aportados por otras personas que utilizan en red el mismo sistema, generándose en tiempo real una cartografía operativa completa de su entorno que

podría incluir: datos sobre la iluminación, contaminación atmosférica o sobre el nivel de ruido; sobre los niveles de ácaros o de polen en el aire; sobre el movimiento de vehículos o de peatones; sobre el clima; sobre eventos culturales, datos y alertas de todo tipo.



Esquema de gestión de información y producción de conocimiento en tiempo real.

En lugar de poblar la ciudad con más elementos destinados a generar información, la idea que se avanzaba desde este proyecto es que sea el terminal móvil, dotado de sensores específicos –ya disponibles o previstos a corto plazo en el mercado–, la interfaz de conexión con este tipo de redes para enviar y recibir información sobre el entorno en tiempo real. Así, el ciudadano podría navegar por esta “realidad aumentada” tomando decisiones en una suerte de “postproducción” de la información, de manera análoga a como actúa el artista semionauta de Nicolas Bourriaud. El “urbanauta” proporcionaría información que el sistema le revertiría en forma de conocimiento, gracias al cual podría modificar sus decisiones para actuar directamente en beneficio suyo y de su entorno.

En la actualidad, numerosas empresas y centros de investigación, entre los que cabe destacar el Senseable City Lab del MIT, investigan sobre redes inteligentes y desarrollan experiencias piloto que apuntan hacia la inminencia de las *smart cities*; es decir, están anticipando cómo las tecnologías digitales irán cambiando paulatinamente el modo en que los ciudadanos viven y se implican a diferente escala en el funcionamiento y mejora de su hábitat urbano.

En el escenario de futuro descrito, donde la participación responsable de la ciudadanía en la construcción de un nuevo concepto de espacio público, así como el empleo de las herramientas tecnológicas oportunas sería clave, es posible definir una serie de proyectos a través de los que visibilizar el enorme campo de oportunidades que supondría intervenir sobre el actual deterioro de los flujos: Proyecto Aire (referido a la contaminación aérea de nuestras ciudades, proponía acciones de visibilización de datos de contaminación en tiempo real para activar la concienciación social y, de este modo, favorecer la mejora de la calidad del aire y la reducción de emisiones de CO₂); Proyecto Clima (se trataría tanto de informar sobre las cualidades climáticas de los diferentes puntos de la ciudad como de mostrar los efectos que tienen los elementos de control instalados para su monitorización sobre la propia ciudadanía; entre sus objetivos estaban la mejora de las condiciones de confort del espacio urbano público y la disposición de mecanismos de control de luz solar, efecto albedo, calor y humedad, así como el control sanitario de sus variables); Proyecto Tiempo (considerando la pérdida del mismo como otra forma de deterioro urbano, se proponía la mejora de la movilidad urbana mediante sistemas de información del transporte público, movilidad peatonal y localización de aparcamientos; se trataba, además, de incidir en la materialización de la ciudad y, por tanto, en la eliminación de objetos superfluos y reducción de los costes energéticos derivados de su producción material); Proyecto Info (incidía en el deterioro de la información en la ciudad, especialmente en lo referido al ruido visual y proponía la mejora de la misma mediante la eliminación de distorsiones que apelaban a la interacción de la ciudadanía, aportando al espacio urbano efectos y atmósferas participativas generadas por sus usuarios); y, finalmente, el Proyecto Noche, que se expondrá a continuación como ejemplo de aplicación de la teoría descrita a una propuesta concreta de intervención urbana.

5. PROYECTO NOCHE: LA CIUDAD POSTPRODUCIDA

Partiendo de las consideraciones expuestas acerca del deterioro físico, político y social del paisaje de la noche, se proponía actuar sobre la iluminación artificial de la ciudad para que, más allá de acomodarla a las necesidades estrictas de cada momento, ayudase a construir una urbanidad genuinamente nocturna con la que superar las limitaciones espaciales impuestas por las leyes de la funcionalidad y el intercambio. En este sentido, la reflexión acerca de lo específico de la noche, lo efímero, lo frágil, lo espontáneo, sugería la formulación de un nuevo paradigma de sociabilidad marcado por los siguientes objetivos:

1. Por una parte, la recuperación del paisaje y la dimensión cultural del cielo nocturno, que tan decisivo ha sido en la conformación del pensamiento simbólico del ser humano. La pérdida de los valores perceptivos de la noche en la ciudad contemporánea e incluso en sus periferias, donde las estrellas o las fases de la Luna se han convertido en presencias accesorias, ha llegado a ser tan alarmante que, en 2004, la Unesco catalogó la bóveda celeste como Patrimonio de la Humanidad con el fin de detener su deterioro por efecto de la iluminación artificial.
2. Por otra parte, la reducción del consumo energético asociado al alumbrado público. Si bien es cierto que éste cumple una función de seguridad, deficiencias importantes de diseño y gestión tienen, entre otras consecuencias, sobreconsumo, intrusión lumínica, deslumbramiento, dispersión hacia el cielo, etc. Por ello, se insistía en la necesidad de compatibilizar los requerimientos funcionales con soluciones plausibles a dichos problemas. La acción sería, pues, doble y tendría que ver tanto con concienciar a la población como con proponer soluciones técnicas concretas para poder reducir drásticamente los niveles de contaminación lumínica y consumo energético derivado del alumbrado público. En primer lugar, por razones de ahorro energético y económico (el 42% de la energía invertida en servicios públicos está destinada a la iluminación y el 95% de las infraestructuras de iluminación son propiedad municipal); en segundo

lugar, por razones medioambientales que abarcan desde cuestiones de deterioro de la salud pública hasta destrucción de biodiversidad, ya que la mayor parte de la actividad animal ocurre durante la noche).

3. Por último, dado que el estado nocturno estimula la flexibilidad -la ambigüedad de las sombras siempre ha representado todo aquello que va más allá de las convenciones sociales (el deseo sensual, la magia, el arte, etc.)-, se trataría de favorecer una ciudad cambiante, postproducida cada noche, que en lugar de ser la misma pudiera ser diferente en función de cada acontecimiento, de modo que cualquier variación programática en la ciudad pudiera ser leída a través del carácter de su iluminación nocturna.

Como ámbito de ensayo se propuso, sin éxito, a la Administración el ensayo práctico del modelo teórico en un municipio o área de un municipio de la provincia de Murcia.¹¹ Finalmente, el proyecto fue materializado a través de un prototipo expositivo de telegestión del alumbrado urbano que se mostró al público en una experiencia interactiva llevada a cabo en la ciudad de Murcia, en febrero de 2010, en el ámbito las actividades de difusión del *Taller para la Innovación Social y el Desarrollo de Servicios y Productos Arquitectónicos Sostenibles* (TISSPAS).

La propuesta consistió en definir un sistema de interacción entre el alumbrado público y los terminales móviles de los ciudadanos mediante el cual se pudiera regular democráticamente la intensidad lumínica de un ámbito urbano previamente delimitado. Para la descripción de dicho sistema se construyó una maqueta-simulación que resultase eficaz como herramienta didáctica en la comunicación a los visitantes interesados, a la Administración y al sector empresarial de las ideas del proyecto.

Considerando como base una iluminación mínima suficiente (que dependía de cada zona concreta), esta podía ser aumentada en función de la presencia y la voluntad de los usuarios-gestores del espacio público dentro de un determinado radio de cobertura, decidiendo la intensidad de las luminarias en función de diversos factores como la necesidad de visión, cercanía o requisitos de seguridad apuntados por cada usuario.

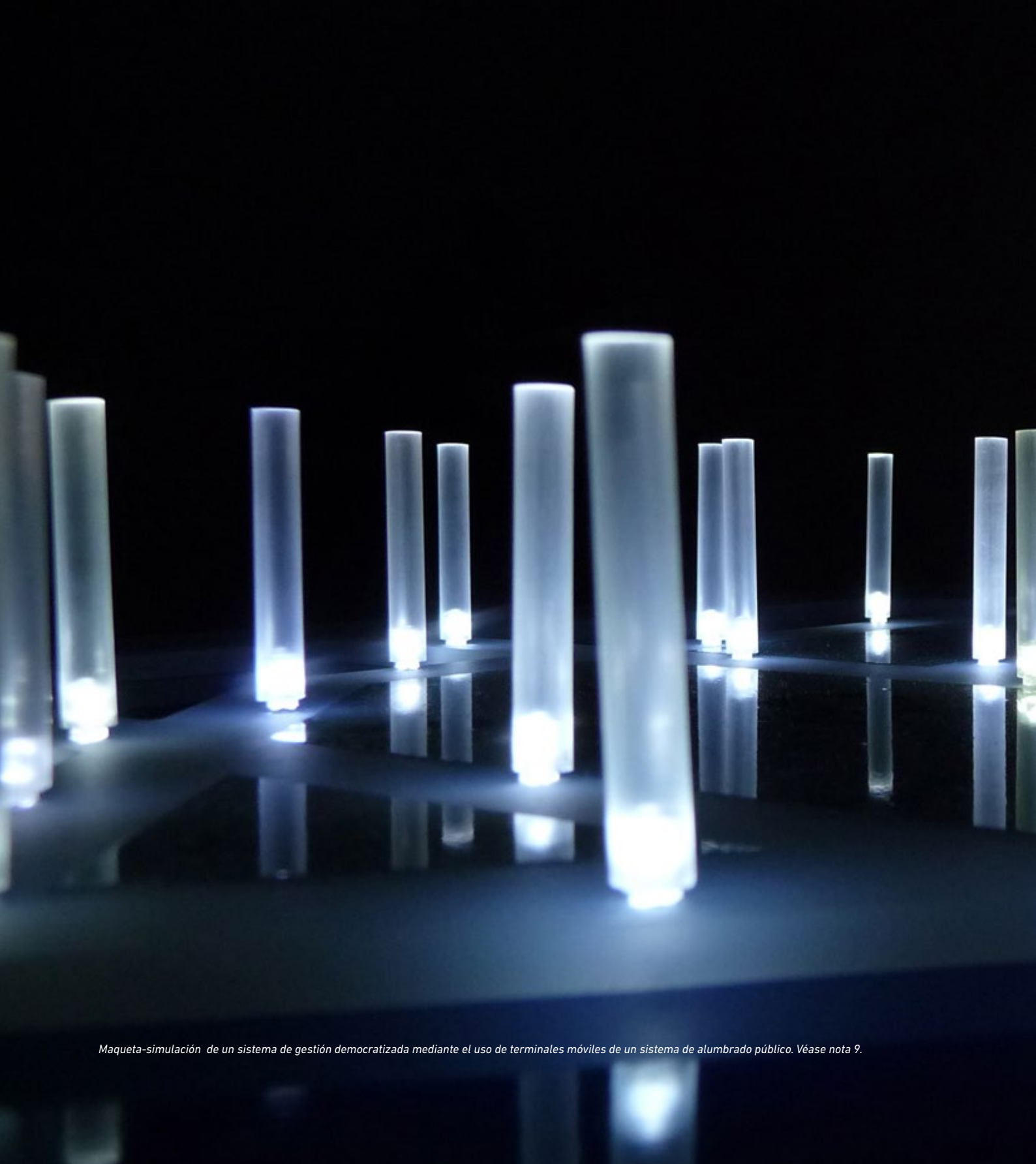


Maqueta interactiva en fase de pruebas para el TISSPAS (José Parra, Fernando de Retes et al., Murcia, enero 2010). Véase nota 9.

