

# LUZ AZUL: ¿CUÁLES SON LOS RIESGOS PARA LOS OJOS?

Los peligros potenciales de la luz azul en el ojo humano son motivo de debate, especialmente a partir de la generalización de las lámparas de LED. Intentaremos explicar qué es la luz azul y mostrar dónde se encuentra, así como indicar por qué motivos y en qué condiciones puede ser dañina. Finalmente, ofreceremos algunas recomendaciones para limitar sus riesgos.



 Dr. Jean Leid

Jean Leid es oftalmólogo independiente, especialista en visión de los colores, autor de numerosas publicaciones respecto de este tema. Durante muchos años, ha sido administrador de la International Color Vision Society. Es profesor a cargo de cursos en la Facultad de Medicina de París 7 y ha sido coordinador del informe de las Sociedades de Oftalmología de Francia sobre las discromatopsias en 2001.

La luz azul existe desde que el mundo es mundo y, hasta el momento, nadie se mostró sorprendido. Desde hace algunos años, no obstante, se la encuentra en numerosos artículos de prensa, tanto en el ámbito del público general como en la literatura científica. ¿Por qué tanta atención y tanta inquietud?

La luz azul se encuentra en todas partes y, especialmente, en la luz solar. Esto no es una novedad. Lo que ha cambiado es nuestro modo de vida: globalmente podemos decir que, en algunos decenios, hemos pasado de las penumbras a la luz, por ejemplo, hemos modificado nuestras viviendas, ya que ahora las habitaciones están orientadas hacia el sur y provistas de grandes ventanales vidriados, mientras que nuestros antepasados preferían protegerse del sol; en los países occidentales, se ha producido un aumento de la exposición del cuerpo humano a la luz solar, dado que la vestimenta se ha aligerado y las actividades recreativas se orientan preferentemente hacia el sol (mar, montañas, esquí, etc.), pero aún hay más. En los últimos años, se han desarrollado dos tecnologías fundamentales favorables a la aparición de sobreexposición a la luz azul: las lámparas de LED y las pantallas de última generación. Al mismo tiempo, una verdadera epidemia se abate sobre la población de mayor edad (la DMAE (degeneración macular asociada a la edad), y también ha aumentado drásticamente el «consumo» que todos hacemos de las pantallas, en especial los más jóvenes. Esto fue suficiente para que surgieran los temores y se multiplicaran los interrogantes.

## ¿Qué es la luz azul?

Por lo general, la luz azul no se «ve» como tal. Es uno de los diferentes componentes espectrales de una luz

### PALABRAS CLAVE

Luz azul, DMAE, lámparas de LED, temperatura de color, índice de representación de los colores (IRC), luminancia, espectro de emisión, pantallas OLED/AMOLED, dispositivos digitales, cegueras unilaterales transitorias, toxicidad retiniana, estrés oxidativo, degeneración de los fotorreceptores, efecto acumulativo

determinada. Esto es cierto tanto para la luz solar como para las luces artificiales.

El ojo humano es un receptor muy selectivo de las ondas electromagnéticas, dado que solo es sensible a una ínfima parte de ellas. En la incidencia, su «espectro» abarca las longitudes de onda que oscilan 400 a 700 nm, permitiéndonos ver sucesivamente los colores del arco iris, desde los tonos denominados «fríos» (violeta, azul, verde azulado, de 400 a 500 nm) hasta los colores llamados «cálidos» (naranja, rojo, de 590 a 700 nm), pasando por los colores intermedios (verde, amarillo, de 500 a 590 nm). Este espectro corresponde a lo que conocemos como luz visible. Otras especies animales poseen receptores capaces de percibir otras regiones del espectro electromagnético.

Estos términos de luz cálida o fría se refieren a una característica que demuestra la sensación general de color producida por una fuente luminosa determinada: la temperatura del color. Esta se expresa en kelvin (K) (no se habla más de grados kelvin desde 1967) y oscila de 2000 a 3000 K para una luz rojiza (por ejemplo, bombilla incandescente de baja potencia) hasta valores de 6000 a 7000 K que dan la apariencia de una luz azulada, como la de un cielo de verano al mediodía, pasando por valores intermedios de 4000 a 5000 K para una luz de apariencia amarillenta, como la que emite una lámpara halógena (fig. 1).

