



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

FACULTAD DE CIENCIAS

GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

Filtros de luz azul en la práctica optométrica

Blue light filters in optometric practices

Autor/es

Laura Pérez Plaza

Director/es

María Victoria Collados Collados

2020/2021

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado se basa en una revisión bibliográfica sobre los efectos de la luz azul en las distintas estructuras oculares y sobre la visión y calidad de vida. Se han consultado diversas bases de datos y páginas oficiales para conocer la información publicada hasta la fecha sobre la luz azul y los límites de exposición recomendados y esclarecer qué papel tienen los dispositivos electrónicos actuales en la emisión de luz azul nociva.

Se han analizado los estudios encontrados acerca de la eficacia de diferentes tipos de filtros de luz azul. Además, 374 sujetos han participado en una encuesta sobre el uso de diferentes ayudas ópticas contra la luz azul, lo que permitirá conocer la opinión de los usuarios sobre el efecto que producen en ellos las ayudas.

CONCLUSIÓN: Los estudios demuestran que la luz azul puede producir daño ocular fotoquímico, sin embargo, las emisiones de los dispositivos electrónicos no son suficientes para provocar daños. Se ha encontrado que la luz azul podría tener efectos beneficiosos en el control de miopía. Los filtros azules comerciales no evitan el daño, pero algunos parece que podrían ser eficaces en el control del ritmo circadiano.

PALABRAS CLAVE: daño fotoquímico, luz azul, filtro de luz azul, dispositivos electrónicos, pantallas

ÍNDICE

1. OBJETIVOS.....	2
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1. COMPORTAMIENTO DE LA LUZ EN LOS MEDIOS OCULARES	2
2.2. UNIDADES QUE VAMOS A EMPLEAR: RADIOMETRÍA Y FOTOMETRÍA	4
3. LÍMITES DE EXPOSICIÓN A LA LUZ AZUL y EMISIÓN DE FUENTES.....	5
3.1. LÍMITES DE EXPOSICIÓN A LA LUZ AZUL	5
3.2. EMISIÓN DE LUZ AZUL DE LAS FUENTES MÁS COMUNES	7
4. FILTROS AZULES COMERCIALES	9
5. EFECTOS DE LA LUZ AZUL EN EL OJO	11
5.1. LUZ AZUL Y SUPERFICIE OCULAR.....	11
5.2. LUZ AZUL Y CRISTALINO	12
5.3. LUZ AZUL Y RETINA	13
5.4. RITMO CIRCADIANO	14
5.5. DISCONFORT.....	14
5.6. LA LUZ AZUL EN LA REFRACCIÓN	16
6. ENCUESTA SOBRE EL USO DE AYUDAS PARA LA LUZ AZUL	18
7. CONCLUSIONES.....	20
8. BIBLIOGRAFÍA.....	21

1. OBJETIVOS

-Estudiar los diferentes efectos de la luz azul en las diferentes estructuras oculares, así como en la visión y la calidad de vida, para encontrar relación entre la luz azul y los cuadros clínicos con los que se suele relacionar.

-Evaluar si el empleo de dispositivos electrónicos puede dañar la salud ocular, analizando los estudios sobre la emisión de luz azul de las fuentes con más presencia en la sociedad: el Sol, iluminación artificial, LEDs, dispositivos electrónicos...

-Analizar si los filtros azules comerciales son una solución efectiva contra los efectos de la luz azul.

-Conocer la opinión de los usuarios sobre las diferentes ayudas ópticas frente la luz azul a través de una encuesta sobre el uso que le dan a las ayudas y sobre los cambios que perciben los sujetos tras su empleo.

2. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la tecnología ha pasado a formar parte de nuestra vida diaria hasta el punto en que las generaciones más jóvenes han implantado inconscientemente un novedoso estilo de vida, en el que no imaginan un entorno sin dispositivos electrónicos. Cada sistema visual se ve sometido a largos periodos de exposición frente a pantallas. Los adolescentes emplean de media 7.6 horas de uso de dispositivos como consolas o televisión, según Michaelson et al¹.

El riesgo del uso de aparatos electrónicos se asocia a la luz azul que emiten, incluso se ha introducido un nuevo término para denominar los posibles efectos que produce la luz azul en el ojo: “*blue light hazard*” (BLH: peligro de la luz azul). Este concepto hace referencia a los daños fotoquímicos en las estructuras oculares que tienen lugar tras una exposición prolongada frente a radiación azul emitida por cualquier fuente.

Sin embargo, ¿puede la luz azul emitida por los dispositivos electrónicos comprometer nuestros ojos? Existe una preocupación creciente sobre las consecuencias de las emisiones de los aparatos electrónicos en la salud ocular^{2, 3}, así como en la función motora y visual⁴. Esta preocupación por la luz azul ha llevado a la comercialización de filtros para lentes oftálmicas, para intentar minimizar los efectos del *blue light hazard*.