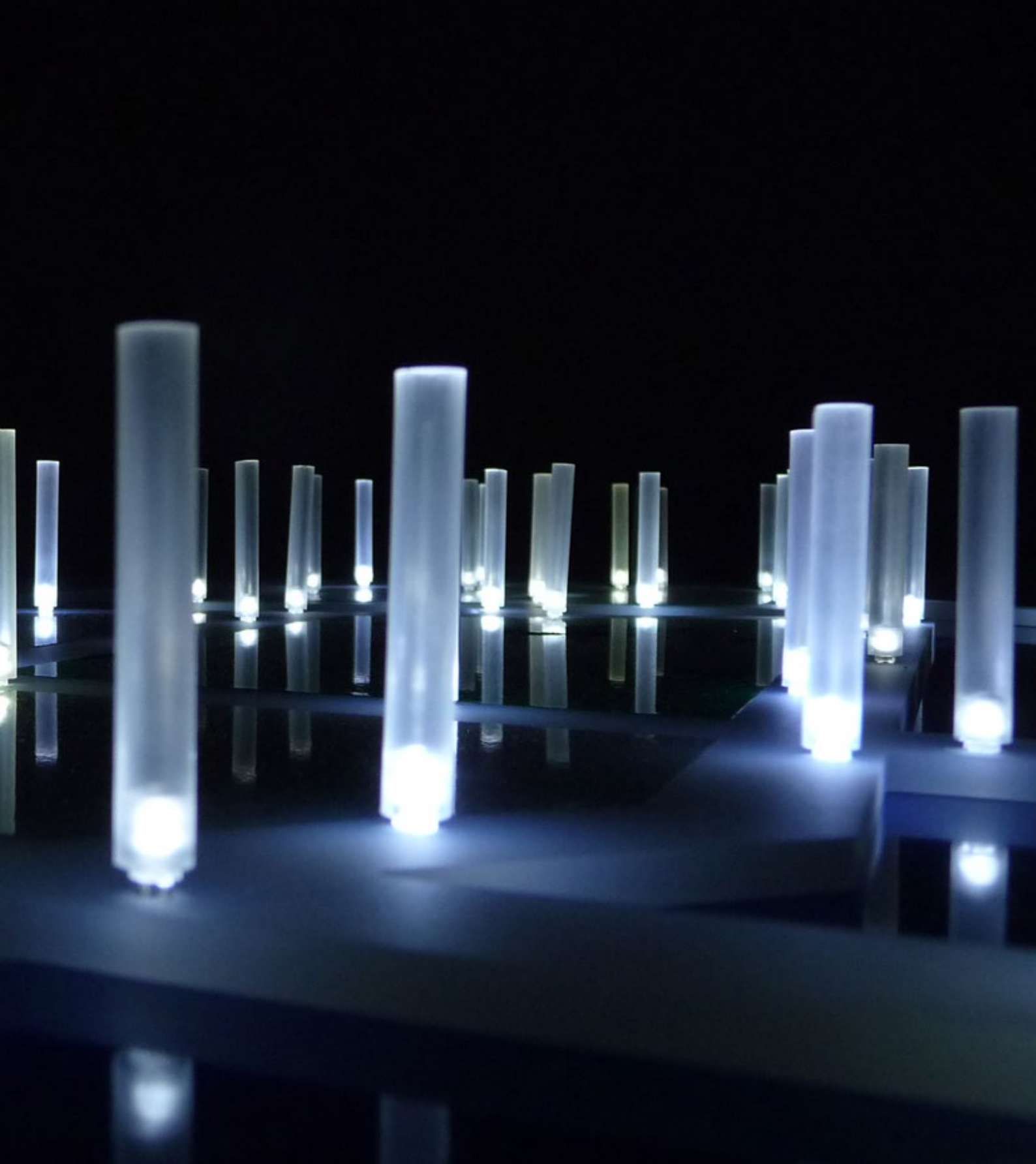
En el primer ensayo, el espacio urbano estaba representado por una maqueta y los usuarios podían interactuar gracias a su terminal móvil (cualquier dispositivo con conexión a Internet mediante WiFi ó 3G). La localización geográfica de los usuarios era un factor esencial para el funcionamiento del sistema, aunque, en su primera versión, las posiciones de los usuarios se obtuvieron de manera simulada. Aunque en la actualidad la geolocalización y el acceso a través de una aplicación móvil sería suficiente para interactuar con el sistema, en aquel momento se proporcionó a cada usuario el identificador de la red a la que debían conectarse y la dirección web utilizada como interfaz. A través de dicha página web, los usuarios podían registrarse e indicar sus preferencias –principalmente, las relativas al grado de intensidad de las luminarias, aunque existían más variables que podían ir siendo incorporadas paulatinamente–.

La web estaba almacenada en un servidor que registraba a todos los usuarios conectados simultáneamente en el sistema, sus preferencias y su localización geográfica, configurando el cuadro de mando de luminarias a partir de la extrapolación de estos parámetros. Dicho cuadro, conectado directamente a cada una de las luminarias, recibía y aplicaba las órdenes recibidas desde el servidor.

Además, en la misma página web podía consultarse también el consumo de energía generado por la utilización del alumbrado público, contribuyendo así a la visibilización de datos en tiempo real y, por tanto, a la retroalimentación de una información que podía condicionar sucesivamente el comportamiento de quienes la producían y/o accedían a ella en su deambular por la ciudad.



Maqueta-simulación de un sistema de gestión democratizada mediante el uso de terminales móviles de un sistema de alumbrado público. Véase nota 9.





Philippe Rahm: Diurnisme, instalación en el Musée National d'Art Moderne Centre Pompidou durante la exposición Aïrs de Paris, París, 2007. El arquitecto pretendía operar una inversión fisiológica y conceptual de la lógica urbana que, desde la implantación a gran escala de la luz artificial, ha ido convirtiendo paulatinamente la noche en día. Mediante la utilización de una luz amarillo anaranjada, con una longitud de onda superior a 570 nanómetros, se producía una alteración de los niveles de melatonina en el cuerpo de los visitantes que percibían justamente lo contrario, una auténtica noche a plena luz del día.

Frente al mero consumidor, la recuperación de un *flâneur* ecorresponsable y digital, abre un nuevo horizonte de oportunidades. Ésta es una línea discursiva a la que están contribuyendo, desde la reflexión proyectual, algunos de los arquitectos, diseñadores y artistas más avanzados del momento, como el suizo Philippe Rahm, pero también, y simultáneamente, hackers, trabajadores sociales, militantes ecologistas y agitadores nocturnos como los miembros de Reclaim the Streets, o los Blinkenlights, que proponen, desde la participación ciudadana, nuevas formas de reconquistar los valores de la noche para el espacio público.

Colectivos de artistas numéricos y activistas digitales, como VR/Urban (Berlín), trabajan sobre la reapropiación

del territorio urbano a través de instalaciones multimedia que visibilizan datos de participación en tiempo real. Procedentes de campos como el videoarte, la electrónica, el diseño de software o la arquitectura, sus miembros reivindican las fachadas como pantallas para la ciudadanía. Posicionándose a medio camino entre la tradición situacionista y la cultura urbana del grafiti –como ellos mismos afirman– desarrollan proyectos de investigación para potenciar las infraestructuras de la ciudad existente con nuevos medios de comunicación digital y arte interactivo. Defensores de la cultura libre, el colectivo defiende la accesibilidad y transparencia de la información, por lo que sus instalaciones tienen siempre un carácter performativo y desafiante. Entre

sus acciones reivindicativas con mayor visibilidad puede citarse *SMSSlingshot*, creada en 2009 y presentada, entre otros cuatro proyectos de pantallas urbanas en la fachada digital de Medialab-Prado (Madrid), en *La noche en blanco* 2010.

SMSSlingshot ¡Reclama las calles! convertía las fachadas en una especie de ágora donde el público podía postear sus mensajes, lanzando sus comentarios a través de un “tirachinas” digital al punto de la fachada que se quisiera, apareciendo justo allí una mancha de color con la misiva escrita en su interior.

Esa misma noche, otro de los proyectos comisariados por Medialab-Prado en el marco del taller *Open-Up* (febrero 2010), *Mimodek*, simulaba un organismo vivo que evolucionaba tomando información de bases de datos y del comportamiento de los visitantes que acudían a la Plaza de las Letras de Madrid.

En esta misma línea de trabajo, la instalación *City Sleep Light*, producida por el ingeniero, programador y artista francés Antoine Schmitt, agitaba mediante LED o video proyectores las fachadas de diferentes ciudades europeas (Bruselas, Berlín, Helsinki y Madrid), pulsando todas las luces a la vez, en un ritmo orgánico que visibilizaba los datos de la actividad socio-económica de esa ciudad en tiempo real. Exhibida en el marco del Media Facades Festival Europe 2010, con el apoyo de iMAL (Bruselas), en cada caso, la instalación sincronizaba sus luces con el pulso de la ciudad, disponible en la página web del proyecto¹² y accesible desde cualquier ordenador o smartphone conectado a Internet.

