

Repercusiones medioambientales del

ALUMBRADO ARTIFICIAL

El uso del alumbrado artificial aporta a nuestra sociedad considerables ventajas y beneficios. Sin embargo, su uso excesivo o incorrecto puede ser motivo de perjuicios medioambientales.

Por **RAMÓN SAN MARTÍN PÁRAMO**. Profesor titular del Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Cataluña. Director del Equipo de Estudios Luminotécnicos. E-mail: ramon.san.martin@upc.edu

El uso intenso del alumbrado artificial se ha convertido en un signo definitorio de nuestra época. Cada noche, cuando la sombra comienza a invadir «la cara oscura de la Tierra», el resplandor de nuestras ciudades manifiesta la existencia del ser humano.

Es un fenómeno muy reciente a escala histórica, impensable pocas décadas atrás, cuya complejidad y trascendencia se esconde bajo la aparente sencillez de «accionar un interruptor» y, con este sencillo gesto, disponer de toda la luz que necesitamos, estemos en el lugar que estemos, sea la hora que sea. Sin embargo, es un fenómeno que –al menos

para nosotros, profesionales de la luz– merece atención; no podemos dejar de pensar en ello.

Evolución histórica del alumbrado artificial

La llama, bajo sus tres formas clásicas –antorcha, candil y vela (fig. 3 a 7)–, ha sido el instrumento de iluminación de la humanidad desde las épocas más primitivas de la prehistoria.

Estos sistemas de alumbrado han permanecido sin variaciones sustanciales desde sus inicios hasta el siglo XIX. La causa hay que buscarla posiblemente en la escasa demanda social de iluminación; las actividades principales y mayoritarias se desarrollaban en el exterior y durante horas diurnas: la luz natural proveía las condiciones visuales necesarias. La iluminación por combustión, pese a su debilidad y defectos intrínsecos (movilidad de la llama, calor, hu-



La luminosidad nocturna del continente europeo y del norte de África, fotografiada desde un satélite.



Age Fotostock

mos...), resultaba suficiente para las funciones marginales que se le asignaban.

Pero los cambios sociales derivados de la Revolución Industrial dieron origen a dos fenómenos que invalidaron esta situación:

- Concentración de las actividades en zonas de fácil accesibilidad a la energía necesaria para la producción. Es decir, uso intensivo del territorio en lugar del uso extensivo anterior.
- Prolongación de los periodos de actividad para acelerar la amortización del capital invertido: la noche, el 50% de las horas disponibles, no podía ser desperdiciada.

Ambas demandas son imposibles de satisfacer utilizando únicamente luz solar, por lo que el desarrollo de los sistemas de alumbrado artificial cobró, por primera vez en la historia, un fuerte impulso.

Los primeros intentos apuntaron al perfeccionamiento de los sistemas clásicos,

En las últimas décadas del siglo XX se dispone de una variedad y calidad de sistemas de alumbrado tal que se puede decir que cualquier situación lumínica deseable es potencialmente factible

en gran parte de sus combustibles: empleo de parafina, petróleo...Nació también el uso de combustibles gaseosos: acetileno, hidrógeno, mezcla oxhídrica, gas de destilación (llamado en aquel tiempo, precisamente, «gas del alumbrado»)...Un primer salto cualitativo acompañó a la introducción de la «camiseta» en el alumbrado por gas y petróleo: por vez primera en la historia ya no es la llama la fuente de luz directa, sino un elemento intermedio llevado a la condición de «incandescencia».

Lo mismo acontece en el alumbrado de arco voltaico –chispa generada entre dos electrodos de carbón–, con el añadido de que, en este caso, la energía pri-

maria ya no era química, acumulada en la materia, sino eléctrica: diferencia de potencial entre los extremos de un conductor, generada por el flujo de electrones a lo largo del mismo.