A lo largo del documento se va a realizar un recorrido a través de la información publicada sobre la luz azul y las ayudas que bloquean esta supuesta radiación nociva, como son los filtros en lentes oftálmicas.

2.1. COMPORTAMIENTO DE LA LUZ EN LOS MEDIOS OCULARES

La clasificación de radiación electromagnética va desde los rayos gamma, ($\lambda < 1\text{nm}$), hasta las ondas de radio, ($\lambda = 100\text{ km}$). En la Figura 1 se muestra el espectro de luz visible (380nm-780nm) y su proporción con respecto a los demás tipos de ondas electromagnéticas. En este trabajo estudiaremos los efectos de la luz azul en el ojo, que está en el rango de 400 a los 500nm⁵, aproximadamente.

Limitando la luz visible se encuentra la radiación ultravioleta (UV), que tiene menor longitud de onda que la luz visible; y la radiación infrarroja (IR), con mayor λ que la radiación visible. Vamos a establecer los límites de los rayos UV e IR de acuerdo con la Comisión Internacional de Iluminación (CIE)⁶.

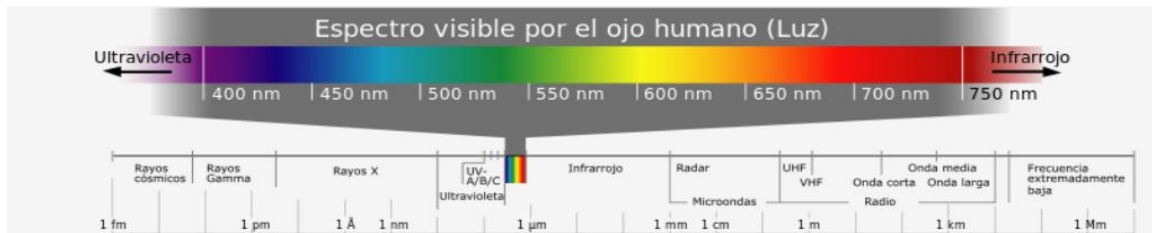


Figura 1⁶. Rango del espectro visible en proporción a los demás tipos de radiación.

La radiación ultravioleta (UV) es la región del espectro electromagnético comprendido entre las longitudes de onda desde 100 a 380nm. De acuerdo con la CIE, podemos dividir el espectro ultravioleta en tres zonas de menor a mayor λ ^{7, 8}: UVC (CIE: 100-280nm), que es absorbida completamente por la capa de ozono y la estratosfera; UVB (CIE: 280-315nm), que a pesar de que gran parte es absorbida por la capa de ozono, puede alcanzar la superficie terrestre, provocando quemaduras, envejecimiento de la piel en humanos o daños oculares (este rango está asociado con el desarrollo de cataratas corticales⁹); y, por último, la radiación UVA (CIE: 315-380nm), que son los rayos UV más cercanos a la radiación visible, además de los menos energéticos. Los UVA son muy poco absorbidos por la atmósfera y son los encargados de producir el bronceado. Además, la radiación UV tiene efectos negativos en la salud ocular, llegando a comprometerla. Se relaciona con patologías como el pterigium¹⁰, edema macular cistoide¹¹ o el melanoma uveal¹².

Por otro lado, encontramos la radiación infrarroja (IR), que corresponde a la región situada entre los 780nm y 1mm. Los rayos IR están presentes en mandos a distancia, equipos de visión nocturna, termómetros¹³, entre otros. De acuerdo con la CIE, podemos dividir el espectro infrarrojo en tres zonas (de menor a mayor λ): los rayos IRA (CIE: 780-1400nm), o IR cercano, tienen gran utilidad en medicina, pues ofrecen métodos diagnósticos no invasivos; la radiación IRB (CIE: 1400nm-3 μ m), es la empleada en sistemas de calefacción, y la radiación IRC (CIE: 3 μ m-1mm), o IR térmica, es la captada por los satélites meteorológicos para medir la temperatura de la superficie terrestre. No se han encontrado evidencias de alteraciones morfológicas o funcionales fruto de la radiación infrarroja en el ojo. Sin embargo, se sabe que se puede emplear para medir la temperatura ocular¹⁴, que tiene utilidad para detectar el ojo seco.

No toda la luz que llega a nuestros ojos alcanza la retina. La radiación sufre distintos procesos (reflexión, refracción, absorción, difusión) al atravesar los distintos medios oculares, evitando así que llegue el 100% de la radiación incidente a la retina. El ojo está formado por varios dioptrios que separan medios de distinto n , cónea anterior y posterior y cristalino anterior y posterior. De las cuatro superficies oculares refractivas, la que refleja mayor cantidad de luz incidente es la primera superficie corneal, que refleja aproximadamente un 3% de la luz incidente en el visible (este porcentaje depende de la longitud de onda). La cara posterior de la córnea y las dos caras del cristalino reflejan menos del 0.2% de la luz que alcanza estas superficies¹⁵.