La noche constituye un campo de pruebas en el que las reglas cuentan menos que la posibilidad de jugar con los márgenes de maniobra, como subraya Alessandra Cianchetta¹³ en su atlas de nuevas prácticas de iluminación urbana. Entre la selección de éstas y otras



VR/Urban: SMSSlingshot, 2010.



Jonathan Cremieux y Marie Polakova: Mimodek, fachada digital del Medialab Prado, Madrid, 2010. Mimodek es un organismo artificial que refleja y evoluciona dinámicamente e interactivamente con la posición de los visitantes en la plaza.

propuestas contemporáneas que van más allá de hacer visible la arquitectura, hay que reivindicar, una vez más, aquellas que, como las citadas de Medialab-Prado, desde su compromiso y visión de futuro construyen ciudad y ciudadanía. Se trata, en su mayoría, de acciones temporales: festivales de luz, noches blancas, escenografías efímeras, movimientos reivindicativos, laboratorios de expresión artística, de creación; en suma, de políticas urbanas que definen una nueva frontera todavía abierta, flexible e indecisa: la noche como un paisaje contemporáneo donde casi todo está todavía por inventar.

6. NOTAS

1. Cfr. Armengaud, Marc. El paisaje nocturno como experiencia, símbolo y representación. En: Armengaud, Marc y Matthias; y Cianchetta, Alessandra. *Nightscares. Paisajes Nocturnos/Nocturnal Landscapes*. Barcelona: Gustavo Gili, 2009, p. 50.
2. Muñoz Molina, Antonio. Historia de la noche. En: *Babelia, El País*, 14 de agosto, 2010.
3. Brox, Jane. *Brilliant. The Evolution of Artificial Light*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2010.
4. *Ibid.*, p. 23.
5. De hecho, antes incluso del plan de reforma de París llevado a cabo por Haussmann, que dotó a la ciudad de su estructura e imagen actuales, durante la Revolución de Julio de 1830, el pueblo cargó contra las farolas de gas en una clara reacción contra los dispositivos urbanos que simbolizaban el orden impuesto a la ciudad.

6. Cfr. Armengaud, Marc. El paisaje nocturno como experiencia, símbolo y representación. En: Armengaud, Marc y Matthias; y Cianchetta, Alessandra. *Nightscares. Paisajes Nocturnos/Nocturnal Landscapes*, op. cit., p. 72.

7. Venturi, Robert; Scott Brown, Denise e Izenour, Steven. *Learning from Las Vegas*. Cambridge (Mass.): MIT Press, 1972, p. 117.

8. El taller, desarrollado a lo largo de los años 2009 y 2010, fue dirigido por los arquitectos José María Torres Nadal, Juan Herreros y José Antonio Sánchez Morales, quienes asumieron el esfuerzo de coordinación de todas las acciones conjuntas de sus siete proyectos de investigación.

9. El proyecto, dirigido por Fernando Retes, José Parra y Lola Jiménez, contó con la participación de los arquitectos Pablo Carbonell, Emilio Jarrín y Ginés Sabater, los ingenieros de telecomunicaciones Ricardo Domínguez y Lola Alarcón, y el ingeniero informático Francisco Bas.

10. Etimológicamente proviene del griego *entropé*, que significa "giro", "alternativa", "cambio", "transformación".

11. A pesar de que las nuevas ordenanzas sobre alumbrado público recogen paulatinamente el problema de la polución nocturna, es importante señalar que la provincia de Murcia es uno de los territorios con mayor polución lumínica de la Unión Europea.

12. <http://www.citysleepight.com/>.

13. Cfr. Cianchetta, Alessandra: La ciudad de noche: la ciudad iluminada. En: Armengaud, Marc y Matthias; y Cianchetta, Alessandra. *Nightscares. Paisajes Nocturnos/Nocturnal Landscapes*, op. cit., p. 107.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AA. VV.; Ábalos, Iñaki (ed.). *Naturaleza y artificicio*. Barcelona: Gustavo Gili, 2009.

- AA. VV.; Katz, Eric; Thompson, William y Light, Andrew (eds.). *Controlling Technology: Contemporary Issues*. New York: Prometheus Books, 2003.

- AA. VV.; Latour, Bruno y Weibel, Peter (eds.). *Making Things Public. Atmospheres of Democracy*. Cambridge (Massachusetts): MIT Press, 2005.

- AA. VV.; Ortega, Lluís (ed.). *La digitalización toma el mando*. Barcelona: Gustavo Gili, 2009.

- AA. VV.; Perán Martí (dir.). *Post-it City / Ciudades ocasionales*. Barcelona: Centre de Cultura Contemporània de Barcelona y Diputació de Barcelona, 2008.

- Armengaud, Marc y Matthias; y Cianchetta, Alessandra. *Nightscares. Paisajes Nocturnos/Nocturnal Landscapes*. Barcelona: Gustavo Gili, 2009.

- Bourriaud, Nicolas. *Postproduction: la culture comme scénario: comment l'art reprogramme le monde contemporain*. París: Le presses du réel, 2004.

- Brox, Jane. *Brilliant. The Evolution of Artificial Light*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2010.

- Fernández-Galiano, Luis. *El fuego y la memoria: sobre arquitectura y energía*. Madrid: Alianza Forma, 1991.

- McQuire, Scott. The Politics of Public Space in the Media City. En: *First Monday*, nº4, revista digital con revisión por pares. University of Illinois

(Chicago), febrero 2006. Disponible en: <http://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/1544/1459>.

- Lynch, Kevin. *Wasting Away. An Exploration of Waste: What It Is, How It Happens, Why We Fear It, How to Do It Well*. San Francisco (California): Sierra Club Books, 1990 (traducción castellana: *Echar a perder: un análisis del deterioro*. Barcelona: Gustavo Gili, 2005).

- Martínez Mindeguía, Francisco. Georgia O'Keeffe, American Radiator Building, 1924. En: *Arquitectura en dibujos exemplars*. Sant Cugat del Vallès: Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès, 2012. Disponible en: http://etsavega.net/dibex/OKeeffe_Radiator.htm.

- Neumann, Dietrich. *Architecture of the Night. The Illuminated Building*. London: Prestel, 2002.

- Parra, José; Jiménez, Lola y De Retes, Fernando. Escenarios del Deterioro / Entropy City: A Vision of Deterioration. En: AA. VV.; Torres Nadal, José María; Sánchez Morales, Juan Antonio y Hernández, Yaiza (eds.). *TISSPAS. Taller para la Innovación Social y el Desarrollo de Servicios y Productos Arquitectónicos Sostenibles*. Murcia: Centro de Documentación y Estudios Avanzados de Arte Contemporáneo (Cendeac), 2010, pp. 114-128.

- Saint-Exupéry, Antoine. *Vol de nuit*. Paris: Gallimard, 1931 (traducción castellana: *Vuelo nocturno*. Madrid: Anaya, 2000).

- Venturi, Robert; Scott Brown, Denise e Izenour, Steven. *Learning from Las Vegas*. Cambridge (Mass.): MIT Press, 1972 (traducción castellana: *Aprendiendo de Las Vegas: el simbolismo olvidado de la forma arquitectónica*. Barcelona: Gustavo Gili, 2008).

- Serres, Michel. *Le contrat naturel*. Paris: François Bourin, 1990.

- Virilio, Paul. La ville surexposée. En: *L'espace critique*. Paris: Christian Bourgeois, 1984.

8. PÁGINAS WEB SELECCIONADAS

- <http://www.antoineschmitt.com/>.

- <http://www.imal.org/en/activity/mff-2010-city-sleep-light>.

- <http://www.luzinterruptus.com/>.

- <http://medialab-prado.es/>.

- <http://nomada.blogs.com/jfreire/>.

- <http://www.philipperahm.com/>.

- <http://senseable.mit.edu/>.

- <http://www.sostenibilidad-es.org/>.

- <http://www.um.es/cieloscuro/>.

- <http://www.vrurban.org/>.

