

Alumbrado artificial nocturno

Una de las muchas presiones antrópicas ejercidas sobre la salud humana y el ecosistema nocturno, también por mucho tiempo subestimada

Ing. Luis Deschères
UBA - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Profesor Titular de la cátedra Iluminación y Color
Carrera de Especialización en Seguridad e Higiene en Ámbito Laboral
descheresluis@yahoo.com.ar

Introducción

Nuestro cerebro crea el mundo en el que vivimos y son, primero la sensación, y luego la percepción, los procesos encargados de absorber la información y decodificación del mundo externo, y también del interno para dar significado a las cosas. El 87% de nuestra información sensorial se origina por la vista y el 50% de nuestro cerebro se utiliza para la visión.

Los objetos tienen un significado para nosotros cuando los reconocemos el color, el contorno y las relaciones entre unos y otros. Es lo que llamamos la percepción, proceso por el cual los estímulos se traducen activamente en experiencias organizadas.

A lo largo de miles y miles de años, nuestra supervivencia fue especialmente condicionada a la presencia de la luz diurna y nuestro ojo está adaptado para la visión diurna. La decodificación de nuestro entorno para permitir nuestros desplazamientos, nuestra seguridad, nuestra continuidad como seres humanos en el ecosistema que nos ocupa, depende del ojo que actúa como transductor de las radiaciones presentes en el campo físico (sensación) convirtiéndolas en señales para el campo neurofisiológico (percepción).

La luz natural como nos la proporciona el Sol es dinámica, variable en intensidad y en su distribución espectral. La percibimos como cálida-fría-cálida desde el amanecer-mediodía-atardecer y con un alto y adecuado contraste en color. El ojo no está adaptado para la visión nocturna. Somos seres diurnos y activos en ese período del ciclo circadiano de nuestro hábitat. A lo sumo, puede adaptarse a muy poca luz durante un corto período de tiempo. La agudeza visual disminuye, el contraste ya no se percibe y, por lo tanto, es difícil localizar y anticipar obstáculos.

Como bien sabemos, durante miles de años esta compleja situación nocturna fue atenuada con el control del fuego y la creación de distintas fuentes de llama (combustión de velas, etc.). El siglo XIX, con la disponibilidad de la energía eléctrica, produjo una fuerte transformación de nuestra sociedad. El primer impacto social fue transformar esa nueva energía en "energía radiante visible" que llamamos "luz". En 1879 nació la primera fuente de luz artificial, la lámpara incandescente. En 1936 nació la lámpara fluorescente y en 1996, la fuente led o diodo electroluminiscente.

Esta transformación no consistió solamente en crear fuentes luminosas para una buena visión nocturna, sino que estas fuentes, particularmente las lámparas fluorescentes, se empezaron a utilizar en los interiores de los

establecimientos en horarios diurnos. Tuvieron su influencia en la arquitectura respecto a los dimensionamientos de las alturas entre piso y cielorrasos necesarios para asegurar un suficiente ingreso de luz diurna, que fue gradualmente reemplazada por la incorporación de luz artificial.

Si bien es loable este avance tecnológico, también es importante recordar que nuestro ojo está adaptado para la visión diurna. En un día soleado, podemos estar bajo un nivel de 100.000 lux y en un día nublado, 10.000 lux. Con la luz artificial en una oficina podemos estar bajo un nivel de 500 lux. Si bien este nivel de luz artificial medio fue establecido luego de investigaciones para garantizar una visión adecuada, hay una discrepancia entre luz natural y artificial con respecto a la intensidad color y dinámica de la luz. Cabe preguntarnos si realmente esta discrepancia tiene consecuencias visuales para el ojo humano y nuestra percepción o hay algún otro efecto no contemplado hasta el presente.

La exposición a la luz artificial en horarios nocturnos genera problemas de salud por la cronodisrupción de nuestro reloj biológico, alterando la secreción de la melatonina, la hormona de la oscuridad.