La energía de la luz incidente en el ojo que no se refleja, se refracta, en otras palabras, atraviesa el medio pero cambiando la dirección según la ley de Snell. De la energía que se refracta, parte se pierde bien por difusión de los medios, o bien por absorción (atenuación de la radiación al atravesar un medio). La absorción comienza en la córnea, que es la primera estructura ocular con la que entran en contacto los rayos. La córnea absorbe casi completamente la radiación IRB e IRC y las longitudes de onda por debajo de los 300nm, que se corresponde con la radiación UVB y UVC. El humor acuoso (HA) absorbe gran cantidad de los rayos IRB e IRC que han atravesado la córnea, sobre todo en las λ por debajo de 2 μ m. El IRA e IRB son transmitidos casi en su totalidad por el cristalino, estructura que a su vez filtra gran

cantidad de rayos UVA. Por eso, tras una operación de cataratas, las lentes intraoculares implantadas buscan filtrar también el UV^{16, 17}, para compensar la ausencia del filtro natural, que es el cristalino. El humor vítreo (HV) es el encargado de reducir parte de la radiación IRA que alcanza la retina. La retina y la coroides absorben sobre todo la radiación visible y el IRA.

En la tabla 1 y la figura 2, se indica la transmitancia a través de los diferentes medios oculares (córnea, HA, cristalino y HV) en % en función de la longitud de onda. En ellas se ve que el rango de λ con un mayor porcentaje de radiación transmitida hasta la retina es 600-900nm, es decir, parte del visible y del IRA, pues un 80% aproximadamente de este rango alcanza la retina. En el rango de luz visible que nos ocupa en este trabajo (400nm-500nm), las longitudes de onda de luz azul más cortas, cercanas a 400nm, son absorbidas casi en su totalidad por el cristalino, llegando un 10% a la retina. La transmitancia total para las longitudes de onda cercanas a 500nm es de aproximadamente un 75%.

Tabla 1. Transmitancia (%) de cada medio ocular según la longitud de onda incidente.

% Transmitancia a través de los medios oculares				
λ (nm)	CÓRNEA	HA	CRISTALINO	HV
300	30	30	0	0
400	80	70	10	10
500	90	85	80	75
600	90	±87	85	80
750	±92	90	87	82
900	±92	90	85	82
1000	90	80	65	±37
1700	70	<10	<10	<10

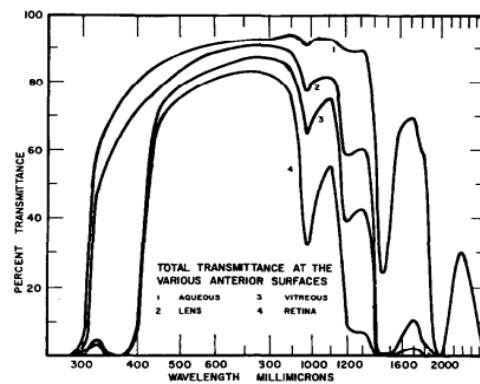


Figura 2¹⁸. Curvas de transmitancia (%) de los medios oculares según la λ .

2.2. UNIDADES QUE VAMOS A EMPLEAR: RADIOMETRÍA Y FOTOMETRÍA

Para comparar los resultados de investigación de los estudios que vamos a comentar a continuación, va a ser fundamental hablar de las mismas unidades de radiometría y fotometría, tanto de emisión como de recepción.

Para relacionar las unidades radiométricas con las fotométricas se tienen que definir los conceptos flujo radiante (P_e), que se mide en Vatios [W] y flujo luminoso (P), que se mide en lúmenes [lm]. Ambos hacen referencia a la energía por unidad de tiempo emitida por una fuente en todas direcciones. La diferencia entre P_e y P es que P, al igual que las demás unidades fotométricas, está calculado en función de la curva de sensibilidad del ojo $V(\lambda)$. La curva de sensibilidad aparece representada en la Figura 3. El pico máximo de sensibilidad del ojo en visión fotópica se sitúa en 555nm. La relación entre flujo radiante y luminoso es la siguiente:

$$P = Km \sum_{380}^{780} Pe\lambda * V(\lambda) * \Delta\lambda \quad (1)$$

donde $Km = 680 \text{ lm/W}$ y $\Delta\lambda = 1 \text{ nm}$.

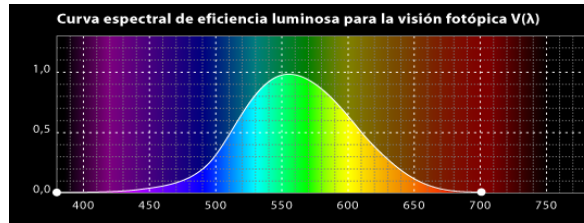


Figura 3¹⁹. Curva de sensibilidad del ojo para visión fotópica $V(\lambda)$.