En el campo de la iluminación, se utiliza también otra característica de la luz llamada Índice de Reproducción Cromática (IRC), de otra naturaleza, que expresa la capacidad de una fuente luminosa para procurar al ojo una representación de los colores lo más próxima posible a la realidad, hasta el valor límite superior de 100.

En ocasiones, estas características se ven de manera codificada en las fuentes de luz artificiales que se encuentran en el comercio, especialmente en las «luces de neón». Un código 840, que se encuentra con

frecuencia en los tubos fluorescentes clásicos, significa que tendremos una luz cuyo IRC será superior a 80 y cuya temperatura de color será de 4000 K. Sin embargo, a los industriales les encanta atribuir nombres, más alusivos, a esas cifras. Por ejemplo, esta luz se llamará «blanco neutro», mientras que otras recibirán el nombre de «blanco cálido», «blanco frío» o «luz de día».

### ¿Dónde se encuentra la luz azul?

Empezamos a comprender que un tipo de fuente determinada puede producir luces de «calidad» diferente y que, cuanto más se hable de luz fría, más azul habrá en el espectro.

En otros tiempos, con las lámparas incandescentes clásicas (las famosas «bombillas» conocidas a partir de Edison en 1879), estábamos habituados a hablar de cantidad de luz según la potencia provista por la bombilla. La calidad de la luz no era el punto importante porque, de todos modos, ese tipo de lámpara solo daba luces entre anaranjadas y amarillentas, apenas un poco más «claras» en las lámparas de 100 W. La IRC era verdaderamente mala y la temperatura de color era baja. Por el contrario, su espectro contenía muy poca luz azul (fig. 2). Lamentablemente para nuestro bienestar y la salud de nuestros ojos, diferentes lobbies lograron hacerlas desaparecer definitivamente de Europa desde el año 2012. Por cierto, nos sorprende que la única justificación de estas decisiones drásticas sea la economización de la energía global, la cual se incentiva debido al rendimiento energético deficiente de las lámparas incandescentes en comparación con las lámparas más modernas, sin tener en cuenta la huella de carbono que produce la fabricación y, en especial, el reciclado de estas lámparas, tema que se podría desarrollar más ampliamente.

No obstante, en materia de lámparas incandescentes, aún nos falta mencionar las lámparas halógenas. Estas aparecieron mucho más tarde (último cuarto del siglo XX,

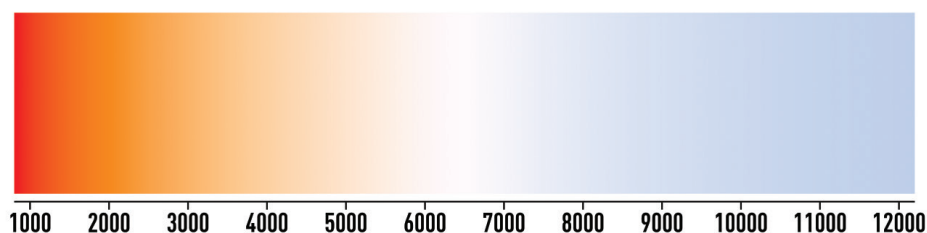


FIG. 1 | Las diferentes temperaturas de color en K representan el color de las radiaciones de un cuerpo negro (cuerpo teórico calentado a estas temperaturas) para un observador en luz diurna estándar D65 (<http://www.cie.co.at/index.php>)

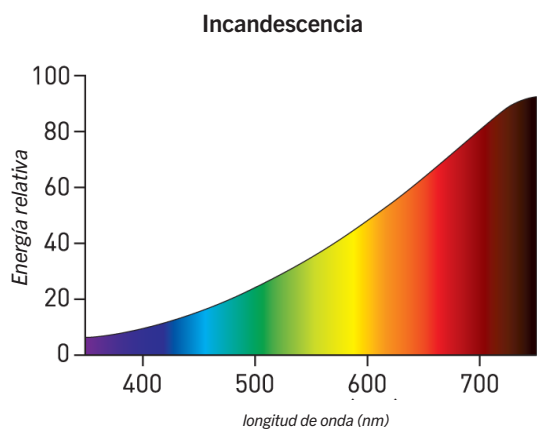


FIG. 2| Espectro de una lámpara incandescente. Contiene muy poco azul.