Esta energía eléctrica es la que usaron investigadores como Swan, y que en 1879 permitió a T. A. Edison poner en servicio las primeras «lámparas eléctricas». Aunque la perspectiva actual parezca indicar un fácil recorrido desde la bombilla a nuestros sistemas actuales, la realidad no resultó ser tan sencilla. Dada la proximidad y trascendencia de este periodo, quizá sea conveniente efectuar un *zoom* de atención y detalle sobre el siglo XX en esta apresurada descripción.



El uso intenso del alumbrado artificial es un signo definitorio de nuestra época. En la imagen, vista nocturna de Hong Kong.

El alumbrado artificial en el siglo XX

Aunque al iniciarse el siglo la lámpara de incandescencia disfrutaba ya de más de veinte años de difusión, durante sus primeras décadas el alumbrado eléctrico tuvo que competir duramente aún con los sistemas de combustión. Las limitaciones de extensión de las redes de alimentación fueron sin duda uno de los motivos que dificultaron su expansión. Pero otra de las causas debe atribuirse a las limitaciones propias del alumbrado eléctrico de aquellos tiempos. Anecdóticamente, los defensores del alumbrado de gas manifestaban que «era necesario encender una cerilla para comprobar si realmente lucía el filamento de una bombilla». Aludían con ello a la escasa potencia de las lámparas, a las anomalías de suministro eléctrico, a la mortalidad excesiva...

Pese a estas debilidades –que, aunque exageradas en la anécdota, eran reales hasta un punto que hoy en día nos asombraría–, el alumbrado eléctrico consiguió ir conquistando territorio y ampliando sus aplicaciones en el proceso que le conduciría hasta su actual hegemonía.

El punto de inflexión que marca el inicio del alumbrado artificial, tal como hoy en día lo concebimos, se produce antes de la mitad del siglo, hacia el año 1940. El desarrollo de la industria de guerra norteamericana se vio condicionado, al estar mayoritariamente militarizada la población obrera, por trabajadores provenientes de otras áreas con mayores exigencias respecto a las condiciones de su entorno de trabajo. Coincidió también en este periodo la creciente influencia en la industria de las teorías psicosociológicas de Elton Mayo, que sustituyeron progresivamente los esquemas tayloristas precedentes.

Todo ello condujo a un incremento sustancial de los niveles de iluminación habituales –recuérdense las experien-

cias de Hawthorne– y a la introducción de los conceptos de confort visual.

Desde el punto de vista de los sistemas de alumbrado, el artífice de esta transformación fue el tubo fluorescente, con su mayor eficacia, reducción de brillo y adaptabilidad de la tonalidad de luz. Marcó el «pistoletazo de salida» en una carrera hacia la diversificación de fuentes de luz, incrementos de eficacia y potencia, diseño de sistemas ópticos... hasta alcanzar el amplio abanico actual de posibilidades y, con ello, la expansión del alumbrado artificial, tanto en tipos de aplicaciones como en la extensión de las mismas y en el incremento cualitativo de sus prestaciones.

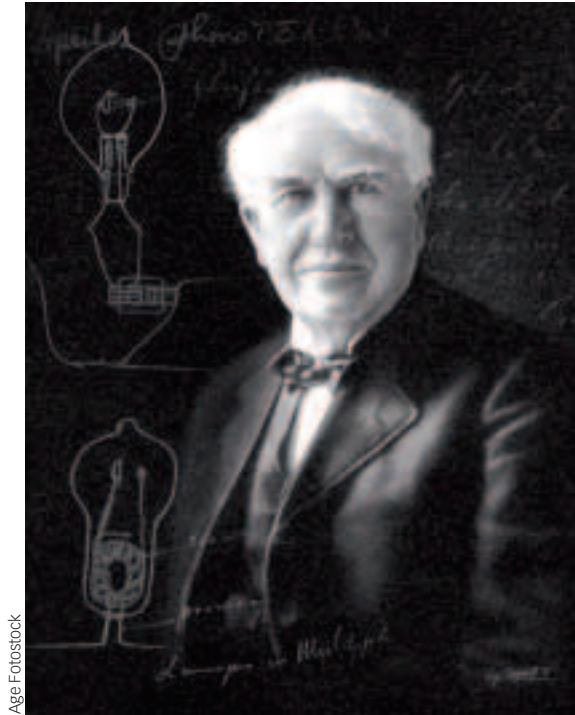
Así, partiendo de una situación inicial en la que la demanda de alumbrado tenía que someterse a la limitada oferta de los sistemas existentes, llegamos en las últimas décadas del siglo a disponer de una variedad y calidad de posibilidades que permite afirmar que cualquier situación lumínica deseable es –al menos en teoría– potencialmente factible. La oferta ha llegado a superar a la demanda, pero no se detiene en su simple satisfacción: la estimula hacia cotas más