En este trabajo se tratará sobre todo con fuentes extensas, por lo que se trabajará con el concepto de radiancia. La radiancia [L_e] es el cociente entre flujo luminoso de una fuente extensa y el área de su superficie multiplicada por el ángulo sólido que indica la dirección en la que emite la fuente. La radiancia L_e es una unidad radiométrica y se mide en $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$. Su unidad equivalente en fotometría es la luminancia (L), que se mide en cd/m^2 , siendo 1 candela (cd) = $1 \text{ lm}/\text{sr}$. La irradiancia [E_e] por su parte se emplea en estudios que emplean fuentes de luz puntuales. E_e indica el flujo recibido por una superficie entre el área de la superficie receptora. La Irradiancia se mide en W/m^2 . La iluminancia (E) es la unidad fotométrica equivalente a E_e y se mide en lux, siendo 1 lux (lx) = $1 \text{ lm}/\text{m}^2$.

3. LÍMITES DE EXPOSICIÓN A LA LUZ AZUL y EMISIÓN DE FUENTES

3.1. LÍMITES DE EXPOSICIÓN A LA LUZ AZUL

A lo largo de la búsqueda bibliográfica se hablará de distintos valores de radiancia e irradiancia de distintas fuentes. Para saber si son dañinas las emisiones de las fuentes de iluminación de los estudios, necesitamos acogernos a una normativa que establezca los valores de radiancia e irradiancia azul límites a los que exponernos sin que suponga un riesgo. Estos límites están contemplados en la norma UNE-EN 62471²⁰, establecida por la Asociación Española de Normalización (AENOR). Los límites de exposición contemplados en la norma los cubrió la Directiva de Radiación Óptica Artificial (2006/25/CE)²¹. Los límites fueron publicados a su vez por la Comisión Internacional de Protección de Radiación no Ionizante²² (ICNIRP), que es el informe del que se han extraído los datos.

La ICNIRP²² divide los daños oculares y cutáneos según la exposición de la fuente y la λ emitida. Estudiar los daños en la piel no va a ser relevante en este trabajo por lo que se hablará de los oculares. Los tipos de daño se dividen en dos tipos: térmico y fotoquímico. El primero afecta a la mayoría de estructuras oculares dependiendo de la λ a la que se exponen. El iris y la retina se dañan cuando la exposición emite entre 380 y 1.400nm, es decir, emisión del visible y del infrarrojo A, siempre que la radiancia emitida por las fuentes sea muy elevada, como en el caso de lámparas de xenón. El cristalino se ve dañado si la exposición es de radiación IRA e IRB (800-3.000 nm), mientras que la córnea se daña térmicamente con emisiones de IRB e IRC (de 1.400nm a 1mm). Entre los efectos del daño térmico²⁰, podemos encontrar catarata, despigmentación retiniana, blefarospasmo... Por otro lado, encontramos el daño fotoquímico, que afecta a la retina, principalmente. El daño fotoquímico se diferencia en dos tipos: el daño por exposición prolongada a una fuente brillante (tipo 1), y el daño por luz azul o Tipo 2 (380-550nm). Una de las diferencias entre daños fotoquímicos y térmicos es que los fotoquímicos cumplen el principio de reciprocidad, es decir, que los daños se pueden producir tanto exponiéndose durante poco tiempo a una fuente muy brillante, como si la exposición es prolongada y la fuente no es

tan brillante. Este trabajo se va a centrar en el daño fotoquímico de la luz azul, estudiando no sólo sus efectos en retina, si no en las demás estructuras oculares.

En la normativa, para fuentes puntuales, como puede ser el sol, se emplea la irradiancia E_e , o la exposición radiante (H) si se tiene en cuenta el tiempo de exposición. H se mide en $J/(m^2)$ ($J=W.s$). Se emplea la radiancia, L_e , al hablar de fuentes extensas, o bien se puede emplear la dosis radiante (D) que tiene en cuenta el tiempo de exposición y se mide en $J/(m^2*sr)$. Al formarse imagen de la fuente extensa en retina, se podría relacionar la radiancia de una fuente con la irradiancia retiniana que provoca, teniendo en cuenta la transmitancia ocular (ζ), el diámetro pupilar (dp) y la distancia focal imagen del ojo (f') mediante la siguiente ecuación:

$$E_{ret_e} = L_e * \pi/4 * \zeta * dp^2 / f'^2 \quad (2)$$

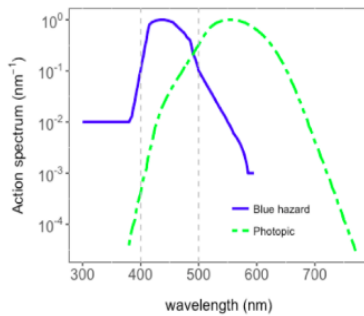


Figura 4²³. Curvas de sensibilidad del ojo para luz azul $B(\lambda)$ y visión fotópica $V(\lambda)$.