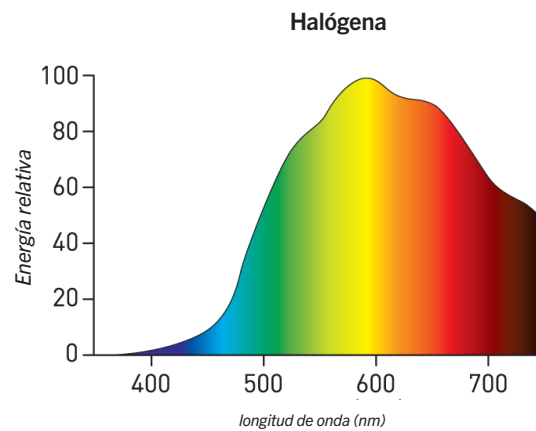


FIG. 3| Espectro de una lámpara halógena. Contiene muy poco azul, pero más amarillo que el de una lámpara incandescente ordinaria.

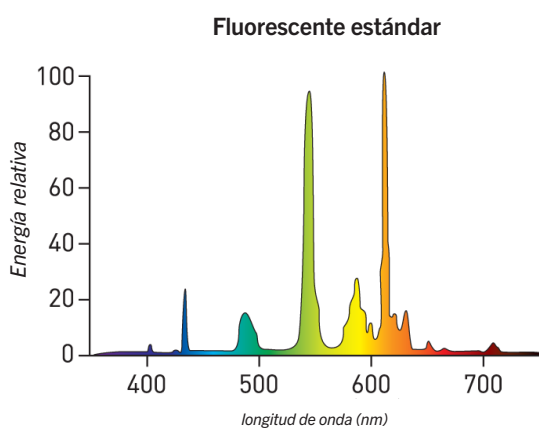


FIG. 4| Espectro de una lámpara fluorescente estándar. Espectro de rayas, poco azul.

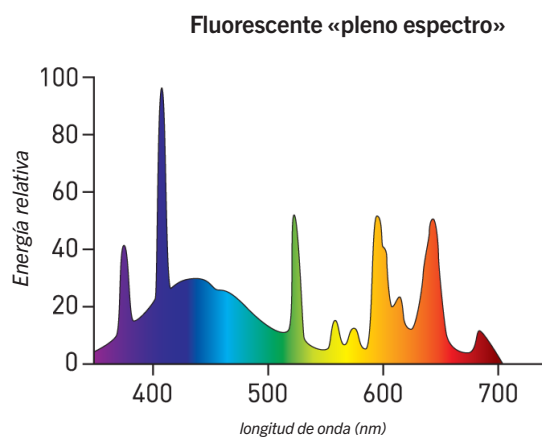


FIG. 5| Espectro de una lámpara fluorescente denominada «pleno espectro». Se aproxima al espectro solar y contiene mucho azul.

su invención data de 1959: Zubler y Mosby) y conservan la ventaja de un espectro pobre en luz azul (fig. 3) aunque dotadas de una temperatura de color más elevada. Su IRC sigue siendo débil porque todavía estamos lejos del espectro solar. Sin embargo, las instancias europeas habrían decidido prohibirlas. Se estaría hablando de suprimirlas en 2018.

Las lámparas fluorescentes son antiguas (Germer, 1926), con forma de largos tubos llamados «luces de neón». No hay más luces de neón desde hace mucho tiempo en estas lámparas, cuyo sistema de producción de luz producía un espectro muy diferente de los anteriores, dado que se trata de un espectro de rayas (fig. 4).

Como ya hemos mencionado, este espectro puede ser muy variable según las características buscadas de la luz (fig. 5).

La evolución moderna de este tipo de lámpara (principio de los años 80) está representada por las lámparas «fluocompactas», llamadas «bajo consumo», cuyo espectro está bastante próximo y es del mismo tipo, y cuyas dimensiones reducidas facilitan el uso. En la actualidad, se pueden encontrar fácilmente lámparas fluorescentes que contienen poco azul en su espectro.

Por último, las lámparas de LED invaden inexorablemente el mercado desde hace solo algunos años (1990), pero con una progresión fulminante. Los líderes de la industria de la iluminación estiman que más del 90 % de todas las fuentes luminosas mundiales se basarán en los productos de iluminación de semiconductores y los LED de aquí a 2020.