elevadas, amplía los requerimientos de utilidad y confort con los de satisfacción, desplaza actividades (por ejemplo, deportivas) hacia las horas nocturnas para facilitar su disfrute, o, en otros casos, para aprovechar la valorización de imagen que un alumbrado espectacular puede proporcionarles.

Del uso del quinqué algunos minutos del día, de la tímida iluminación votiva en el interior de las iglesias, hemos pasado a un mundo en que la luz artificial se enciende al sonar el despertador, inunda la vida laboral, el viaje, la relación social y lúdica, estalla en el espectáculo... y se apaga únicamente cuando nos retiramos al sueño.

En el siglo XXI

Es indudable que la trayectoria del alumbrado artificial descrita en las páginas anteriores ha aportado grandes beneficios a nuestra sociedad. Ha ampliado nuestro tiempo, ya que nos permite prolongar la actividad a las horas nocturnas, ha extendido nuestro espacio, ya que nos permite el uso de espacios interiores –incluso subterráneos–, y ha mejorado nuestra calidad de vida, ya que



Age Fotostock

El estadounidense Thomas Alva Edison ha pasado a la historia como el inventor de la bombilla incandescente.

nos permite crear las condiciones visuales óptimas para nuestra actividad y bienestar.

El alumbrado artificial es técnicamente un sistema transformador de energía, la cual procesa a partir de una forma primaria –química, térmica, eléctrica...–, generando radiación electromagnética. Pero resulta necesario que una proporción importante de esta radiación se emita en longitudes de onda comprendidas dentro del espectro visible, ya que su finalidad no es energética, sino informativa. La interacción de esta radiación con los objetos y espacios debe ser capaz de estimular los receptores de la retina humana, activando así el proceso de percepción visual que, en la gran mayoría de casos, es imprescindible para que el observador pueda realizar su actividad. (Figura 1).

La gran aportación del siglo XX ha sido la mejora cuantitativa y cualitativa de este proceso, en tal forma que, mientras anteriormente sólo éramos capaces de generar las condiciones visuales necesarias para que las actividades fuesen factibles, hoy podemos contribuir con el alumbrado artificial a mejorar su rendimiento, calidad, seguridad y satisfacción (Figura 2). Ello explica que nuestra sociedad esté inmersa en un uso extenso e intenso del alumbrado artificial cuya panorámica expresa perfectamente la visión de nuestro planeta desde el espacio.

Una hipotética civilización extraterrestre que nos contemplara desde el espacio observaría emisiones nocturnas en el planeta Tierra de radiación electromagnética en longitudes de onda en la zona comprendida entre los 300 y 700 nanómetros.

Podría elaborar dos hipótesis: la primera plantearía la existencia en la atmósfera del planeta Tierra de proporciones significativas de vapores de mercurio y sodio que serían activadas por

Figura 1.

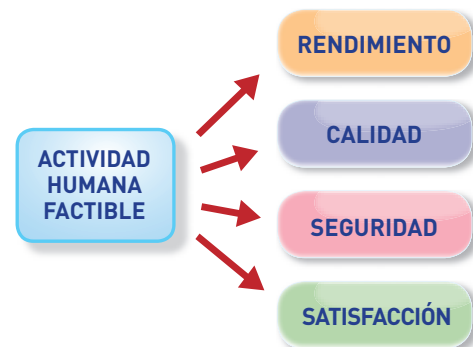


potentes tormentas eléctricas. Sin embargo, encontrarían inexplicable la regularidad horaria y geográfica del fenómeno y, por demás, los análisis espectrográficos de la atmósfera realizados durante el día no confirmarían tal composición.