Efecto visual

Los niveles mencionados están expresados en lux, unidad de la magnitud fotométrica "iluminancia" derivada de la magnitud radiométrica "irradiancia". Esta detección y cuantificación de la energía radiante según el ojo humano fue consecuencia de los estudios e investigaciones realizados el siglo pasado. Se determinó primero que todas las radiaciones son de naturaleza electromagnética y solo difieren entre sí por su longitud de onda, ya que todas ellas se propagan en el vacío con la misma velocidad de 300.000 km/s. Surge, entonces, la denominada radiación óptica, de la cual

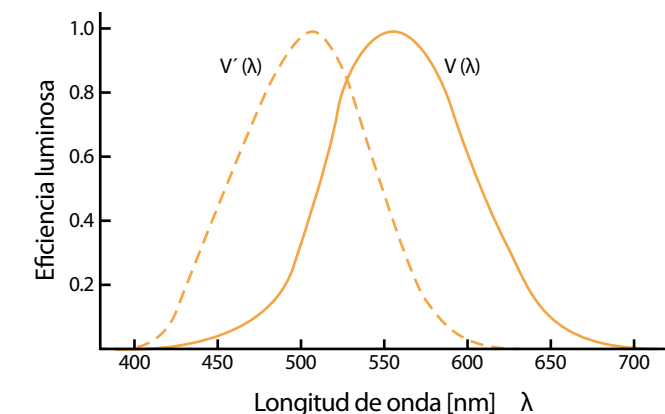


Figura 1. Función eficiencia luminosa, visión fotópica y escotópica

una parte de su espectro es "luz visible" y su cuantificación depende de la selectividad del ojo a las distintas longitudes de onda del espectro. Luego de investigaciones y propuestas, finalmente la CIE ('Comisión Internacional de Iluminación', por sus siglas en francés) en 1924 estableció la función de eficiencia luminosa espectral para visión fotópica $V(\lambda)$ y en 1931, la $V'(\lambda)$ para visión escotópica basada en los fotorreceptores conos S, M, L, bastones R y sus respectivos fotopigmentos (ver figura 1).

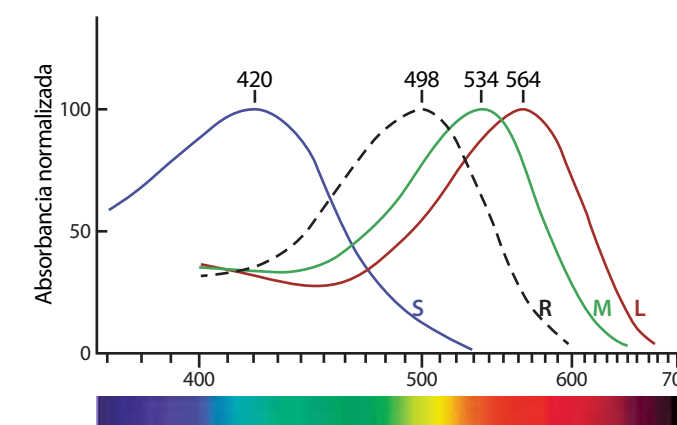


Figura 2. Sensibilidad espectral de los fotorreceptores de la retina, conos S, M, L y bastones R



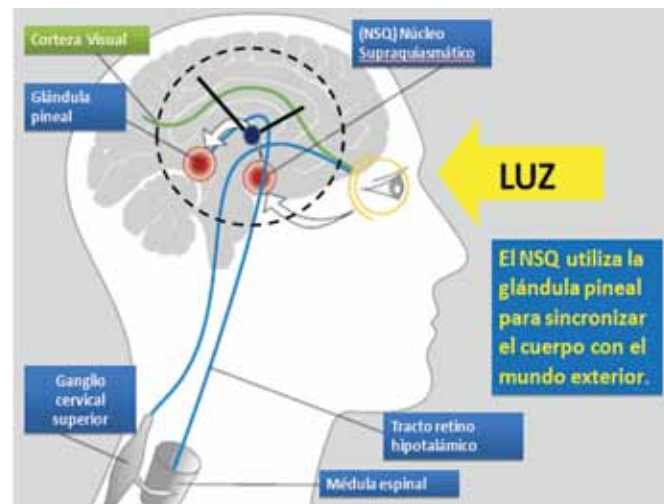


Figura 3. Efecto visual (corteza visual), efecto no visual (glándula pineal). Reloj biológico interno (endógeno), control de nuestro ritmo circadiano

El fotorreceptor de los conos S es más sensible a longitudes de onda cortas, seguido por la rodopsina, que es el fotorreceptor de los bastones R; luego siguen los conos M, más sensibles a las longitudes de onda media, y finalmente los conos L, más sensibles a longitudes de onda larga. La figura 2 nos indica las bandas espectrales de la luz visible de preferencia y la longitud de onda de máxima absorción.