La radiancia L_e así como la irradiancia E_e de la fuente de luz, se puede ponderar en función del daño que produce la luz azul en el ojo, definiendo la curva *Blue Light Hazard* $B(\lambda)$, representada en la Figura 4 junto a la curva de sensibilidad fotópica. A mayor valor de $B(\lambda)$, mayor riesgo de que la fuente pueda llegar a causar efectos adversos en las estructuras oculares y en la piel. El rango de λ que produce mayor daño fotoquímico por exposición a luz azul es 420-460nm ($B(\lambda) \geq 0.9$), según el ICNIRP²². Dentro de este rango, las λ que suponen un mayor riesgo de daños por luz azul son 435 y 400nm, que alcanzan una $B(\lambda) = 1$. Teniendo en cuenta la curva $B(\lambda)$, se pueden definir una

nueva radiancia (L_B) e irradiancia (E_B) a partir de la radiancia (L_e) e irradiancia (E_e) definidas en 2.2 de la siguiente manera:

$$L_B = \sum_{380}^{700} L_{e\lambda} * B(\lambda) * \Delta\lambda \quad (3)$$

$$E_B = \sum_{380}^{700} E_{e\lambda} * B(\lambda) * \Delta\lambda \quad (4)$$

Los límites de exposición frente a una fuente de luz azul según la norma UNE-EN 62471²⁰ vienen recogidos en la Tabla 2. Los datos de E_B y L_B , vienen dados según el tiempo de exposición. Como se ve en la Tabla 2, tanto la radiancia como la irradiancia límite dependen del tiempo de exposición cuando este está por debajo de 2.7h y 1.6 minutos, respectivamente. Estos valores límite son los que se van a emplear para comparar resultados de estudios.

Tabla 2. Límites de exposición por riesgo de daño fototóxico.

UNIDADES	VALOR LÍMITE
Fuentes extensas	RADIANCIA (L_B) [$\frac{W}{m^2*sr}$]
Para $t \leq 10.000s$	$L_B = \frac{10^6}{t}$
Para $t > 10.000s$	$L_B = 100$
Fuentes puntuales	IRRADIANCIA (E_B) [$\frac{W}{m^2}$]
Para $t \leq 100s$	$E_B = \frac{100}{t}$
Para $t > 100s$	$E_B = 1$

3.2. EMISIÓN DE LUZ AZUL DE LAS FUENTES MÁS COMUNES

Una de las fuentes de luz más presentes en nuestra vida cotidiana es la luz solar. El espectro solar que alcanza la atmósfera terrestre se muestra en la figura 5. El espectro muestra una gran contribución de las longitudes de onda entre 400-500nm, es decir, luz azul. Aunque, según la tabla 1, el porcentaje de luz solar que alcanza la retina es menor para las longitudes de onda alrededor de 400nm, el valor de la curva $B(\lambda)$ es mayor para estas longitudes de onda, por lo que es más probable que produzcan daño fotoquímico²⁵. La irradiancia efectiva media del sol E_B es de 112 W/m^2 ²⁴. Esta irradiancia se ha obtenido a partir del espectro visible y del UV, aunque la contribución de la luz UV al BLH es mínima, como se puede observar en la figura 4. Según este valor y los límites de irradiancia especificados en el apartado anterior, el Sol es una fuente puntual de luz tan potente que es prácticamente inviable mirarlo fijamente por más de 0.89 segundos. Cabe destacar que el Sol no es una fuente de iluminación que se mire directamente en condiciones normales, sino que su luz se percibe reflejada o difundida en otras superficies. Por lo tanto, la irradiancia que el ojo humano percibirá no será tan elevada como al mirarlo directamente.

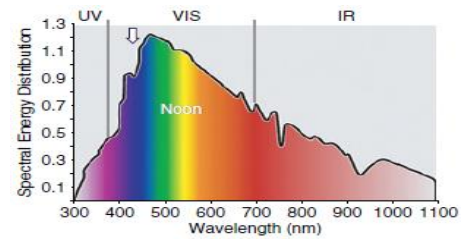


Figura 5²⁵. Espectro de la luz solar que alcanza la atmósfera terrestre.

Debido a su color azulado, el cielo se podría pensar que emite dosis excesivas de luz azul. Sin embargo, considerando el cielo azul como una fuente de luz extensa, la radiancia L_B del cielo azul un día despejado de verano, alcanza tan solo un 10% aproximadamente del límite de radiancia para fuentes extensas establecido en la normativa ($10.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$). En invierno, la radiancia resultante es incluso menor. Otros estudios, sitúan la radiancia del cielo azul en $6.2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$ ²⁶. En cualquier caso, no debería suponer un riesgo mirar directamente al cielo azul por más de 10.000s.