La segunda hipótesis se fundamentaría en la existencia en el planeta Tierra de alguna especie de seres inteligentes que aprovecharían las noches para intentar comunicarse con otras civilizaciones mediante señales lumínicas. Pero desde luego, dada la magnitud de la emisión, como dice el escritor inglés Ian Mc Ewan, «se asombrarían de que los terrestres creamos que sufrimos un problema energético».

Si esta visión la realizamos con mayor proximidad que un satélite artificial –y no digamos un observador extraterrestre–, podemos comprobar que el lógico uso del alumbrado artificial, animado por los beneficios que antes se han citado, llega a producir, dada su intensidad, un fenómeno de «desbordamiento». La luz no se queda en los domicilios, en las calles, en los lugares de trabajo... La acumulación de usos particulares invade el ámbito general: la luz invade el medio

Figura 2.



ambiente. Y cuando a final de mes tenemos que pagar la factura de electricidad, podemos deducir que, de ese mismo medio ambiente que invadimos, extraemos los recursos necesarios para disponer de esa luz.

El esquema planteado anteriormente es cierto, pero incompleto. Olvida que las funciones útiles de un proceso van siempre acompañadas de funciones parásitas, no deseadas pero imprescindibles para el funcionamiento del sistema. Olvida los recursos necesarios para el funcionamiento y los residuos generados por el mismo.

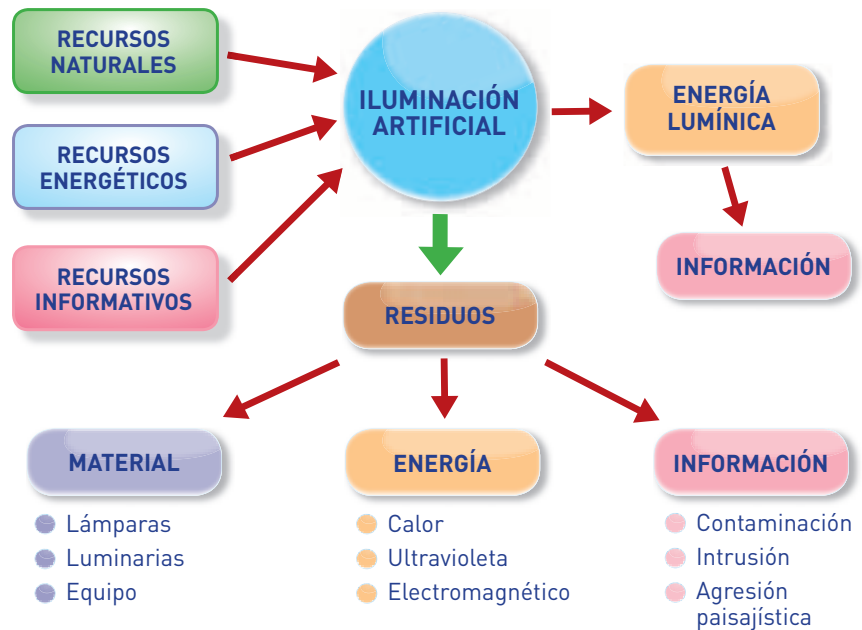
Recursos consumidos y residuos generados

El esquema planteado anteriormente expresa la «intención luminotécnica» y

debe completarse incluyendo en él la «necesidad luminotécnica». (Figura 3).