9. SOBRE EL AUTOR

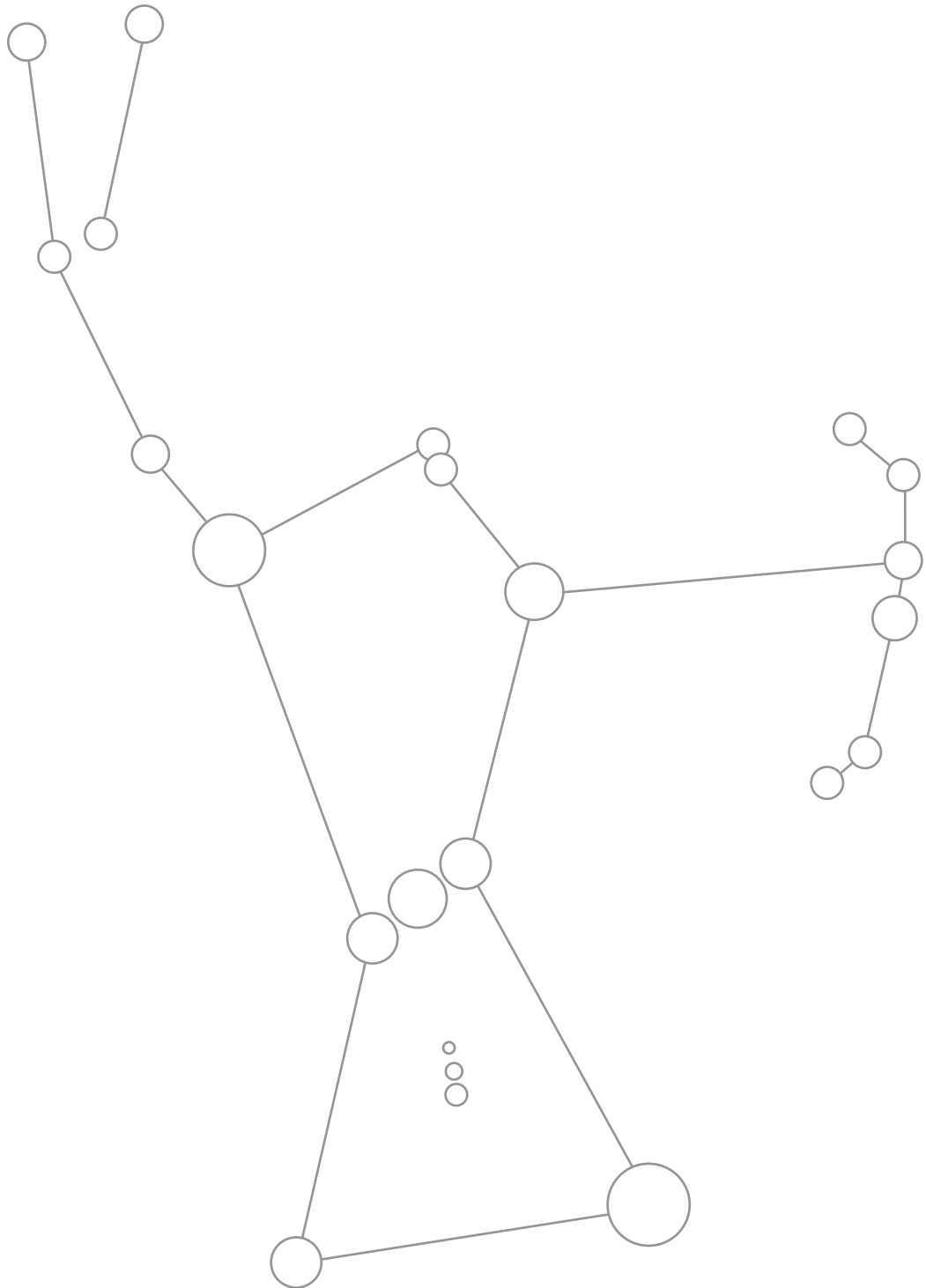
Arquitecto (2000) y Doctor Arquitecto (2012) por la Universidad Politécnica de Valencia, es Profesor de Composición Arquitectónica en el Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía de la Universidad de Alicante.

En la actualidad compagina su labor docente e investigadora con la actividad profesional y la gestión cultural.

Ha sido miembro de la Comisión de Cultura del Colegio Oficial de Arquitectos de la Comunidad Valenciana (2004 y 2006) y asesor técnico del Área de Cultura del Colegio de Arquitectos de Murcia entre 2007 y 2010.

Fue, junto a Fernando de Retes, codirector de uno de los siete talleres experimentales del *Taller para la Innovación Social y el Desarrollo de Productos y Servicios Arquitectónicos Sostenibles del Observatorio del Diseño y la Arquitectura* de la Región de Murcia (2009-2010).

Ha impartido conferencias en diversos foros académicos nacionales e internacionales, como la Universidad Católica de Santiago de Chile, la Universidad Santa María de Valparaíso, la Universidad del Sur de California o la Escuela de Arquitectura de la Universidad Autónoma de México.



EL LADO
OSCURO
DE LA LUZ
CONTA-
MINACIÓN
LUMINICA

¿EXISTIERON ALGUNA VEZ LAS ESTRELLAS?

Fernández Martínez, F.

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

“Las personas de las generaciones futuras tienen derecho a una Tierra indemne y no contaminada, incluyendo el derecho a un cielo puro”.

Declaración Universal de los Derechos Humanos de las Generaciones Futuras.
Unesco y Equipe Cousteau. La Laguna, Tenerife. 1994.

1. ECOS DEL PASADO, SINFONÍA DEL FUTURO

En alguna ocasión puede que se haya planteado cómo se produce el nacimiento de una afición, la cual quizá, con suerte, paciencia y buenas dosis de esfuerzo y compromiso personal, acabe derivando en una vocación científica consolidada o, al menos, en un interés fuertemente arraigado y en una verdadera pasión por conocer más y más sobre un determinado tema.

Es complicado responder a esta cuestión pero, en mi opinión, las experiencias vividas en la niñez van a conformar las actitudes del adulto y entrarán a formar parte de su acervo cultural. Ciertamente que en la vida ocurre, como “ojos del Guadiana”, que aparecen y desaparecen apegos hacia determinados intereses; pero casi siempre permanecen, aunque sea ocultos, esperando la ocasión propicia para volver, siempre queda la “semilla” lista para germinar.

¿Qué nos impulsa en la infancia a levantar los ojos y mirar por primera vez la bóveda celeste?, quizá una noche cualquiera nos sentimos intrigados por esas brillantes lucecitas de colores que resplandecen en la oscuridad del cielo que vemos desde la ventana o el balcón, y no hallando respuesta, preguntamos a nuestros mayores,

puede que a los abuelos. Y observamos que algunas de ellas, muy brillantes, se mueven entre las demás; hemos descubierto las estrellas “errantes”, los planetas, y esa curiosidad va en aumento y buscamos, consultamos libros a nuestro alcance. Es posible que nos distraigamos mirando hacia arriba, incluso andando por la calle de mano de nuestra abuela: “vas a tropezar, deja de mirar el cielo”, nos habrían reprendido. Y seguimos dibujando, recopilando datos pacientemente, imaginando, soñando...

Y puede que en una noche fresca de verano, tras una excursión, ya convertidos en padre o madre, llevemos a nuestros descendientes a un lugar resguardado, tendamos una sábana en el suelo y nos acostemos juntos mirando el cielo por el simple placer de ver la Vía Láctea. Y alguno o alguna, abrumado por la inmensidad estelar, quiera marcharse a casa, pero inmediatamente, al llegar, quiera volver de nuevo a observar y, poco a poco, abra sus ojos a esa nueva realidad que tanto nos afecta y que debería estar presente en nuestras vidas pero que, por torpeza e ignorancia, confundiendo progreso y desarrollo con irracionalidad y derroche, la humanidad está haciendo desaparecer a pasos agigantados debido a la contaminación lumínica.

¿Cuál es el embrujo que nos transporta hacia espacios infinitos y noches en calma? Posiblemente la contemplación del cielo nocturno despierte en nosotros una curiosidad innata que, desde principios de los

tiempos, ha impulsado a los humanos a mirar más allá y a formularse preguntas incesantemente. Preguntas que nos han llevado en el siglo XXI a un conocimiento inimaginable hace apenas cuatrocientos años y que se ha conseguido no sólo gracias a la tecnología cada vez más sofisticada, desde los modestos telescopios refractores de Galileo hasta el Gran Telescopio de Canarias o el telescopio espacial Hubble, sino fundamentalmente por tener a nuestro alcance un cielo nocturno de calidad, exento de contaminación lumínica, donde el firmamento puede revelar su verdadera grandeza. Este requisito fundamental está desapareciendo rápida y silenciosamente hoy en día.

Se trata de una llamada de atención, dado que la manifestación más evidente de este tipo de contaminación es el aumento del brillo del cielo nocturno haciendo desaparecer estrellas y demás objetos celestes, pero las consecuencias son mucho más trágicas, pues afecta a ámbitos como nuestra salud, el medio ambiente, la ciencia, la cultura y el patrimonio si pensamos detenidamente, algo constatado y estudiado desde hace años y desde múltiples disciplinas.

Particularmente, en los últimos treinta años, el avance de este tipo de contaminación no ha cesado de aumentar a un ritmo vertiginoso, algo que hace que nuestro planeta parezca visto desde el espacio una grotesca bola de adorno navideña iluminada artificialmente como muestran las fotos desde la Estación Espacial Internacional.

Se nos intenta convencer, y parece que hemos asumido, que es el precio inevitable por tener una buena calidad de vida, pero es una afirmación rotundamente falsa que intencionadamente intenta confundir a la ciudadanía y acallar su conciencia. La contaminación lumínica no es la consecuencia inevitable del alumbrado exterior nocturno, logro incuestionable y necesario, queremos y necesitamos salir de noche, pasear, refrescarnos, hacer todas las actividades que ahora hacemos, pero también contemplar las estrellas como antaño puesto que esta contaminación puede evitarse en su mayor parte, sí, es posible, y nada tiene que ver con vivir a oscuras ni con disminuir la visibilidad nocturna o la seguridad.

En muchos lugares, particularmente en amplias zonas de la Región de Murcia, una persona ya no es capaz de ver actualmente más allá de ciertos planetas y un puñado

de estrellas brillantes, quizá cien como máximo, ¡menos de un 10% de lo que Galileo podía ver a simple vista! De hecho, la Región se encuentra entre los territorios de la península Ibérica más afectados por la contaminación lumínica y casi la totalidad de sus habitantes viven bajo un medio nocturno contaminado en alguna medida. ¿Es lo que se entiende como “vivero” de vocaciones científicas?, ¿quizá germen de cultura? Debe decirse, más bien, que desmesurada ignorancia e irresponsabilidad.



Figura 1. Contaminación lumínica en la península Ibérica. Estación Espacial Internacional.

A la par, distintas administraciones públicas aprueban o desarrollan esperpénticas normas faltas del mínimo compromiso, voluntad y coherencia frente a este problema. Pareciera querer inventarse el “mecanismo del botijo” cuando las medidas necesarias y precisas para descontaminar lumínicamente ya son aplicadas con éxito en diversos países europeos, e incluso en algunos pueblos de España, son técnica y económicamente viables y han sido dadas a conocer públicamente en multitud de conferencias, artículos científicos y de divulgación, simposiums, congresos, etc.

Es más, la situación actual de grave contaminación se ha producido en una fracción infinitesimal de tiempo si tenemos en cuenta toda nuestra trayectoria como especie, en apenas una generación. Y cada vez somos más prisioneros de jaulas de luz que nos hacen perder nuestra conexión con el entorno, con nuestra cultura y nuestros antepasados.