Los industriales consideran que estas lámparas tienen todas las cualidades: larga vida útil, constancia de la luz emitida, poco sensibles a la cantidad de encendidos y a los golpes, luz fría y, especialmente, considerable economía de energía como resultado de su rendimiento energético excepcional. Por desgracia, esto está lejos de ser comprobado, comenzando por la vida útil, que solo es teórica y depende mucho de la calidad de fabricación de la lámpara y de sus capacidades de enfriamiento (ya que solo la luz es fría, pero no la lámpara). Sin embargo, lo más inquietante para el oftalmólogo respecto de estas lámparas es su doble inconveniente que resulta de su importante emisión de luz azul (para la mayoría de las lámparas LED actuales) y de su formidable luminancia, 1000 veces superior a la de una lámpara clásica debido a la concentración extrema del haz.

Las lámparas de LED son lámparas de descarga en fase sólida que utilizan semiconductores, por lo que solo



**«El peligro no proviene de la cantidad total de luz emitida (el flujo luminoso), sino del doble riesgo constituido por la escasa distancia de observación y la duración del uso. Así, mirar una película en un smartphone con pantalla AMOLED puede resultar muy peligroso».**

pueden emitir un único pico de luz (es decir, un solo «color»). Por lo tanto, los LED blancos no existen. Para obtener una luz blanca, es necesario combinar varios LED de color (combinando tres colores primarios), lo cual resulta muy caro; agregar fósforo al envoltorio del diodo (logrando así un LED blanco luz de día) (fig. 6), o bien engañar al ojo del usuario gracias a LED azules en los que la intensa luminancia produce una sensación de luz «blanca». Este es el caso, actualmente, de la mayoría de los LED que se comercializan, especialmente en las lámparas económicas y las linternas. Su espectro es catastrófico para el ojo con un pico único en el azul y, lo que es peor, en el azul más tóxico (fig. 7). Afortunadamente, comienzan a aparecer lámparas con LED blancos cálidos en las que la proporción de azul es mucho menor gracias a una tecnología que utiliza dos fósforos, pero a costa de un precio elevado y una disminución importante del rendimiento energético (fig. 8).

¿Y cuál es la función del sol? Sin duda, el sol sigue siendo el primer «productor» de luz azul. El espectro solar depende de la hora del día, de la latitud de observación, de la altitud, de la estación del año y de la atmósfera (presencia de nubosidad). El espectro de referencia de la luz diurna, llamada natural, es la de un cielo observado al norte del hemisferio norte, al mediodía. Este espectro es bastante equilibrado, lo que nos permite considerar que esta luz tiene apariencia «blanca» (fig. 9).

Sin embargo, contiene una parte importante de luz azul de la que debemos desconfiar. Según las normas (ASTM G173-03 y D65), la luz azul representa del 24 % al 30 % de la luz diurna. Sabiendo que la luminancia de un cielo soleado es de, por lo menos, 5000 cd/m<sup>2</sup> y la de una pantalla de computadora es del orden de 250 a 300 cd/m<sup>2</sup>, tenemos mucho en qué pensar.

### Luz azul y pantallas

Además de las lámparas de LED, la inquietud se traslada sobre el uso cada vez más prolongado de las pantallas. Un 60 % de la población pasa más de seis horas al día delante de un dispositivo digital. (Estudio «Bleu en lumière»).<sup>[1]</sup>

Hemos visto que la luminancia de las pantallas es débil en comparación con la de la luz solar. No obstante, no solo utilizamos las pantallas muchas horas al día, sino que aún no pensamos en protegernos, al contrario de lo que sucede con la luz solar. Además, si por lo general se

mira televisión a una distancia respetable, este no es el caso de las pantallas de computadora, y menos aún de las tabletas y los teléfonos móviles que, los más jóvenes utilizan con frecuencia muchas horas al día.

La proporción de luz azul emitida por las pantallas depende mucho de su tecnología.

En las pantallas LCD clásicas, unos tubos fluorescentes retroiluminan el monitor. La percepción de la luz azul por parte del usuario es muy reducida y existen muy pocos riesgos.

Las pantallas LCD-LED son retroiluminadas por los LED, situados en los lados para disminuir el grosor de la pantalla. Al deber atravesar el monitor LCD, disminuyen mucho los riesgos.