El ojo, con sus fotorreceptores, actúa como un transductor convirtiendo la luz en señales neurales que son recibidas en la corteza visual del cerebro (ver figura 3). Nuestro cerebro interpreta constantemente estas señales para construir una imagen que tenga sentido para nosotros y hablamos de la percepción visual.

Por otro lado, tal como lo hace el sistema de visión humana que acabamos de describir, la función $V(\lambda)$ se usa en fotometría para “cuantificar” una radiación, dando mayor “valor” a los componentes centrales del espectro y menos a los que se hallan en los dos extremos. El resultado es una valoración de las radiaciones, no en términos de su potencia total, sino en términos de su capacidad para estimular el ojo humano. De esta forma, podemos cuantificar la energía radiante, evaluar su efecto visual y definir magnitudes y unidades fotométricas que nos permiten una métrica para las radiaciones ópticas.

La iluminación artificial es una de las muchas presiones antrópicas ejercidas sobre la vida, por mucho tiempo subestimada. Se debe volver a evaluar hoy, sobre todo después de la aparición de la tecnología led.

Efecto no visual

Investigaciones en los últimos 25 años revelaron que el ojo tiene otro tipo de fotorreceptor además de los conos y bastones. Este nuevo fotorreceptor desempeña un papel importante en los efectos no visuales de la luz y tiene una sensibilidad máxima en la parte de longitudes de onda más corta del espectro visible. Dichos nuevos fotorreceptores se conocen como “células ganglionares de la retina intrínsecamente fotosensibles” (ipRGC), y su fotosensibilidad intrínseca se basa en el fotorreceptor “melanopsina”, que está contenido dentro de ellos con un pico de absorción máximo en 480 nm.

Las células ganglionares (ipRGC) están distribuidas por toda la retina y presentan una mayor sensibilidad en la parte nasal y baja de la retina. Están conectadas (figura 3) con el ganglio cervical superior, con la médula espinal y finalmente con el NSQ por medio del tracto retino hipotalámico (recorrido en azul). El NSQ utiliza la “glándula pineal” para sincronizar nuestro cuerpo con el mundo exterior y así tenemos el efecto biológico, además del efecto visual. El NSQ recibe toda la información procedente de los ojos y actúa como reloj central. Todos nuestros órganos y tejidos corporales (hígado, pulmones, bazo, etc.) tienen relojes periféricos adicionales que están sincronizados con el reloj central. A su vez, todas las células del cuerpo tienen su propio reloj celular interno, de modo que lo que le sucede a una célula hepática, por ejemplo, es que, del mismo modo que el NSQ recibe la información del sol, el hígado la recibe del NSQ y la pasa al reloj de cada una de sus células, que pueden sincronizarse con el resto del cuerpo. El núcleo supraquiasmático NSQ es

el marcapasos circadiano que controla los tiempos de descanso, de actividad, temperatura corporal, hambre y secreción hormonal.

Las investigaciones realizadas por Jeffrey Hall, Michael Rosbash y Michael Young desde los años ‘80 han llevado al descubrimiento de los mecanismos moleculares de control de los ritmos circadianos. Al aislar e investigar el gen “período” de la mosca de la fruta, pudieron demostrar la existencia del “reloj biológico interno (endógeno)”, que controla el ritmo circadiano de humanos, animales y plantas. Sus resultados fueron premiados con el Nobel de Medicina 2017.

La luz es el sincronizador principal del reloj biológico humano. Puede cambiar la fase del ritmo circadiano y puede regular el tiempo y la calidad de nuestro sueño. La luz artificial al atardecer y por la noche puede ser perjudicial para el sueño y causar una supresión aguda de la liberación nocturna de la hormona melatonina. Cuando los desajustes se producen de manera crónica pueden incidir negativamente en la salud humana. Los resultados en investigación en este campo apuntan a relacionar las alteraciones en los ritmos con patologías como el cáncer, diabetes tipo II, trastornos del sueño, trastorno afectivo estacional, depresión, trastorno bipolar e, incluso, alteración de la función cognitiva y formación de recuerdos.

Con respecto a la situación previa a las fuentes artificiales eléctricas de luz, nos encontramos en la actualidad con poca luz artificial en horarios diurnos respecto a la luz solar y mucha luz artificial en horarios nocturnos respecto a la oscuridad e incluso a los muy bajos niveles de las fuentes de llama o lámparas incandescentes.