Sólo un ejemplo, en nuestras universidades, durante el verano, se celebran desde hace años los Campus Científicos de Verano, una iniciativa de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, Fecyt, y el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte donde se apuesta por “el fomento de las vocaciones científicas entre los jóvenes y por este motivo, ofrece a sus participantes la oportunidad de un contacto directo con la labor diaria de los investigadores en un ambiente universitario y multicultural, que les ayudará a definir su proyección futura de estudios”. Por mi experiencia en los mismos, tras haber iniciado en el campo de la Astronomía a más de quinientas personas, menos de un 10% de los participantes, jóvenes de entre 16 y 17 años, han visto la Vía Láctea a simple vista. Algunos comentan que la han visto en fotografías incluidas en los libros de texto o en internet, y el desconocimiento de algo tan habitual para sus padres o abuelos como nuestra galaxia es total para el resto. ¿Sabía usted que las estrellas han servido para orientarnos, definir el cambio de estación o marcar el tiempo de trabajo y los ciclos agrícolas durante generaciones?

Sin embargo, es cierto que el interés por las estrellas es patente en la mayoría de estos estudiantes cuando se les muestra la belleza del cielo estrellado y también que, al regresar de las merecidas vacaciones, muchas personas recuerdan con nostalgia lo bien que se veían las estrellas en un determinado lugar. ¿Por qué ha de considerarse este placer un privilegio?, ¿por qué no se toman las medidas oportunas que nos permitan recuperar esta riqueza cultural, científica e incluso económica?.

No se necesitan ya tratamientos cosméticos de la realidad ni gestos institucionales simbólicos. Se necesitan soluciones reales y efectivas para recuperar el cielo nocturno, todas a nuestro alcance, basadas en una premisa lógica: iluminar de forma adecuada y eficiente, evitando la emisión de luz directa hacia el cielo y empleando la cantidad de luz estrictamente necesaria, y en el rango espectral y horario adecuados, dirigiéndola allí donde necesitamos ver, hacia el suelo.

¿Se anima a colaborar en esta tarea? Entre todos y todas podemos conseguir preservar la oscuridad y el brillo natural del cielo nocturno de forma que las generaciones futuras puedan disfrutar del firmamento.

2. EL CIELO SE APAGABA PERO... ¡ALGUIEN SE PERCATÓ!

El movimiento en pos de la prevención de la contaminación lumínica, superado ahora por la necesidad urgente de la descontaminación, anidó con fuerza en territorios como Cataluña antes siquiera de llegar a detenerse a valorar este problema en otros lugares de España.

En los años 90 del siglo XX nace Cel Fosc, Asociación contra la Contaminación Lumínica (www.celfosc.org). Cel Fosc, Cielo Oscuro, tiene como objetivo “influir en la sociedad en la que vivimos para mejorar el alumbrado público y privado; iluminar mejor, respetando el medio ambiente y la salud; ahorrar recursos naturales; aumentar la seguridad vial y vigilar el buen uso de nuestros impuestos derrochados en malas instalaciones e iluminaciones”.

Ya al inicio del siglo XXI, Cielo Oscuro adquiere un carácter estatal y comienza a expandir su actividad por muchos otros lugares a través de sus coordinadores/as autonómicos, socios/as y simpatizantes. En la Región de Murcia, el problema de la contaminación lumínica, hasta aproximadamente el año 2004, a pesar de suscitar alguna preocupación entre los astrónomos aficionados ligados a las diversas asociaciones existentes, sigue siendo un desconocido y es en esa fecha cuando Cel Fosc, Cielo Oscuro, comienza de forma decidida su campaña a favor de un cielo nocturno de calidad, sinónimo de un buen nivel de vida y que favorece el progreso económico, cultural y científico de la sociedad en su conjunto.

Desde ese momento se multiplican las actividades que incluyen la redacción de notas de prensa y artículos, intervenciones en distintos foros incluyendo programas de radio y televisión, participación en cursos, edición de materiales divulgativos, entrevistas con responsables políticos, etc. con el objetivo de dar a conocer el problema y difundir las soluciones al mismo, ejerciendo una labor didáctica y sensibilizadora, pero también exigiendo la aplicación de criterios tendentes a evitar la generación de contaminación lumínica y a mejorar la calidad del medio nocturno y restitución de sus condiciones naturales, además de actuar de forma proactiva ofreciendo su

colaboración desinteresada y asesoramiento en este ámbito.

Es necesario indicar que las medidas y propuestas apuntadas por Cielo Oscuro se basan en profundas raíces científicas y técnicas.

Por ejemplo, el primer *Atlas Mundial del Brillo Artificial del Cielo Nocturno*, presentado por Cinzano, Falchi y Elvidge en el año 2001 (<http://mnras.oxfordjournals.org/content/328/3/689.short>). En dicho estudio se llega a interesantes conclusiones, como que casi dos tercios de la población mundial y el 99% de la población de la Unión Europea, U.E., vive en zonas contaminadas lumínicamente, más de la mitad de la población de la U.E. ha perdido la visibilidad a simple vista de la Vía Láctea y un sexto de la misma no adapta su ojo a la oscuridad a causa del brillo del cielo nocturno.

A lo largo del tortuoso periplo que nos lleva al día de hoy, hay varios hitos que marcan profundamente la actividad de Cel Fosc, Cielo Oscuro, en la Región.

Así, en el año 2006 se presenta públicamente la Campaña Cielo Oscuro (<http://www.um.es/cieloscuro/>), liderada por Cel Fosc y donde se integran junto a ella diversas entidades preocupadas por el creciente deterioro del medio nocturno tales como facultades universitarias, asociaciones vecinales y agrupaciones medioambientales. Su objetivo fundamental es lograr la protección y mejora de la calidad del medio nocturno, así como de los valores científicos, culturales, paisajísticos, ecológicos y de cualquier otra índole ligados al mismo, lo que redundará en la mejora de nuestra calidad de vida.

Herramientas básicas en la Campaña son su página web y el diverso material accesible a través de la



Figura 2. Vía Láctea y contaminación lumínica. Fuente: Víctor Caballero.

misma, como su tríptico (<http://www.um.es/cieloscuro/materiales.php>).

La Campaña Cielo Oscuro fue socia de pleno derecho de la Campaña Energía Sostenible para Europa 2005-2008 ("Sustainable Energy Europe Campaign"), una iniciativa de la Comisión Europea para sensibilizar a la ciudadanía sobre la necesidad de cambiar el panorama energético en Europa.

Fue en febrero de 2008 cuando la Asamblea Regional de la Región de Murcia aprobó por unanimidad una moción sobre elaboración de un proyecto de ley en materia de ordenación del alumbrado y de prevención de la contaminación lumínica que suponía el comienzo de la asunción de propuestas que veníamos reclamando desde hace años.

En su momento Cel Fosc valoró positivamente este hecho pero, lamentablemente, se tiene la experiencia de diversas comunidades autónomas donde se encuentran en vigor leyes sobre alumbrado exterior no válidas como modelo por basarse en medidas que las publicaciones y simposios científicos ya habían revelado en aquella fecha como obsoletas e incluso contraproducentes. Cualquier desarrollo de este tipo debe tener siempre en cuenta los estudios científicos y las normativas europeas más avanzadas, como son las existentes para la protección del cielo en la mayoría de las regiones de Italia, así como la normativa estatal eslovena contra la contaminación lumínica.

El 2008 trajo consigo también la aprobación de la primera ordenanza municipal contra la contaminación lumínica en la Región, a la que posteriormente han seguido otras. Desgraciadamente, la aprobación de este tipo de ordenanzas ha quedado, hasta el momento, más en una declaración de intenciones sin más pretensión y en la práctica, además de ser insuficientes e incluso negativas, pues obvian consideraciones que son realidad en países europeos con normativas avanzadas de ordenación del alumbrado y prevención de la contaminación lumínica (como el imprescindible punto de partida de conseguir un 0% de flujo luminoso hacia el cielo -nada de luz hacia el cielo-), son "papel mojado".

Ordenanzas incongruentes e ineficaces en la lucha contra la contaminación lumínica, que muestran un profundo desconocimiento e insensibilidad hasta la desidia en este

asunto, y la falta de convencimiento de que es posible abordar este problema y que, basadas en principios obsoletos, carecen de las condiciones mínimas necesarias que permitan prevenir de forma real y efectiva la contaminación lumínica y la legalizan "de facto".

El Año internacional de la Astronomía 2009, AIA-IYA 2009, ratificado así por la Asamblea General de las Naciones Unidas en conmemoración del cuatrocientos aniversario de la primera observación astronómica con telescopio, realizada por Galileo Galilei, supuso un año importante en la concienciación sobre la necesidad de preservar y proteger la herencia natural, científica y cultural que supone disponer de un cielo oscuro y la consiguiente mayor calidad de vida, bienestar y progreso para la ciudadanía.

En noviembre de ese año, Cel Fosc fue invitada a participar como ponente en el taller y reunión de expertos *Donde la Tierra se une con el Universo 2009*, La Palma, Islas Canarias, cuyo objetivo era reflexionar sobre los avances realizados en defensa del cielo nocturno y preservación del patrimonio cultural asociado, científico y medioambiental, así como analizar y proponer acciones de coordinación, difusión y creación de redes al respecto.

Ese mismo año, en diciembre, tuvo lugar la *I Jornada sobre Contaminación Lumínica en la Región de Murcia* ([http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=17600&IDTIPO=100&RASTRO=c511\\$m4634](http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=17600&IDTIPO=100&RASTRO=c511$m4634)), organizada por la Comunidad Autónoma y que contó con la colaboración de Cel Fosc. Un encuentro multidisciplinar de destacados expertos de primer nivel en cuanto al problema de la contaminación lumínica donde se abordó este tipo de contaminación desde ámbitos como el científico, de salud, medioambiental, técnico y legislativo. Además de analizar detalladamente sus perjuicios, las medidas precisas para su prevención y la necesidad de la aplicación de éstas de forma rigurosa y extensiva.

Paralelamente, se sentaron las bases de la futura ley autonómica sobre contaminación lumínica, la cual, necesariamente, ha de basarse tanto en los estudios científicos y técnicos más avanzados como en los textos legislativos europeos donde se plasman los mismos y cuyo paradigma es la ley estatal eslovena contra la contaminación lumínica.