Nuestra acción no es «gratuita», ni deja de ocasionar «consecuencias»; para poder realizar nuestra función debemos consumir recursos materiales, energéticos y también informativos, entendiendo estos últimos no sólo como conocimientos técnicos o científicos, sino además como «demandas y juicios cualitativos», lo que llamamos «cultura de la luz», cuyas concepciones modelan nuestras propuestas y condicionan las respuestas de los usuarios del alumbrado artificial. También los residuos generados adoptan las tres formas: material (lámparas, instalaciones...al final de

Figura 3.

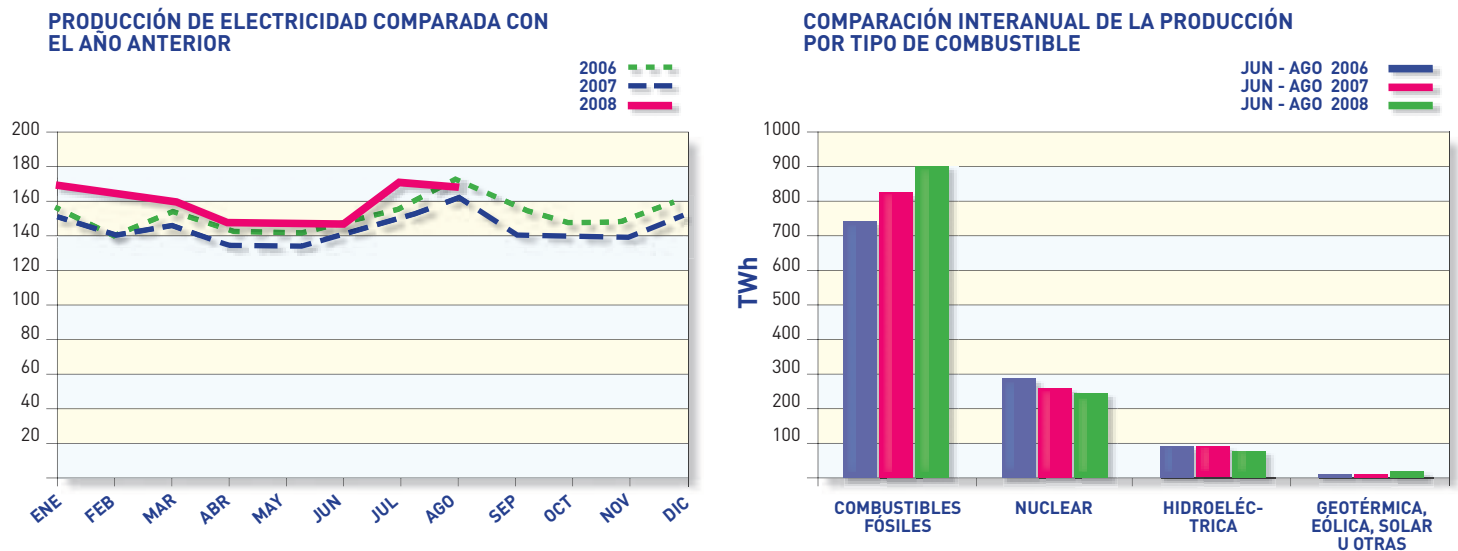


su ciclo de vida útil), energética (calor, radiación UV y electromagnética, efectos no ópticos...) e informativa (intrusión y contaminación lumínica, agresión paisajística...).

Creo que la mayoría de los técnicos de iluminación podríamos coincidir en que nuestro descubrimiento de estos aspectos «tangenciales» ha sido pasivo: se nos han ido imponiendo a medida que el problema iba cobrando magnitud e importancia. Quizás el inicio lo marca la década de 1970, en la que el encarecimiento de la energía, por motivos bélicos, motivó la preocupación del sector por la eficiencia energética; basta analizar los índices de los congresos de iluminación anteriores y posteriores a esta fecha para comprobar este punto de inflexión. Si el descubrimiento ha sido pasivo, la respuesta ha sido generalmente «defensiva».