Existe una gran variedad de lámparas artificiales que se utilizan en iluminación. En la Tabla 3 se resumen las radiancias (L_B) correspondientes a algunas de las más frecuentes. Las lámparas fluorescentes son las que menor riesgo suponen para el ojo humano, pues no emiten tanta radiancia como, por ejemplo, un filamento incandescente. Las fuentes de iluminación LED también se han considerado extensas en este estudio. Los LED con mayor temperatura de color emiten más radiancia L_B que los de menor temperatura de color, y por tanto el tiempo límite de exposición para evitar el daño fototóxico es mayor en los LED con menor temperatura de color (43 minutos), que en los de mayor (19 minutos), suponiendo $\leq 10.000\text{s}$. De todas las fuentes artificiales de las que se ha encontrado evidencia, podemos destacar los LED *Royal Blue* (3W) cuyo tiempo de exposición directa límite ronda el minuto, debido a su alta radiancia L_B . La lámpara de xenón 500W es la que mayor radiancia efectiva tiene ($1.1 \cdot 10^6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$), siendo su tiempo límite de exposición 0.91s. Las lámparas de xenón tienen diversas aplicaciones, como proyectores de cine, fuente de iluminación de lámparas de hendidura²⁷, e incluso en industria e investigación como simulador de la luz solar²⁸, puesto que su radiancia L_B es equiparable a la del Sol ($1.2 \cdot 10^6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$)²⁹.

En los últimos años se han introducido nuevas fuentes de iluminación, a las que se les ha atribuido un exceso de emisión de luz azul. Estamos hablando de los dispositivos electrónicos. El espectro de emisión de una Tablet se muestra en la Figura 6, donde se ve un pico de emisión de luz azul, al igual que en la distribución espectral de un LED, que se observa en la Figura 7. Sin embargo, en un estudio de 2016³², en el que se analizó la emisión de 25 dispositivos, se expuso que ninguno de estos aparatos electrónicos supera una radiancia L_B de $0.38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$, es decir, están muy por debajo de los límites de riesgo, incluso en exposición prolongada. La máxima radiancia en este estudio la emitían los *smartphones* y, la mínima, las pantallas de ordenador. Las tablets y ordenadores portátiles emitían radiancias L_B similares (0.127 y $0.107 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$), respectivamente). Para medir la radiancia L_B de los dispositivos electrónicos en estos estudios, la pantalla se suele cambiar a una imagen completamente azul. En condiciones de uso normales, las pantallas no son completamente azules, si no que la combinación de LEDs de los colores primarios (rojo, verde, azul) permite mostrar imágenes de diferentes colores. Con lo cual, la contribución de la luz azul es incluso menor en condiciones normales de uso que en condiciones de estudio.



Figura 6³⁰. Espectro de emisión del iPad PRO 6500K.

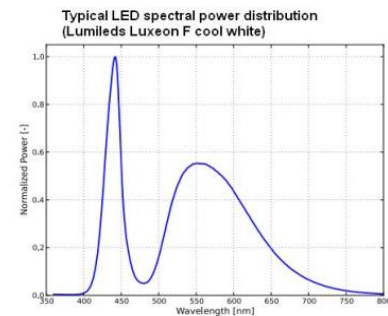


Figura 7³¹. Espectro de emisión de un LED.

Tabla 3. Resumen datos de radiancia L_B e irradiancia E_B de diferentes fuentes de luz.

FUENTE DE ILUMINACIÓN	RADIANCIA (L_B) [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr})$]	ESTUDIO
Cielo azul (verano)	10.4	32
Cielo azul (invierno)	3.4	32
Lámpara fluorescente	5.6	26
Filamento incandescente	858	26
LED (3000K)	388	26
LED (6500K)	858	26
LED Royal Blue 3W	15.000	26
Arco de Xenón	$1.2 \cdot 10^6$	29
Media smartphones	0.262	32
Media tablets	0.127	32
Media portátiles	0.107	32
Media ordenador	0.082	32
FUENTE DE ILUMINACIÓN	IRRADIANCIA (E_B) [W/m^2]	ESTUDIO
Sol	112	24

En otro de los estudios sobre la emisión de luz azul de dispositivos electrónicos²³, se ofrecen medidas experimentales de irradiancia. En este caso no se pueden comparar los resultados obtenidos directamente con los límites establecidos en la norma UNE-EN 62471²⁰, que no contempla límites de irradiancia para fuentes extensas. Sin embargo, sí que se pueden comparar con la irradiancia solar (E_B). La irradiancia (E_B) de los dispositivos no supera en ninguno de los casos los $0.234 \text{ W}/\text{m}^2$ al medirla a 10cm de distancia. La irradiancia depende de la distancia a la que nos coloquemos de la fuente, en el estudio se demuestra que la irradiancia (E_B) se reduce en un 84% al aumentar la distancia de observación desde 10 cm a 30-40cm. Además, también nos proporciona datos del cielo azul a pesar de ser una fuente

extensa. La irradiancia medida del cielo azul varía entre 14 y 35 W/m², según las condiciones meteorológicas²³.

En resumen, los niveles de emisión de luz azul de los dispositivos electrónicos más comunes, así como de las fuentes de iluminación artificiales, están muy por debajo de los límites de riesgo fotoquímico por exposición. La fuente que mayor radiancia azul efectiva emite es la lámpara de xenón, sin tener en cuenta el Sol. La irradiancia de los dispositivos no superaba en ningún caso la E_B solar. Con lo cual, en un principio las fuentes de luz artificiales no tendrían que suponer un riesgo para nuestra salud ocular en términos de daño fotoquímico. Sin embargo, se están comercializando ayudas o filtros para bloquear las λ cortas. A lo largo de este trabajo se tratará de buscar información sobre los fundamentos del daño fotoquímico en las diferentes estructuras oculares y de otros posibles efectos de la luz azul en la visión, así como de la eficacia de los filtros para luz azul que se comercializan.