Destacar asimismo la colaboración de Cel Fosc en el encuentro *Mediterranean Know How 2012*, organizado por la Universidad de Murcia. La jornada *La importancia del cielo en el Mediterráneo* (<http://www.campusmarenostrum.es/go/mkh2012/>) estuvo dedicada al cielo; y en la ponencia titulada *Los cielos nocturnos en el Mediterráneo del siglo XXI. Problemática y soluciones*, Fabio Falchi, del Istituto di Scienza e Tecnologia dell Inquinamento Luminoso, ISTIL, y presidente de Cielo Buio, presentó un avance del segundo atlas mundial sobre contaminación lumínica prestando especial interés a los datos correspondientes a la Región de Murcia.

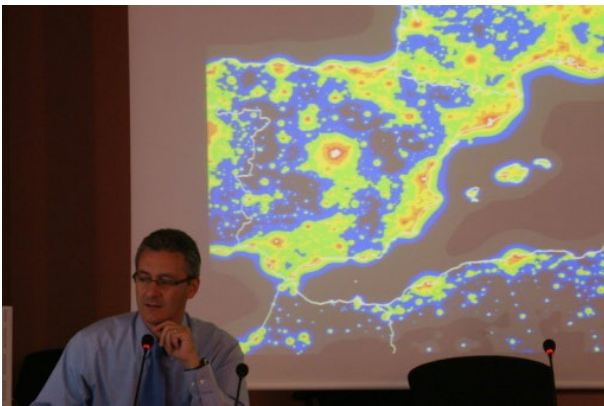


Figura 3. Fabio Falchi durante el encuentro *Mediterranean Know How 2012*. Universidad de Murcia. Año 2012.

No menos importante es la participación en distintas ocasiones en la Semana de la Ciencia y la Tecnología, Secyt, organizadas por la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia a través de la Fundación Séneca-Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia (<http://fseneca.es/>) y con la colaboración de múltiples organismos e instituciones, públicos y privados, directamente implicados en la divulgación científica. O la asistencia a la *Noche de los Investigadores* a través de la Unidad de Cultura Científica y Promoción de la Investigación de la Universidad de Murcia.

3. CEGADOS POR LA LUZ

Cumplidos ya cuatro siglos desde que Galileo Galilei realizara sus primeras observaciones astronómicas, uno de los fundamentos del Año Internacional de la Astronomía 2009 (<http://www.astronomia2009.es/>), y cercanos al Año Internacional de la Luz y de las Tecnologías basadas en la Luz 2015 (<http://light2015.org/Home.html>), estamos en un momento idóneo para preguntarse si en la Región de Murcia se está afrontando el reto de recuperar y proteger el medio nocturno y respetar el derecho universal a un firmamento de calidad.

La realidad indica justo lo contrario. Por un mal uso de la luz artificial, algo que debería ser tan cotidiano como ver las estrellas cada noche está desapareciendo de nuestras vidas y se observa la mayor de las veces con indiferencia. Y las administraciones públicas, especialmente la local, son mayoritariamente responsables de este grave estado de cosas, aunque no hay que olvidar los alumbrados privados.

De hecho, la situación que padecemos es de las más graves de la península Ibérica. Basándose en los estudios de Cinzano, Falchi y Elvidge del año 2001, puede indicarse que casi la totalidad de los habitantes de la Región viven bajo un cielo nocturno contaminado en alguna medida. La enorme magnitud del problema es tal que puede estimarse que 3 de cada 4 habitantes no podría observar a simple vista la Vía Láctea y 2 de cada 5 viviría en cielos tan contaminados que habría perdido la visibilidad de, al menos, el 90% de las estrellas, distinguiendo sólo unas cuantas de ellas a ojo desnudo.

Pero desde ese año no ha hecho sino empeorar. Los inéditos adelantos de *II Atlas Mundial*, presentados en el año 2012, muestran cómo en la década que media entre este estudio y 2001, la contaminación había crecido sin parar y de una forma alarmante, tanto en la península Ibérica como en la Región, de tal forma que ya no existen zonas sin contaminar siquiera levemente.

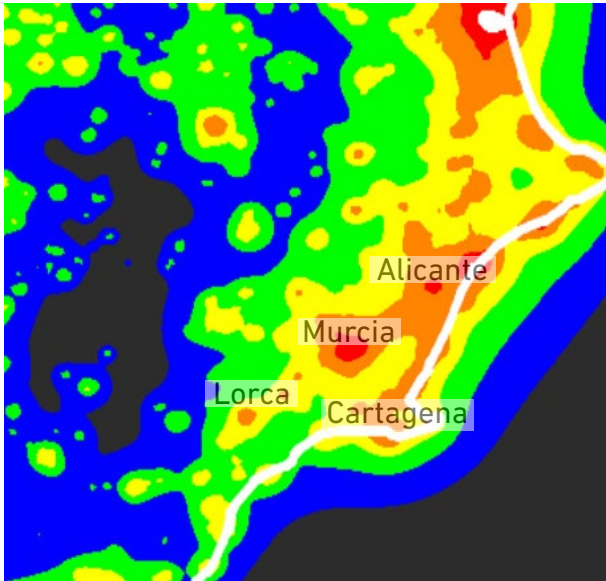


Figura 4. Región de Murcia y zonas limítrofes. | Atlas Mundial del Brillo Artificial del Cielo Nocturno. P. Cinzano, F. Falchi (Universidad de Padua, Italia) y C. D. Elvidge (Centro Nacional de Datos Geofísicos de la NOAA, Boulder EEUU). <http://www.inquinamentoluminoso.it/dmsp/>.

El gris más oscuro representa áreas con cielos aún puros en el cenit pero contaminados hacia el horizonte en alguna dirección. Los tonos restantes implican cielos contaminados, cada tono es tres veces más brillante que el anterior. El blanco representa cualquier cielo que supere en más de 27 veces la luminosidad natural que tiene el cielo nocturno. En concreto:

- Azul. Algo de brillo artificial por toda la bóveda celeste.
- Verde. El brillo artificial equivale al natural. Como la aparición de la luna en cuarto creciente.
- Amarillo. El brillo artificial dobla al natural. Como si hubiera permanentemente luna creciente alta en el cielo.
- Naranja. Como tener luna llena todo el año. La Vía Láctea es prácticamente invisible.
- Rojo. Imposible ver la Vía Láctea. El número de estrellas visibles en buenas condiciones se reduce a un centenar.
- Blanco. El ojo no puede adaptarse a la visión nocturna. Sólo visibles estrellas muy brillantes y los planetas.

Y no hablemos de la repercusión sobre los distintos espacios naturales: Carrascoy-El Valle, sierras de Altaona o Escalona, salinas y arenales de San Pedro del Pinatar, Sierra Espuña, Mar Menor, Calblanque, monte de las Cenizas y peña del Águila, Cabezo Gordo, Cabo Cope, etc.

Porque los perjuicios ocasionados por una mala iluminación no se limitan al entorno del lugar donde se produce la contaminación -poblaciones, polígonos industriales, áreas comerciales, carreteras, etc.-, sino que la luz se difunde por la atmósfera y su efecto se deja sentir hasta centenares de kilómetros desde su origen.

Piense por un momento: ¿es lógico iluminar el cielo cuando queremos alumbrar calzadas y aceras?, ¿es natural tener que bajar las persianas para poder dormir por la noche?, ¿o resulta racional que las fachadas de los edificios estén iluminadas hasta las últimas plantas y pueda leerse el periódico en casa con la luz exterior?, ¿tiene sentido que el alumbrado ornamental siga encendido hasta las tantas de la madrugada o incluso toda la noche?, ¿es normal que niños y jóvenes no conozcan el cielo nocturno salvo en los planetarios?, ¿es una buena gestión tirar alegremente a la basura millones de euros?

Sin embargo, la contaminación lumínica es un problema cultural y ambiental frente al cual es posible aplicar unas normas básicas, tan sencillas, por otra parte, que permitirían prevenirlo y descontaminar nuestro entorno.

Es necesario de una vez por todas valorar la oscuridad natural de la noche y adoptar una nueva cultura de la luz que permita alcanzar mayor calidad de vida y una verdadera sostenibilidad.

4. ¿ES QUE PERJUDICA A ALGUIEN LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA?

Formularse esta pregunta no deja dudas sobre la distancia que nos separa de otros lugares como Italia o Eslovenia, donde se afronta de forma rigurosa este problema que genera numerosas y perjudiciales consecuencias, como son aumento del gasto energético y económico, intrusión lumínica, afecciones a la salud, daño a los ecosistemas nocturnos y degradación del cielo nocturno, patrimonio natural y cultural, con la pérdida de percepción del universo.



Figura 5: Fabio Falchi (izquierda) y Francisco Fernández (derecha). *Mediterranean Know How 2012.*

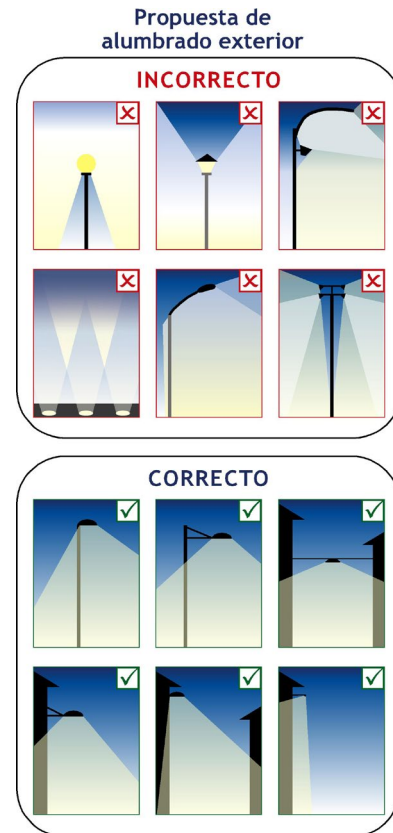
En el año 2011, científicos del grupo de Estudio de la Contaminación Lumínica del Departamento de Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Complutense de Madrid (<http://guaix.fis.ucm.es/>) alertaban de que España era el país de la Unión Europea con las calles más iluminadas y, por tanto, el que más contaminaba lumínicamente por habitante. Además, España tiene el récord europeo en consumo energético por habitante, con 118-114 kWh/año por ciudadano, frente a los 90-77 de Francia o los 48-43 de Alemania.