Por el contrario, en las pantallas OLED o AMOLED (Active Matrix Organic Light Emitting Diode), el monitor produce su propia luz, directamente visible por el usuario. Estas pantallas se denominan «emisoras», en oposición a las pantallas LCD, llamadas «transmisoras». Al ser muy finas, se las utiliza cada vez más en los smartphone y las tabletas. La luz azul emitida es directamente recogida por la retina y a una distancia muy pequeña. El peligro no proviene de la cantidad total de luz emitida (el flujo luminoso), sino del doble riesgo constituido por la escasa distancia de observación y la duración del uso. Así, mirar una película en un smartphone con pantalla AMOLED puede resultar muy peligroso. Últimamente, se han informado cegueras unilaterales transitorias entre mujeres jóvenes que habían utilizado sus smartphone durante mucho tiempo, en la oscuridad y en posición decúbito lateral.<sup>[2]</sup> Este ejemplo nos permite ver los riesgos inmediatos. Pero este es el solo el principio de los problemas. La simple y trivial observación comparativa de una pantalla de smartphone AMOLED y de una pantalla LCD-LED permite que cualquier persona común y corriente comprenda rápidamente, de buena fe, que no estamos ante el mismo registro de luminosidad. La estrategia de los agentes de ventas consiste en hacer percibir esto como una ventaja, aunque solo existe incomodidad y peligro. El mismo discurso se aplica para las pantallas de computadoras de escritorio. Incluso el delegado general del organismo francés a cargo de la iluminación utilizó palabras muy duras para referirse a estas tendencias de marketing: «el mercado está podrido por fabricantes oportunistas que venden productos de muy mala calidad».<sup>[3]</sup>

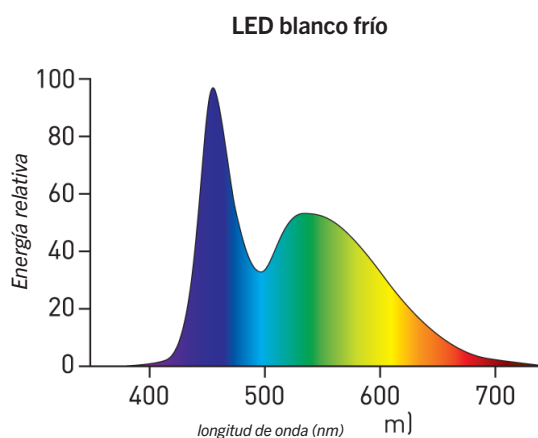


FIG. 6 | Espectro de una lámpara de LED blanco frío. Contiene mucho azul (35 %) en su ubicación más tóxica.

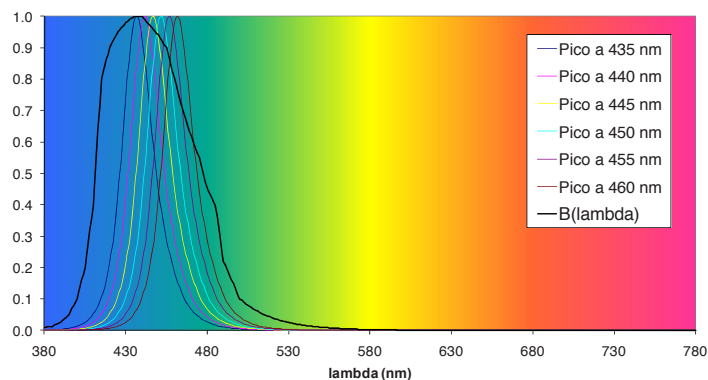


FIG. 7 | Espectro de lámparas de LED azules. Pico promedio cercano a 440 a 450 nm, es decir, próximo al color más tóxico (figura proveniente del informe ANSES).

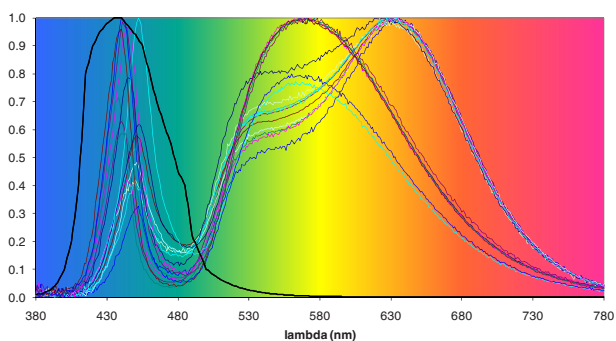


FIG. 8 | Espectro de las lámparas de LED blanco cálido que utilizan dos fósforos adicionales (figura proveniente del informe ANSES).