4. FILTROS AZULES COMERCIALES

Hoy en día, la gran mayoría de casas comerciales cuentan con sus propios filtros azules para aplicar en lentes oftálmicas. Saber el porcentaje de luz azul que transmiten los filtros nos permite comparar con las condiciones de los estudios que investigan acerca de la eficacia de filtros azules en las estructuras oculares, así como en el sistema visual.

Tabla 4. Transmitancia (%) de diferentes filtros azules comerciales.

FILTRO COMERCIAL	%T, $\lambda \leq 460\text{nm}$	%T, $\lambda (460\text{nm}, 500\text{nm}]$
BBGR I Relief	69	31
Shamir Blue Shield	67	33
Hoya Blue Control	66	34
Shamir Glacier	58	42
MR Blue Coat	57	43
Essilor Prevencia	54	46
Zeiss Blue Protect	52	48
GKB Blue Cut	48	52
Kodak in mass	48	52
Shamir Blue Zero <i>in mass</i>	46	54
Acromático (control)	67	33

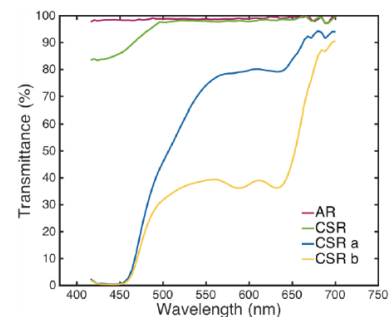


Figura 8³⁴. Curvas de Transmitancia (%) de diferentes filtros azules de la gama CSR de Prats.

En la tabla 4 se encuentran los porcentajes de transmisión (%T) de distintos filtros comerciales, tanto para $\lambda \leq 460\text{nm}$, como para el rango de λ comprendido entre 460nm y 500nm³³. Cabe destacar que el estudio del que se han obtenido estos datos es de 2019, por lo que algún filtro ha cambiado su nombre o no se comercializa más. Por ejemplo, no se ha encontrado información sobre *Relief*, de BBGR, pero sí se ha encontrado el filtro BBGR Neva[®] Max Blue UV. Es curioso ver cómo conforme aumenta la transmitancia en $\lambda \leq 460\text{nm}$, ésta disminuye en el rango entre 460nm y 500nm. Sabemos que el rango de máximo *blue light hazard* se sitúa entre 435 y 440, según el ICNIRP²³, con lo cual deberían ser más efectivos aquellos filtros comerciales que bloqueen mayor cantidad de luz azul por debajo de 460nm. Los que más $\lambda \leq 460\text{nm}$ bloquean son: GKB Blue Cut, Kodak “en masa” y Shamir Blue Zero “en masa”. De hecho, estos tres filtros permiten el paso de aproximadamente la mitad de luz azul recibida para esas longitudes de onda.

Existen filtros de casas comerciales con una transmitancia mucho más baja en longitudes de onda menores que 460nm, como los CSRa y CSRb terapéuticos de Prats. La figura 8 muestra la transmitancia

de los filtros CSRa y b, por debajo del 5% para radiación menor de 450nm, frente al filtro comercial CSR, cuya transmitancia de radiación por debajo de 450nm es aproximadamente de un 85%. En el caso de los CSRa y b la transmitancia disminuye también para longitudes de onda mayores a 500nm.

Los precios de lentes básicas con filtro azul suelen rondar los 100 euros, como las Hilux Blue Control de stock de Hoya 1.5 (113 euros), o las Blue Safe Quarz Xtrem 1.6, de Prats que cuestan 99 euros. La diferencia de precios con lentes de stock sin filtros y características similares ronda los 20 euros. En el caso de Hoya, la diferencia de precio es menor (16 euros) con una lente con filtro antirreflejante (Hilux Hi-Vision Longlife 1.5).

Existen otras ayudas para bloquear la luz azul, como los filtros azules adhesivos para las pantallas electrónicas o el ajuste nocturno de los dispositivos electrónicos. Su finalidad es la misma que la de los filtros en lentes oftálmicas. La mayoría de *smartphones* nuevos tienen la opción de filtrar la luz azul que emiten, cambiando su emisión a colores más cálidos. El espectro que emite un móvil con y sin la función de filtro azul se ven representados en la Figura 9. Cuando el filtro no está activado, se observan tres zonas de máximos (curva azul) correspondientes a los tres colores elementales, y se puede ver cómo al activar el filtro (curva roja), los picos de la emisión de luz azul y verde se reducen considerablemente, manteniéndose la curva cercana a los 630nm (rojo).