Figura 6: *Intrusión lumínica.*

Añadían además que “España es de hecho uno de los lugares favoritos de los astronautas para hacer fotos de noche, por lo fácil que resulta ya que además de despejado está muy iluminado”. ¡Triste imagen que muestra pocas “luces” y muchas sombras!

Pero en el año 2013 recibíamos más noticias de este grupo de investigación; usando imágenes de satélite reconstruyeron la evolución del gasto en alumbrado público entre los años 1992 y 2012. Estimaban que el consumo por habitante en 2012 era de 113 kWh, muy superior al objetivo del Plan de Eficiencia Energética 2004-2012 (75 kWh habitante), e indicaban que la evolución del consumo energético, unido al aumento de las tarifas eléctricas, había producido un aumento del gasto en alumbrado público, pasando de 450 millones de euros en 2007 a 830 millones de euros en 2012. Añadiendo el consumo en iluminación exterior privado (ornamental, comercial y viales privados), que podía suponer entre el 20 % y el 60 % del total del alumbrado exterior, el gasto total, como poco, rondaba los 1.000 millones de euros anuales.



Fuente: www.cielobuio.org

Figura 7: *Alumbrado exterior correcto e incorrecto.*

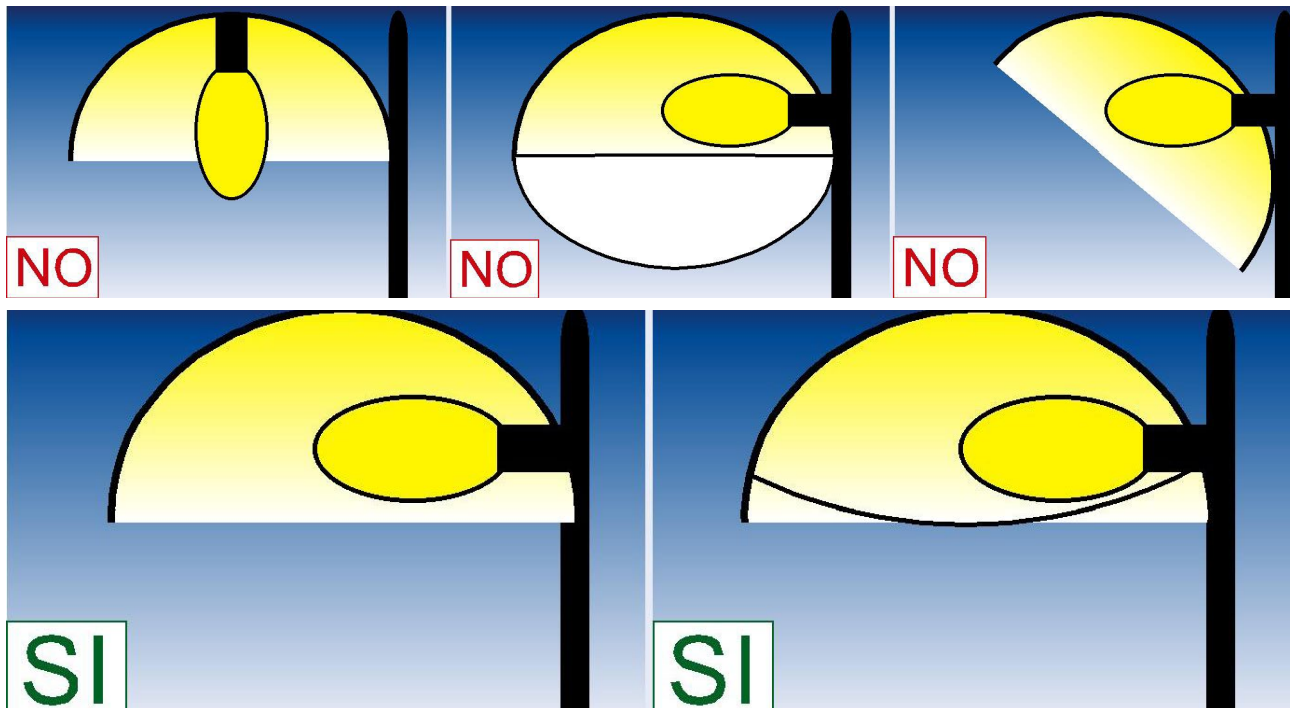


Figura 8: Diseños de farola contaminante (arriba) y no contaminante (abajo). Fuente: www.cielobuio.org.

Sin embargo, nuestras administraciones, salvo muy contadas excepciones, difícilmente reconocen su fracaso y, sin empacho, emprenden una absurda y costosísima huida hacia adelante persistiendo en el desarrollo de instalaciones de alumbrado exterior que, basándose en diseños y conceptos de iluminación errados y técnicamente groseros, son obsoletas e ineficaces desde el primer día.

En relación a los daños medioambientales, la contaminación lumínica afecta de forma devastadora, causando un empobrecimiento de la biodiversidad y regresión de las especies.

También se produce una sobreexplotación de los recursos naturales. La producción de energía eléctrica no es limpia al proceder mayoritariamente bien de centrales nucleares, que producen residuos difíciles de tratar y almacenar, o bien de térmicas, que emiten gases de efecto invernadero, alejándonos cada vez más del cumplimiento del Protocolo de Kyoto.

Asimismo, es conocido que muchos seres vivos desarrollan su actividad durante la noche. La

contaminación lumínica causa problemas de orientación, altera los ciclos biológicos y reproductivos y modifica la relación predador-presa, llegando a provocar desajustes poblacionales que se transmiten a lo largo de la cadena trófica. No sólo afecta la luz visible, el tramo del espectro electromagnético entre los 400 y los 700 nanómetros, pues hay organismos sensibles a longitudes de onda distintas como el ultravioleta, por ejemplo los insectos. Otra circunstancia a considerar es la generación de residuos tóxicos derivados de las lámparas usadas en alumbrado exterior.

Por no hablar de los daños a la salud, magníficamente expuestos en otro artículo de esta publicación, al disminuir la producción nocturna de melatonina y las molestias ocasionadas por la intrusión lumínica o entrada de la luz artificial exterior en las viviendas.

Y finalmente, pero no menos importante, qué decir de los perjuicios de índole cultural y científica. En 2007 se aprobó, en la Conferencia *Starlight* (<http://www.starlight2007.net/>), la "Declaración en Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a Observar las Estrellas"

auspiciada por la Unesco. Señala que “el derecho a un medio 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 es un riesgo inminente que conlleva la pérdida de un recurso fundamental”. Un patrimonio de valor incalculable para la ciencia, la educación, la cultura, el medio ambiente, el turismo y, evidentemente, como factor de calidad de vida.

Recordar que, en España, la ley de protección de la atmósfera de 2007 obliga a las administraciones “a prevenir, minimizar y corregir los efectos de la contaminación lumínica en el cielo nocturno”.

5. RECUPERANDO ESTRELLAS. CUESTIÓN DE INTERÉS Y VOLUNTAD

Una instalación que prevenga la contaminación lumínica (nada de luz al cielo, vapor de sodio, niveles luminotécnicos adecuados a normas -no sobreiluminar-, interdistancias optimizadas, etc.) cuesta igual que una muy contaminante, reduce afecciones al medio nocturno, la salud, la seguridad vial o el cielo estrellado y su mantenimiento a la larga cuesta mucho menos.

Debe saber que existen una serie de principios fundamentales necesarios para descontaminar lumínicamente y lograr una iluminación eficiente, eficaz y de calidad:

1. ¿Qué iluminar? - control del flujo luminoso directo-. Debe impedirse la emisión de luz por encima de la horizontal, es decir, no dejar escapar nada de luz hacia el cielo (flujo del hemisferio superior cero, FHS = 0%). El Instituto Astrofísico de Canarias dispone de extensos listados actualizados de luminarias que cumplen este requisito (<http://www.iac.es/>). Es preciso iluminar sólo aquellas áreas que lo necesiten, de arriba hacia abajo y sin dejar que la luz escape fuera de estas zonas.

Vista transversal de luminarias no contaminantes y contaminantes.



Figura 9: ¿Qué iluminar? Fuente: www.cielobuio.org.



Figura 10: ¿Contaminar o iluminar? Fuente: www.cielobuio.org.

2. ¿Cuánto iluminar? -control del flujo luminoso indirecto-. Considerar los niveles de iluminación de seguridad recomendados por los organismos luminotécnicos internacionales como máximos (Instituto Astrofísico de Canarias, Comisión Internacional de Iluminación - <http://www.cie.co.at/>-) y con la mayor uniformidad posible. Los factores de mantenimiento y de utilización de la luminaria deben ser los máximos posibles.

3. ¿Con qué iluminar? -elección de lámparas adecuadas-. Usar las lámparas de mayor eficacia luminosa del mercado y de menor impacto ambiental por su rango espectral (actualmente las de vapor de sodio de baja y alta presión), con una potencia adecuada al uso. Deben evitarse las lámparas de amplio espectro (luz blancoazulada).

4. ¿Cómo iluminar?. -optimización del proyecto luminotécnico-. A igual nivel de iluminación, utilizar la instalación de menor consumo, máxima relación interdistancia-altura de las luminarias y menor coste de mantenimiento.

5. ¿Cuándo iluminar? -gestión inteligente del alumbrado-. Instalar centros de telecontrol del alumbrado con dispositivos de estabilización de la corriente, de encendido y apagado, así como de reducción del flujo luminoso para las horas de menor tránsito. Reducir el consumo en horas de menor actividad mediante el empleo de reductores de flujo en la red pública y/o el apagado selectivo de luminarias. Apagar por completo todo alumbrado sin uso y restringir el horario del alumbrado monumental, ornamental y publicitario.

La aplicación de estas medidas, avaladas por publicaciones, simposios y estudios científicos y técnicos, han demostrado su eficacia de forma práctica y son técnica y económicamente viables a la par que mejoran nuestra calidad de vida. Incluso hay leyes que las contemplan, en este sentido son paradigma la ley de la región italiana de Lombardía y la ley estatal eslovena contra la contaminación lumínica.