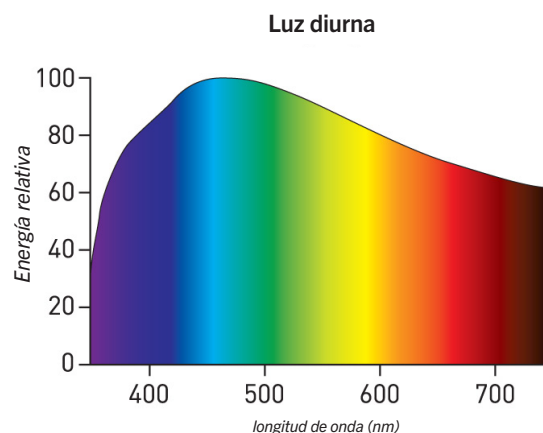


FIG. 9 | Espectro de la luz solar (iluminando D65 CIE). Mucho azul (de 24 % a 30 %) y equilibrio de los diferentes componentes.

### ¿Cuáles son los riesgos oculares de la luz azul?

Está claro que recibimos cada vez más luz azul. Pero esta famosa «luz azul», ¿es verdaderamente dañina y se debe temer?

Para empezar, ¿por qué el azul sería más peligroso que el rojo o el verde?

La respuesta se resume en una fórmula sencilla desarrollada en 1900 por Max Planck:  $W=hv$ , que muestra que la energía de un oscilador (la noción de fotón no surgirá hasta 1926, después de los trabajos de Einstein y luego de Compton) es directamente proporcional a su frecuencia, es decir, a la inversa de su longitud de onda (siendo  $h$  la constante de Planck). Cuanto más débil es la longitud de onda de la luz, mayor es la energía que transporta. Por lo tanto, en este punto, el azul se encuentra en primera línea.

Sin embargo, esto no basta para explicar la toxicidad retiniana de la luz azul.

Aparentemente, el primer estudio sobre la fototoxicidad de la luz azul (sobre los bastones de ratas iluminados por lámparas fluorescentes) data de hace medio siglo (Noell, 1966).<sup>[4]</sup>

No obstante, fueron los importantes trabajos de John Marshall los que descifraron este problema. Desde 1972, Marshall comenzó a mostrar la toxicidad de las luces de longitud de onda corta sobre los conos de paloma.<sup>[5]</sup> Le siguieron importantes estudios que demostraban *in vitro* los mecanismos de destrucción de los fotorreceptores por las luces azules en la DMAE.

De este modo, se precisó que la fotoactivación del todo-trans retinal por parte de la luz azul-violeta puede comportar un estrés oxidativo en los segmentos externos de los fotorreceptores. Más precisamente, la A2E, componente fotosensible de la lipofuscina, puede ser excitada por radiaciones de luz azul de 440 nm y acarrear, a largo plazo, la degeneración de los fotorreceptores y de las células del epitelio pigmentario.

No obstante, sería imprudente proscribir totalmente la luz azul, porque, para longitudes de onda apenas superiores, de unos 480 nm, existe un verdadero beneficio en recibir esta luz, ya que ella corresponde al pico de sensibilidad de las células ganglionares de melanopsina que están directamente implicadas en la sincronización del reloj circadiano (trabajos de Provencio 1998<sup>[6]</sup> y de Brainard 2001).<sup>[7]</sup>

«Por lo tanto, sería necesario poder limitar los riesgos retinianos de la luz azul, pero preservando la función esencial del reloj circadiano. Para ello, habría que cortar la luz azul hasta unos 455 nm y no filtrar más allá de los 465 nm».

Entonces, existe un límite muy estrecho entre el «azul bueno», útil para nuestro ciclo circadiano, en el que las incidencias en la economía general de la fisiología humana es considerable, y el «azul dañino», capaz a largo plazo de destruir nuestros preciosos receptores visuales.

Por lo tanto, sería necesario poder limitar los riesgos retinianos de la luz azul, pero preservando la función esencial del reloj circadiano. Para ello, habría que cortar la luz azul hasta unos 455 nm y no filtrar más allá de los 465 nm. ¡No hace falta decir que el margen de maniobra es muy limitado! (Fig. 10)

La aparición de los LED después de 1990 ha conducido a los investigadores a interesarse directamente en sus riesgos.