La breve descripción histórica anterior nos ha mostrado el siglo XIX como nacimiento del alumbrado artificial en su concepción actual y el siglo XX como época de su desarrollo. Si el siglo XXI pretende ser el de su madurez, resultaría ne-

Figura 4.



cesario sustituir dicho enfoque «pasivo y defensivo» por una actitud activa y constructiva que permita anticipar el conocimiento de las posibles problemáticas y enfocar los planteamientos que pueden evitarlas o, cuanto menos, minorizarlas. El punto de partida puede ser el análisis de los aspectos críticos que hoy en día ya nos es posible conocer, los cuales afectan al medio ambiente, la salud humana y la igualdad.

Repercusiones medioambientales del alumbrado artificial

Como ya es sabido, se centran en tres aspectos:

Consumo de energía

El consumo de energía incide en la problemática ambiental a través de:

- El consumo de recursos naturales no renovables en general.
- La emisión de contaminantes.
- La degradación del medio ambiente natural.

El conjunto del alumbrado artificial representa un porcentaje muy notable del total del consumo energético de nuestra sociedad. Las estimaciones

Como principales efectos medioambientales, el alumbrado artificial provoca consumo de energía, generación de residuos y contaminación lumínica

varían en función de los países y metodologías de estudio, pero se sitúan en todo caso en valores del orden del 25% del consumo eléctrico total (fuente Right Light), y su volumen no cesa de aumentar pese a las espectaculares mejoras en eficiencia de los sistemas. Según datos de la Agencia Internacional de la Energía (IEA Total. Agosto 2008), el consumo total de energía eléctrica alcanza 6.852 TWh anuales, con un incremento respecto al año anterior del 2,4%. (Figura 4).

Debe señalarse, también como rasgo general, que la eficiencia energética real de las instalaciones de alumbrado artificial está muy lejos de sus valores potenciales. Una muestra de ello se aprecia en el porcentaje de uso de las lámparas incandescentes, que, con una eficacia del orden del 10 al 15% con respecto a otros tipos, alcanzan una cuota de mercado de entre el 80 y el 90%.

Generación de residuos

La problemática específica del alumbrado artificial se localiza en dos aspectos concretos:

- Los materiales nocivos para el medio ambiente (mercurio, estroncio, plomo, tierras raras...), incluidos generalmente en la composición de las lámparas eléctricas. Además, al ser la lámpara el elemento más perecedero de las instalaciones, su frecuente reposición incrementa el volumen de residuos generados.
- El uso creciente en balastos u otros elementos de las instalaciones de componentes electrónicos con sus específicos problemas de eliminación.

El tratamiento de estos residuos es difícil y costoso. Por otra parte, cabe señalar un notable esfuerzo de la industria en la reducción de tales componentes en los productos de nueva fabricación.

■ Contaminación lumínica

La emisión de luz en direcciones no necesarias para su función (resplandor luminoso y luz intrusa) produce los siguientes efectos:

- Invade los espacios naturales, variando las condiciones de entorno de los seres vivos y afectando, por lo tanto, a sus hábitos de alimentación, reproducción, migración, etc..., con las consiguientes amenazas al equilibrio ecológico.
- Incrementa la luminancia del fondo celeste, disminuyendo el contraste que permite apreciar los astros, ya sea con finalidades científicas, *amateurs* o de simple contemplación personal.
- Invade el hábitat humano, pudiendo ocasionar molestias para el descanso nocturno, la intimidad, la experiencia de la noche, etc... En algunas zonas urbanas, los niños definen ya como amarillo el color del cielo nocturno.

A estos efectos, cabe añadir que toda esta luz dispersa en el ambiente precisa para producirse un consumo energético que, en vez de utilidad funcional, ocasiona molestias. Constituye, por lo tanto, más que un derroche de energía, un verdadero consumo contraproducente.

Cualquiera de estos aspectos podría desarrollarse con más detalle y especificando consecuencias concretas. Sin embargo, puede resultar más interesante resumir algunas consideraciones de alcance general:

- Pese a que en todos los casos se intentan introducir medidas de corrección, el volumen de los problemas se incrementa constantemente. Las correcciones experimentan un incremento lineal, mientras que la problemática, arrastrada por la extensión cuantitativa y cualitativa del alumbrado artificial, crece exponencialmente.