La exposición a la luz artificial en horarios nocturnos genera problemas de salud por la cronodisrupción de nuestro reloj biológico, alterando la secreción de la melatonina, la hormona de la oscuridad. Las modernas fuentes de luz artificial fluorescentes, descarga y las más recientes leds han permitido lograr muy altas eficacias en lúmenes por watt. Esto dio pie a un uso excesivo en el alumbrado artificial nocturno, particularmente el exterior.

Nos hemos potenciado hablando de prolongar el día sobre la noche, la ciudad que no duerme, etc. El

uso abusivo del alumbrado artificial de las ciudades, y por lo tanto de la difusión hacia sus cielos nocturnos, termina en contaminación o polución luminosa también conocida como “fotopolución”. Conformes con el efecto visual, no sabíamos sobre efectos no visuales y sus consecuencias.

La luz es el principal sincronizador del sistema circadiano, por lo tanto, es importante que el día sea día y la noche sea noche.

Las fuentes de luz modernas tienen diferentes composiciones espectrales con proporciones de radiaciones en los azules que en horarios nocturnos y en intensidades exageradas activan la fotosensibilidad de las ipRGC produciendo la cronodisrupción de nuestro reloj biológico con potenciales efectos negativos sobre la salud humana y también sobre el ecosistema nocturno.

Las radiaciones en los azules modifican la TCC temperatura de color correlacionada de la fuente. Cuando más porcentaje de azules, más fría es la luz y mayor su TCC. Por ejemplo, una TCC mayor a 5.000 K es fría, una TCC menor a 3.000 K es cálida. Sin embargo, la TCC no es lo suficientemente precisa, ya que para una misma TCC de 5.000 K podemos tener distintas proporciones de radiaciones azules. Para lograr una mayor precisión, actualmente se está considerando un índice espectral G (Junta de Andalucía-2019) que relaciona las longitudes de onda del espectro de la fuente en la banda de 380-500 nm y toda su distribución espectral total evaluada según $V(\lambda)$ de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$G = -2.5 \log_{10} \frac{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{500 \text{ nm}} E(\lambda)}{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} E(\lambda) V(\lambda)}$$

Longitud de ondas [nm]	UV	Violeta	Azul	Verde	Amarillo	Naranja	Rojo	IR
	<400	400-420	420-500	500-575	575-585	585-605	605-700	>700
Peces de agua dulce	X	X	X	X	X	X	X	X
Peces de agua marina	X	X	X	X				
Crustáceos (zooplancton)	X	X*	X*					
Anfibios y reptiles	X	X	X	< 300 et. > 850	X	X	X	X
Pájaros	X	X	X	X		X	X	X
Mamíferos (excepto murciélagos)	X	X	X	X			X	
Murciélagos (Chiroptera)	X	X	X	X				
Insectos	X	X	X	X				

X* = probable pero no identificado

Figura 4. Bandas espectrales que más afectan a los grupos de especies del ecosistema (MEB-ANCEP- 2015)

El índice espectral G es un parámetro luminotécnico que mide la cantidad de radiación azul de una lámpara por unidad de luz visible o lumen. El valor de G crece cuando la luz azul disminuye. Entonces, cuanto menor sea este valor, más adecuada será la fuente de luz para su uso en alumbrado artificial nocturno exterior como el alumbrado público.

- » G mayor a 3,05, cuando la luz azul es inferior al 6%
- » G mayor a 2,50, cuando la luz azul es inferior al 10%

La CIE reconoce que pasar un tiempo adecuado al aire libre durante el día está asociado con una mejor salud y bienestar, y que la exposición a la luz natural es un componente causal significativo en estos efectos.

Presiones antrópicas ejercidas sobre la salud humana y el ecosistema nocturno

Un ecosistema es una unidad formada por factores bióticos (o seres vivos) y abióticos (componentes que carecen de vida), en la que existen interacciones vitales, fluye la energía y circula la materia. Los ecosistemas pueden sufrir alteraciones naturales y alteraciones humanas (antrópicas). Las alteraciones naturales forman parte del equilibrio natural y los ecosistemas generalmente se recuperan restableciendo el equilibrio. Las alteraciones antrópicas son más peligrosas, se prolongan por mucho tiempo, abarcan grandes zonas y generalmente son irreversibles, produciendo la extinción de especies y alteración del medioambiente.

Entre las alteraciones antrópicas conocidas, podemos mencionar las producidas por deforestación, agricultura, transporte, industrias, pesca. A estas debemos agregar la producida sobre la biodiversidad de la flora y fauna nocturna por el alumbrado artificial nocturno externo.