En 2001, Dawson y sus colaboradores demostraron, en retinas de monos, que las lámparas de LED que emiten luz azul eran tan tóxicas como un láser azul a igual exposición. <sup>[8]</sup>

En 2010, la ANSES (Agencia Nacional de Seguridad Sanitaria, Alimentación del Medio Ambiente y del Trabajo), bajo la dirección del profesor Béhar-Cohen, publicó un informe muy importante sobre los «efectos sanitarios de los sistemas de iluminación que utilizan diodos electroluminiscentes». <sup>[9]</sup> Este informe, seguido por dos publicaciones francesas en 2011 <sup>[10]</sup> y 2013 <sup>[11]</sup>, advierte contra los riesgos de las lámparas de LED en relación directa, por un lado, con el desequilibrio espectral de estas lámparas en favor de las débiles longitudes de onda cuya toxicidad *in vitro* está ampliamente demostrada y, por otro lado, con la muy intensa luminancia de estas lámparas, concluyendo particularmente que el riesgo fotoquímico estaba ligado a la dosis acumulada de luz azul a la que la persona ha estado expuesta.

Este informe transmite una serie de recomendaciones, como la necesidad de restringir la colocación de los

sistemas de iluminación LED en el mercado «público general», así como de adaptar las normas y hacerlas respetar. Asimismo, es conveniente informar correctamente al consumidor (etiquetado informativo de los sistemas de iluminación).

Hasta el momento, estas recomendaciones aún no se han aplicado y no se observa ninguna intención de hacerlo. No existe aún una toma de conciencia del riesgo de los LED sobre la salud pública y uno solo puede asombrarse y conmovirse ante el hecho de que el principio de precaución no se aplique, cuando algunos antecedentes lamentables en la materia en los últimos decenios deberían incitar a la reflexión y a la prudencia.

Es evidente que no existen suficientes estudios que permitan transponer *in vivo* las constataciones hechas de manera irrefutable *in vitro* sobre la toxicidad macular de las luces de longitud de onda corta. Algunos estudios a largo plazo permiten establecer claramente una relación entre la exposición prolongada a la luz azul y la DMAE (Beaver Dam Eye Study <sup>[12]</sup>, Etude Eureye <sup>[13]</sup>). Sin embargo, todo es cuestión de medios y de metodología. Es necesario que equipos de investigadores acepten dedicarse a realizar estudios largos y difíciles, teniendo en cuenta desde hoy los parámetros nuevos de nuestros modos de vida que se amplificarán rápidamente en los próximos años (pantallas, lámparas de LED). Sin esto, será difícil hacer escuchar la voz de la prudencia cuando los intereses económicos son mayores en este sector.

### Conclusiones

Actualmente, no se pueden negar los riesgos oculares potenciales de una sobreexposición a la luz azul. Para poder adoptar una postura moderada, pero lúcida, frente a esta cuestión en pleno debate, debemos recordar los principales «productores» de esta luz de alta energía capaz, *in vitro*, de destruir nuestras células maculares.

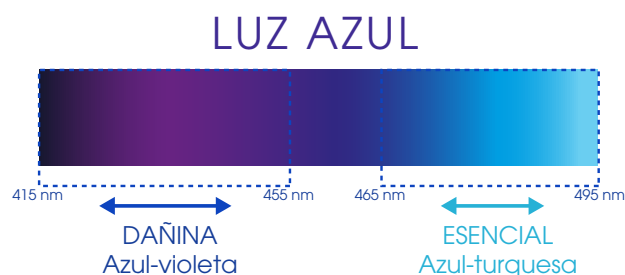


FIG. 10| El dilema de la luz azul



«No debemos perder de vista que lo más peligroso es el efecto acumulativo a través de los años y que es necesario combatirlo. Se deben tomar precauciones tempranas y duraderas».

Estos son, en primer lugar, el sol, y en segundo lugar, las luces artificiales de LED blanco frío y las pantallas AMOLED.

Ser prevenidos ante la preocupación de sus efectos nefastos implica una protección ocular permanente contra las radiaciones solares, gracias al uso de gafas oscuras de buena calidad. Es igualmente necesario tomar precauciones ante el uso de pantallas con fuerte emisión de luz azul, evitando observarlas mucho tiempo y desde muy cerca, y utilizando lo más posible sistemas ópticos que protejan de la luz azul tóxica. Estos procedimientos ya existen y, con el tiempo, podrán mejorarse y generalizarse. Es más difícil protegerse de la luz de las malas lámparas de LED que se generalizan, salvo utilizándolas con moderación en el hogar. Solo la toma de conciencia de los poderes públicos podría ser eficaz en este punto.