Pero también hay ejemplos en poblaciones como Puento la Reina (Navarra) o las poblaciones afectadas por la Ley del Cielo, que protege la calidad astronómica del cielo de la isla de La Palma (Canarias).

Nuestro caso, ¿es olvido, insensibilidad, demagogia o ignorancia? Es tiempo de dejar de asociar derroche de luz con progreso, alegría, seguridad o riqueza, y tomar ejemplo de sociedades educadas en el respeto por la noche. Piénselo la próxima vez que mire al cielo y no vea las estrellas o se percate del color naranja o blanco de las nubes porque, de noche, las nubes no tienen color.

6. Y YO... ¿QUÉ PUEDO HACER?

Quizá el paso más difícil es reconocer la existencia del problema de la contaminación lumínica y admitir que existen prácticas que permiten, a la misma vez, lograr una iluminación racional para el desarrollo de las actividades que lo requieran y proteger el medio nocturno, puesto que

ambos objetivos son compatibles. Pueden aplicarse los principios antes vistos tanto en el ámbito de la iluminación exterior pública como en la privada (jardines, anuncios publicitarios, etc.).

Es de agradecer su implicación difundiendo el conocimiento del problema y sus soluciones, y no descarte, en este sentido, asociarse a alguno de los grupos que trabaja en pos de un cielo nocturno de calidad como Cel Fosc.

Es importante, asimismo, su participación en las actividades que nos invitan a conocer el cielo nocturno y los programas de ciencia que, someramente, se explican a continuación.

Globe at Night es un programa educativo y científico del National Optical Astronomy Observatory, NOAO, de EE.UU., que tiene como objetivo medir el estado de la contaminación lumínica de nuestros cielos mediante la observación del número de estrellas que pueden verse a simple vista. Para ello se facilita una serie de mapas centrados en una constelación de referencia con distintos aspectos de la misma en función del nivel de contaminación del cielo nocturno. Esta información es recopilada, analizada y finalmente registrada en una base de datos accesible en la página web del programa Globe (<http://www.globeatnight.org/>).

El proyecto *Nixnox* fue propuesto y apoyado por la Sociedad Española de Astronomía, SEA (<http://www.sea-astronomia.es/drupal/>), con el fin de localizar lugares en España donde se pueda disfrutar del cielo nocturno oscuro y estrellado. Se pretende crear una plataforma que anime a la sociedad a contemplar el cielo nocturno y a las administraciones locales a cuidarlo. La recopilación de información se realiza en colaboración con asociaciones de astrónomos aficionados.

En el proyecto IACO, Investigación y Acción sobre Cielo Oscuro (<http://www.iaco.es/>), se realizan medidas de contaminación lumínica por simple conteo visual de estrellas en constelaciones y otras medidas con instrumentación específica.

En el año 2014, astrofísicos de la Universidad Complutense de Madrid presentaron el primer atlas de imágenes nocturnas de la tierra tomadas por astronautas de la Estación Espacial Internacional, el cual se ha asociado a tres aplicaciones de ciencia ciudadana.

Dark Skies of ISS, Cielos Oscuros de la ISS (<http://crowdcrafting.org/app/darkskies/>), busca clasificar las imágenes entre imágenes de ciudades, imágenes de estrellas y otros.

Night Cities, Ciudades en la noche (<http://crowdcrafting.org/app/nightcitiesiss/>), es un proyecto de georeferenciación donde se presentan imágenes de ciudades del mundo junto a mapas y los participantes deben identificar puntos en las imágenes nocturnas que sean visibles en los mapas.

Lost at Night - Locate images from ISS, Perdido en la noche - Localiza imágenes desde la ISS (<http://crowdcrafting.org/app/LostAtNight/>), se busca localizar la ciudad que corresponde a una imagen de la cual sólo se conoce su posición con un error máximo de 500 km.

7. CONCLUSIONES

Un antiguo refrán dice que “no hay más ciego que el que no quiere ver”, podría añadirse que los “ciegos” que no quieren ver también pretenden hurtar al resto de personas su derecho a un medio nocturno de calidad y a un cielo con estrellas.

Hoy en día son una realidad tristemente generalizada las palabras que pronunciaba Bertrand Russell en los años 30 del pasado siglo XX: “En las calles de una ciudad moderna, el cielo nocturno es invisible; en los distritos rurales, viajamos en vehículos con potentes faros. Hemos borrado los cielos, y sólo unos pocos científicos siguen atendiendo a las estrellas y los planetas, los cometas y los meteoritos”.

Como se refleja en el artículo, la niebla luminosa afecta incluso a centenares de kilómetros desde el lugar donde se alumbra mal y es absurdo e inaceptable pensar que es imposible hacer nada al respecto. Es reprochable el uso demagógico que, a veces, se hace del problema de la contaminación lumínica, así como las actitudes y acciones contradictorias de las administraciones públicas, principales responsables.

Las medidas de descontaminación y leyes punteras como las de Lombardía o Eslovenia han demostrado su

eficacia y son técnica y económicamente viables, a la par que mejoran nuestra calidad de vida. Se pierde un tiempo precioso, las estrellas siguen ahí y permanecerán aunque no las veamos, puesto que no nos necesitan, en cambio los humanos perdemos mucho viviendo sin poder contemplarlas. ¿A qué se espera?

*Las estrellas
no tienen novio.*

*¡Tan bonitas
como son las estrellas!
Aguardan a un galán
que las remonte
a su ideal Venecia.*

*Todas las noches salen
a las rejas,
¡oh cielo de mil pisos!
y hacen líricas señas
a los mares de sombra
que las rodean.*

*Pero aguardad, muchachas,
que cuando yo me muera
os raptaré una a una
en mi jaca de niebla.*

*F. García Lorca.
Tres estampas del cielo, l.1923*

8. PÁGINAS WEB SELECCIONADAS

- <http://www.um.es/cieloscuro/>. Campaña Cielo Oscuro en la Región de Murcia.

- <http://www.celfosc.org/>. Cel Fosc, Asociación contra la Contaminación Lumínica.

- <http://www.cielobuio.org/>. Cielo Buio, Coordinamento per la Protezione del Cielo Notturmo.

- <http://www.iac.es/>. Instituto de Astrofísica de Canarias.

- <http://www.darksky.org/>. International Dark-Sky Association.

- <http://www.starlight2007.net/>. Starlight.

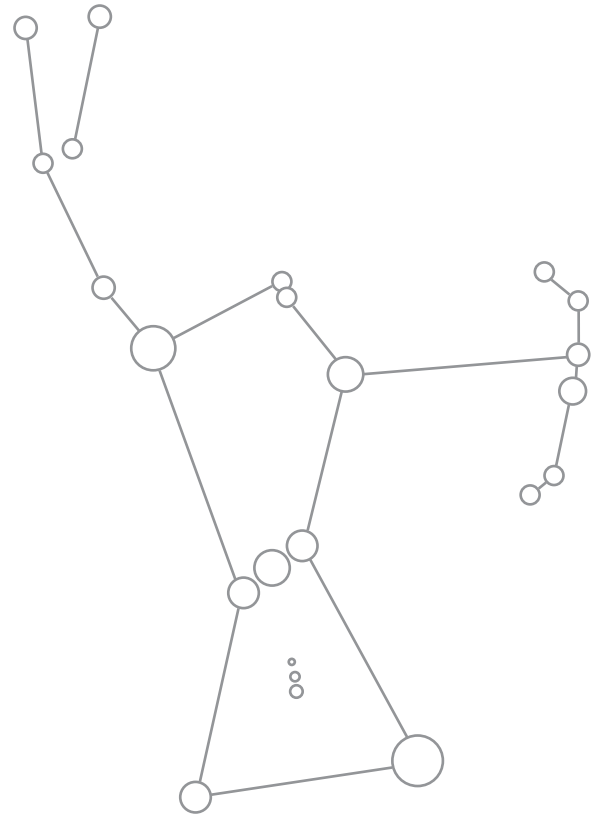
- http://www.citiesatnight.org/index_ES.html. Proyecto Ciudades de Noche.
- <http://www.globeatnight.org/>. Programa Globe at Night.
- <http://www.sea-astronomia.es/drupal/nixnox>. Proyecto Nixnox.
- <http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2014/03/Iberia>. Imágenes de la Agencia Espacial Europea.
- <https://www.youtube.com/watch?v=vv8HHdpt8Es&feature=youtu.be>. Vídeo "Luces en la Noche".
- <http://guaix.fis.ucm.es/>. UCM group of Extragalactic astrophysics and astronomical instrumentation.
- <http://www.ceisp.com/>. Comité Español de Iluminación.

9. SOBRE EL AUTOR

Coordinador en la Región de Murcia de Cel Fosc, Asociación contra la Contaminación Lumínica (www.celfosc.org) e impulsor de la Campaña Cielo Oscuro en la Región de Murcia (www.um.es/cieloscuro).

En relación a su labor divulgadora y de sensibilización respecto al problema de la contaminación lumínica, ha participado en actividades de distinta índole organizadas por la Fundación Séneca, la Universidad de Murcia, el Centro de Profesores y Recursos de Murcia y la Asociación Astronómica de Cartagena, entre otros.

Ha sido ponente en la reunión internacional de expertos sobre contaminación lumínica *Starlight 2009* celebrada en La Palma, Islas Canarias, bajo el auspicio de la Unesco y la Unión Astronómica Internacional. Y ha participado de forma destacada en la organización de la *I Jornada sobre Contaminación Lumínica en la Región de Murcia, 2009*, Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, así como en la jornada *La importancia del cielo en el Mediterráneo* dentro del encuentro *Mediterranean Know How 2012*, Campus Mare Nostrum (Campus de Excelencia Internacional de la Universidad de Murcia y la Universidad Politécnica de Cartagena).






Museo de la Ciencia y el Agua
AYUNTAMIENTO DE MURCIA



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD

FECYT  FUNDACIÓN ESPAÑOLA
PARA LA CIENCIA
Y LA TECNOLOGÍA