La fauna nocturna es mucho más numerosa que la diurna y precisa oscuridad para sobrevivir y mantenerse en equilibrio. El 30% de los vertebrados y más del

60% de los invertebrados son nocturnos (Hölker et al. 2010). El 95% de las especies animales son invertebrados.

Para el alumbrado público, la eficiencia (lúmenes por watt) no es el único parámetro al que se debe prestar atención. La salud humana y el ecosistema nocturno son prioridad, sin por ello perjudicar a la necesaria visibilidad en función de horarios nocturnos adecuados.

Efectos de la contaminación luminosa sobre la biodiversidad de la flora y fauna nocturna

La proyección de luz en el medioambiente desorienta a las aves y altera los ciclos de ascenso y descenso del plancton marino lo que a su vez afecta a la alimentación de las especies marinas que habitan en las cercanías de la costa. Incide sobre los ciclos reproductivos de los insectos, algunos de los cuales han de atravesar notables distancias para encontrarse y no pueden desplazarse por las barreras de luz que forman los núcleos urbanos iluminados. Las luces artificiales nocturnas sobre las costas desorientan a las tortugas y las vuelven vulnerables a los depredadores. La mayoría de las plantas con flor se abren con la luz del sol, aunque existen algunas de ellas que prefieren la luz de la luna y florecen por las noches.

Los niveles de iluminación artificial nocturnos son sensiblemente superiores a los niveles naturales a los que nuestra biología y nuestro ecosistema nocturno están evolutivamente adaptados. Pero también es muy importante conocer con precisión la composición espectral e intensidad de la luz artificial nocturna. Las más recientes investigaciones indican que tanto a seres humanos como al ecosistema nocturno la proporción de radiaciones azules comprendidas entre 380 y 500 nm son las que más afectan. En la figura 4, se indican las bandas espectrales que más afectan a

los grupos de especies del ecosistema (MEB-ANCEP-2015). Como podemos apreciar, la mayor afectación está en las bandas UV-Violeta-Azul.

Como podemos apreciar en la figura 5, las fuentes de leds se clasifican por su TCC. Un led de 6.500 K tiene un importante porcentaje de radiaciones azules. Por lo tanto, a diferencia de la lámpara de sodio de alta presión SAP, tiene una alta probabilidad de afectar a la salud humana en horarios nocturnos produciendo la cronodisrupción de nuestro reloj biológico, alterando la secreción de la melatonina. También podemos ver su mayor posibilidad de afectación al ecosistema nocturno.

La IDA ('Asociación Internacional de Cielo Oscuro', por sus siglas en inglés), señala que una luz con una TCC de 4.000 K produce un incremento de la contaminación luminosa al medio ambiente de 2,5 veces más que una luz de TCC menor a 3.000 K. Se estima que los diodos electroluminiscentes (leds) de luz blanca son cinco veces más efectivos para suprimir la hormona melatonina que las lámparas SAP.

Según un atlas mundial sobre la contaminación luminosa publicado por *Science Advances* el 10 de junio de 2016, más del 80% de la población mundial vive bajo cielos nocturnos contaminados por la luz artificial. La Vía Láctea está oculta a más de un tercio de la humanidad, incluyendo el 60% de los europeos y casi el 80% de los norteamericanos.

La teoría sostiene que los millones de años durante los cuales el homo sapiens se relacionó con su entorno de manera estrecha, creó una necesidad emocional profunda y congénita de estar en contacto cercano con el resto de los seres vivos, ya sean plantas o animales. La "biofilia" se define como la necesidad humana de estar en contacto con la naturaleza derivada de la relación que con ella tuvimos desde nuestros orígenes evolutivos (Edward O. Wilson, Universidad de Harvard). Es nuestro sentido de conexión con la naturaleza y con otras formas de vida de carácter innato y producto evolutivo de la selección natural que actúa en especies inteligentes cuya supervivencia depende de la conexión estrecha con el ambiente y de la apreciación práctica de las plantas y de los animales.