■ Aunque en los últimos tiempos se ha incrementado la difusión informativa relativa a esta problemática, sigue existiendo un desconocimiento bastante generalizado de la misma.

- La introducción de medidas correctoras es lenta y dificultosa. Puede imaginarse que esta dificultad es debida a:
 - desconocimiento de la problemática
 - infravaloración de sus repercusiones
 - resistencia natural al cambio.

Alumbrado artificial y salud humana

Los luminotécnicos estamos habituados a considerar la radiación electromag-

nética únicamente en sus aspectos ópticos, como transmisor al cerebro de información procedente del mundo exterior.

Sin embargo, la acción de dicha radiación sobre el organismo es mucho más amplia, e incluye otras vías de acceso aparte del nervio óptico. La luz afecta a toda la «envoltura humana», piel y cabellos, y también dentro del ojo genera impulsos que, en lugar de dirigirse al córtex visual, activan la hipófisis y regulan el desarrollo de muchos procesos fisiológicos en nuestro organismo.

En la evolución ancestral de nuestra especie, esta acción ha estado sometida únicamente a la acción de la luz solar,



El subcontinente indio captado por un satélite en una noche de 2003.

Age Fotostock

Vista nocturna de la construcción de rascacielos en Dubai, en los Emiratos Árabes Unidos.



Age Fotostock

de composición espectral e intensidad variables, pero mantenidos siempre dentro de unos límites y ritmos específicos. El uso intensivo del alumbrado artificial en nuestra sociedad está llegando a alterar sensiblemente estas condiciones, por lo que, aparte de afectaciones excepcionales –como puede ser el riesgo de eritemas por un exceso de radiación UV–, comienzan a denotarse riesgos de salud social (*Nature*. 8 de febrero 1996) que afectan sobre todo a fenómenos ligados a nuestros ritmos biológicos:

- depresión
- estrés
- ritmo cardíaco
- ritmos del sueño
- grado de alerta...,

llegando a denotar en algún caso una correlación entre el trabajo en turnos nocturnos –y su correspondiente alteración de ciclos lumínicos– y la incidencia de determinados tipos de cáncer.

Aunque la investigación sobre estos temas es muy reciente y debe aún profundizar en muchos ámbitos, la evidencia de la relación entre salud y luz artificial es ya innegable, y obliga a reformular los planteamientos relativos al uso del alumbrado artificial, especialmente en el ámbito laboral. También debe señalarse que dicha relación no comporta únicamente aspectos negativos, pues está ya abriendo el camino a las aplicaciones terapéuticas de la luz y al desarrollo de sistemas de iluminación biológicos que aprovechan los aspectos positivos de su incidencia sobre el ser humano.

Globalización: alumbrado artificial e igualdad

Edison fue un gran promotor, más que inventor, de aplicaciones técnicas, entre las que indudablemente se cuenta la «bombilla eléctrica», pero no resultó un

gran profeta al afirmar que «la electricidad será tan barata que sólo los ricos encenderán velas».

Actualmente, transcurridos más de ciento veinte años desde la aparición de su lámpara, aproximadamente dos mil millones de personas –un 30% de la humanidad– no dispone de electricidad y tiene que seguir utilizando la combustión como fuente lumínica. No se trata, desde luego, de la humanidad económicamente más favorecida, pero sí de la más prolífica: su tasa de natalidad supera la de electrificación, por lo que experimenta un incremento continuo.

Los mencionados beneficios sociales del alumbrado artificial resultan inasequibles para este importante volumen de la población humana. Se ven abocados a una situación que comporta doscientos años de retraso respecto a la sociedad desarrollada. Utilizan para su iluminación sistemas costosos, ine-

La evidencia de la relación entre salud y luz artificial es ya innegable, y obliga a reformular los planteamientos relativos al uso del alumbrado artificial, sobre todo en el ámbito laboral

ficientes, débiles y contaminantes, y se estima que el «consumo lumínico» (lumen · hora) por habitante es del orden de una milésima comparado al de otras sociedades.