No debemos perder de vista que lo más peligroso es el efecto acumulativo a través de los años y que es necesario combatirlo. Se deben tomar precauciones en forma prematura y que se extiendan a largo plazo. En particular, se pondrá atención permanente sobre los niños, cuyos medios oculares dejan pasar en gran medida estas luces de alta energía, y sobre los jóvenes, inclinados a exponerse mucho a las pantallas y al sol.

Por último, se deberá hacer hincapié en la necesidad de mayor protección para los grupos de riesgo de más edad: los operados de cataratas, en especial si no han recibido implantes amarillos, y los portadores de maculopatías asociadas con la edad.

No nos privemos de la luz, que es tan fundamental, pero sepamos, como en el caso de muchos elementos naturales, comprenderla mejor para beneficiarnos de ella sin riesgos.



### INFORMACIÓN CLAVE

- La luz azul no es visible como tal, es un componente espectral de la luz visible que corresponde a las longitudes de onda de 400 a 500 nm aproximadamente.
- Los principales «productores» de la luz azul de alta energía, capaz *in vitro* de destruir las células maculares, son el sol en primer lugar y, en segundo lugar, las luces artificiales LED blanco frío y las pantallas AMOLED.
- La reciente aparición de las lámparas de LED y de las pantallas de última generación es responsable de una sobreexposición a la luz azul.
- La luz azul de longitud de onda 440 nm puede inducir un estrés oxidativo en los segmentos externos de los fotorreceptores que, a largo plazo, puede acarrear su degeneración, así como la de las células del epitelio pigmentario.
- Deben tomarse mayores precauciones, en particular con los niños, los operados de cataratas y las personas afectadas de maculopatías asociadas con la edad.
- No se debe proscribir toda la luz azul, ya que las longitudes de onda apenas superiores a 480 nm son beneficiosas y están directamente implicadas en la sincronización del reloj circadiano.

### REFERENCIAS

1. Campaña «Bleu en Lumière»: <http://www.bleuenlumiere.com/#bleuenlumiere>
2. Transient Smartphone "Blindness" N Engl J Med 2016; 374:2502-2504 June 23, 2016 DOI: 10.1056/NEJMc1514294
3. Les Brèves de l'AFE n° 64, marzo 2011. <http://www.afe-eclairage.fr/docs/10267-ext.pdf>
4. Noell WK, Walker VS, Kang BS, Berman S. Retinal damage by light in rats. Invest Ophthalmol. 1966;5:450-473
5. Marshall J, Mellerio J, Palmer DA. Damage to pigeon retinae by moderate illumination from fluorescent lamps. Exp Eye Res 1972;14:164-9.
6. Provencio I, Jiang G, De Grip WJ, Hayes WP, Rollag MD. Melanopsin: an opsin in melanophores, brain, and eye. Proc Natl Acad Sci USA. 1998;95:340-5.
7. Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne B, Glickman G, Gerner E, Rollag MD. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. J Neurosci 2001;21:6405-6412. [PubMed: 11487664]
8. Dawson W, Nakanishi-Ueda T, Armstrong D, Reitze D, Samuelson D, Hope M, et al. Local fundus response to blue (LED and laser) and infrared (LED and laser) sources. Exp Eye Res 2001;73:137-47
9. ANSES. Efectos sanitarios de los sistemas de iluminación que utilizan diodos electroluminiscentes (LED); 2010 [Disponible en el sitio [www.anses.fr](http://www.anses.fr)].
10. Behar-Cohen F, Martinsons C, Viénot F, Zisis G, Barlier-Salsi A, Cesarini JP, et al. Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye? Prog Retin Eye Res 2011;30:239-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.preteyeres.2011.04.002> [Epub 2011 May 14].
11. Arnault E, Barrau C, Nanteau C, Gondouin P, Bigot K, Viénot F, et al. Phototoxic action spectrum on a retinal pigment epithelium model of age-related macular degeneration exposed to sunlight normalized conditions. PLoS One 2013;8:e71398. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0071398> [eCollection 2013]
12. Cruickshanks KJ, Klein R, Klein BE, et al. Sunlight and age-related macular degeneration the Beaver Dam Eye Study. Arch Ophthalmol 1993;111:514-18.
13. Fletcher AE, Bentham GC, Agnew M, et al. Sunlight exposure, antioxidants, and age-related macular degeneration. Arch Ophthalmol 2008;126:1396-403.