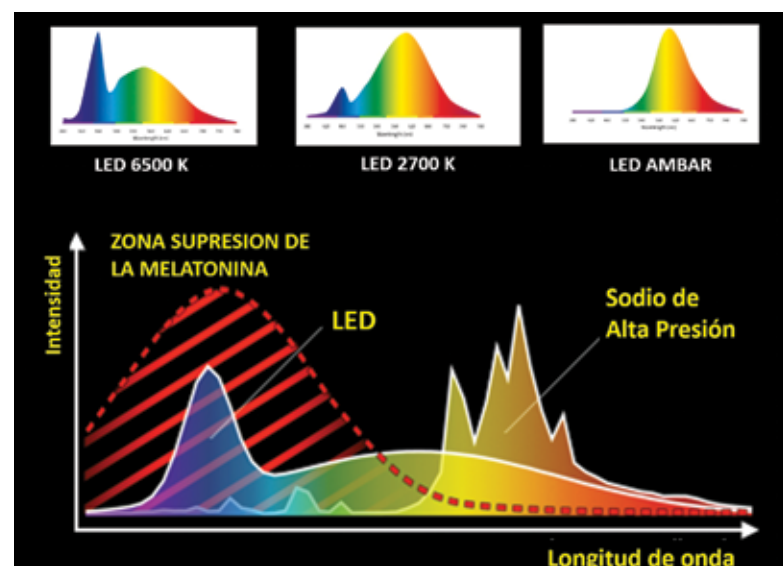


Figura 5. Comparativa de fuente led y SAP respecto a la absorción fotorreceptor ipRGC-fotopigmento melanopsina

La iluminación artificial es una de las muchas presiones antrópicas ejercidas sobre la vida, por mucho tiempo subestimada. Se debe volver a evaluar hoy sobre todo después de la aparición de la tecnología led. Los estudios de impacto de los leds no pueden dissociarse de los efectos de la iluminación artificial, en particular la nocturna también conocida como "ALAN" ('iluminación artificial nocturna', por sus siglas en inglés).

Conclusiones

Los datos acumulados sobre los efectos adversos de la contaminación luminosa en la salud y el ecosistema particularmente en horarios nocturnos nos obligan a tomar medidas drásticas y rápidas para reducir su efecto mediante una regulación extrema, o al menos reducir las emisiones de radiaciones entre 380-500 nm mediante el desarrollo de tecnologías de radiación luminosa segura.

Para mantener una buena salud es necesario que el sistema circadiano funcione correctamente. La luz es el principal sincronizador del sistema circadiano, por lo tanto, es importante que el día sea día y la noche sea noche. La contaminación luminosa es la extinción de la noche. Para que una iluminación artificial sea saludable, se debe recuperar el contraste día-noche. Para ello, es necesario aumentar los niveles actualmente establecidos para la iluminación interior diurna y también disminuir o programar la iluminación nocturna exterior, particularmente cartelera, vidrieras comerciales y de exposición, fachada de edificios y monumentos.

Como sabemos ahora, la luz es un factor vital para los seres vivos. Pero una exposición excesiva a la luz en horas en las que se debe estar en oscuridad puede perturbar el reloj y afectar a algo tan básico e importante como el sueño, y necesitamos dormir bien para tener una función cerebral adecuada. La mayor parte de los seres vivos tiene un ritmo de descanso-actividad y el acto de dormir ha sido importante desde el punto de vista adaptativo porque garantiza al organismo la conservación y restauración de la energía necesarias para las funciones en actividad.

Por otro lado, la CIE reconoce que pasar un tiempo adecuado al aire libre durante el día está asociado con una mejor salud y bienestar, y que la exposición a la luz natural es un componente causal significativo en estos efectos. También recomienda no restringir innecesariamente la luz del día en entornos interiores.

El hecho es que gran parte de la iluminación exterior utilizada en la noche es ineficiente en su aplicación, demasiado brillante, mal orientada, mal protegida y, en muchos casos, completamente innecesaria.

Para el alumbrado público, la eficiencia (lúmenes por watt) no es el único parámetro al que se debe prestar atención. La salud humana y el ecosistema nocturno son prioridad, sin por ello perjudicar a la necesaria visibilidad en función de horarios nocturnos adecuados. Las fuentes no deben producir efectos negativos por su contenido porcentual de azules y, por lo tanto, es recomendable bajar las TCC menores a 4.000 o 3.000 K. También es importante atenuar los niveles de iluminación a los valores más bajos posibles, o su extinción, si es innecesaria su presencia durante parte de la noche. En este aspecto las nuevas fuentes leds y sus fuentes de alimentación electrónicas (driver) son aptas para gestionar de manera inteligente todo tipo de programa que permita reducir la contaminación luminosa.

Debemos asumir que estamos frente a una nueva cultura de la luz. El alumbrado artificial nocturno exterior, debe ser eficiente, saludable, fiable, durable, acorde con el ecosistema nocturno y la economía circular. ❖