En las perspectivas de globalización de la época actual, no parece indicado apostar por la persistencia de esta situación. Pero la mera repetición en este ámbito de nuestros esquemas habituales conduciría a un incremento quizás insostenible de las problemáticas analizadas, por lo que sería recomendable intentar la elaboración de esquemas más imaginativos.

Conclusiones

La aportación del alumbrado artificial a la actividad y bienestar de nuestra sociedad resulta innegable, y es un logro al que no debe renunciarse. Al contrario, el esfuerzo debe proseguir y extenderse.

Sin embargo, hay que reconocer que en su persecución se han sobrepasado, inadvertida pero excesivamente, ciertos límites. Si, como se ha propuesto más atrás, el siglo XXI quiere calificarse como un periodo de madurez, es necesaria la elaboración de nuevos planteamientos que maten las premisas iniciales con la consideración más completa de los factores analizados, y abiertos también a incorporar posibles aspectos de nueva aparición. No debe olvidarse que, hasta ahora, el aprendizaje ha derivado a posteriori de las consecuencias de nuestra actuación.

El desarrollo del alumbrado artificial se ha apoyado en la evolución técnica de los sistemas, pero también en una demanda social que, partiendo de un ob-

jetivo limitado a satisfacer determinadas prestaciones (*visual performance*), y atravesando la fase de confort (*visual comfort*), ha alcanzado unas metas de satisfacción (*visual amenity*). Pero esta evolución ha supuesto a su vez que, mientras los factores fisiológicos han conservado un peso prácticamente constante en la composición de la demanda, la influencia de los factores culturales se ha desarrollado hasta ser dominante. (Figura 5).

Por lo tanto, el enfoque de una nueva fase, para la que se propone la denominación de «sostenibilidad» (*visual sustained*), implica medidas técnicas y de procedimiento, pero, sobre todo, una verdadera transición cultural. En el actual paradigma cultural, brillo es éxito y penumbra tristeza, consumo es estatus y ahorro pobreza. En un reciente encuentro con un personaje político de nuestro país, y hablando sobre una zona geográfica de contaminación lumínica muy reducida, su observación fue: «¿Sabe lo que eso significa? Que no hay vida». Plantear que los niveles de iluminación deben ser los necesarios y no superarlos sin motivo, que la iluminación debe mantenerse en su ámbito sin invadir espacios que no la precisan, contradice la escala de valores de nuestra actual cultura de la luz.

El propuesto enfoque sostenible no presupone renunciar al disfrute de los beneficios del alumbrado artificial, sino complementarlo con la consideración de sus consecuencias y riesgos. Unir a nuestras legítimas aspiraciones de autoafirmación el reconocimiento de sus límites, una actitud de respeto por el entorno y de consumo responsable. Y rea-

Figura 5.



prender que es la calidad de luz –y no la cantidad– la que nos permite ver, y que la penumbra puede ser tan gratificante y hermosa como la claridad.

Los datos aportados en este artículo indican que, aunque quizás no se coincida con sus conclusiones, los profesionales de la luz no podemos en el siglo XXI seguir planteándonos nuestro trabajo en la misma forma. Tal como fuimos capaces de ir aportando nuevas ambiciones a nuestros objetivos, hemos de serlo ahora de admitir nuevas limitaciones. ¿Qué beneficios pueden derivarse de afectar al medio ambiente y a la salud, o de favorecer tensiones entre sociedades? Contemplémoslo como un nuevo reto que vamos a saber superar, tal como muestra nuestra historia reciente.

Josep Pla, el escritor catalán, ante el espectáculo de las ventanas iluminadas en los rascacielos de Manhattan, comentó: «Muy bonito, pero esta luz, ¿quién la paga?» Es una buena pregunta: esta luz, ¿quién la paga?, y sobre todo, ¿cómo la paga? ♦