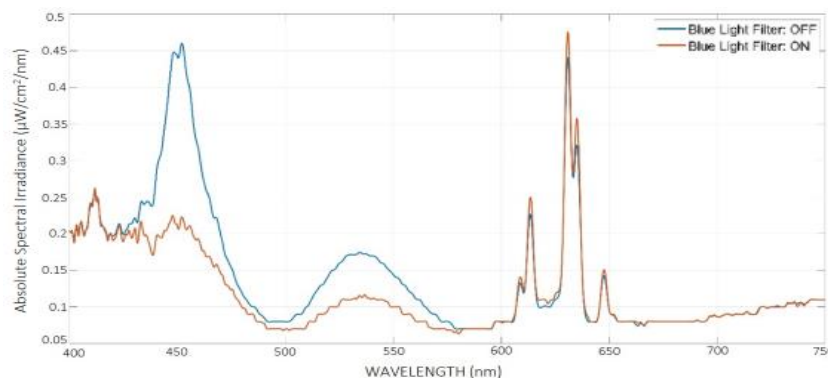
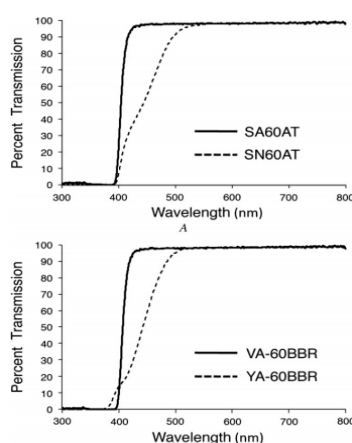


Figura 9³⁵. Curvas de emisión de un dispositivo móvil con el ajuste nocturno desactivado (azul), y activado.

Otro tipo de filtros que se utilizan en óptica oftálmica son los que se incluyen en las lentes intraoculares (LIO). Como hemos visto en el apartado 2.1, el cristalino filtra un porcentaje alto de UVA



y radiación en torno a los 400nm. Las LIO con filtro de luz azul se comenzaron a distribuir para evitar el daño fotoquímico por emisión de luz azul. El daño como tal se comentará más adelante. Entre las LIOs más comunes se encuentran la gama Acrysof (SN60WF, SA60AT y SN60AT), de Alcon y las lentes de hoya (VA-60BBR y YA-60BBR). Las LIOs de ambas casas comerciales siguen el mismo patrón: aquellas tintadas de amarillo (SN60AT, YA-60BBR), bloquean aproximadamente el 50% de las λ cercanas a 450nm y un 15% de radiación azul cercana a los 400nm que llega a la lente, mientras que las lentes claras transmiten el 100%. Las curvas de transmisión de estas lentes se muestran en la figura 10.

Figura 10³⁶. Curvas de Transmitancia (%) de diferentes LIOS. Arriba, los filtros de la casa Alcon. Abajo, los de Hoya.

5. EFECTOS DE LA LUZ AZUL EN EL OJO

A lo largo de este apartado, vamos a comentar las evidencias científicas publicadas en los últimos años acerca de las diferentes alteraciones oculares provocadas por la luz azul. Para explicar estos efectos, se ha realizado una búsqueda bibliográfica que nos va a permitir comprender mejor los procesos de interacción de la luz azul con las estructuras oculares y cómo puede afectar la luz azul a nuestra visión.

Se han visitado diversas fuentes de datos para encontrar la información que se va a exponer a continuación. La fuente principal de la que se han obtenido la mayoría de estudios sobre la salud ocular es la página web PubMed.gov. Empleando palabras clave (como *blue light hazard*, *blue-blocking lens*, *short wavelength effects/risks*, entre otras), se encontraron la mayoría de estudios y la bibliografía de cada uno se examinó en busca de nuevos datos, filtrando los estudios que realmente interesaban gracias al resumen previo que se publica.

Muchos estudios presentan datos de iluminación y luminancia en lugar de irradiancia y radiancia. Para obtener E_B y L_B , se ha empleado la fórmula (1) para cambiar las unidades fotométricas por radiométricas (de iluminancia a irradiancia, y de luminancia a radiancia), y posteriormente con las fórmulas (3) y (4) se han calculado las unidades radiométricas en función de la curva de $B(\lambda)$, de la Figura 4.

5.1. LUZ AZUL Y SUPERFICIE OCULAR

Algunos estudios han demostrado que la cantidad de células epiteliales se reducen tras la irradiación con luz azul^{37, 38}. El origen de esta reducción se relaciona con la producción excesiva de especies reactivas de oxígeno (ROS)^{38, 39}, que pueden inducir estrés oxidativo. Además, un incremento de la producción de ROS se relaciona directamente con la estimulación de las proteínas NLRP3 y (IL)-1 β ⁴¹, moléculas implicadas en las reacciones inflamatorias corneales⁴⁰, que suponen una respuesta del sistema inmune ante una infección o alteración celular.

Jee-Bum Lee et al³⁸, publicaron un estudio que perseguía el objetivo de estudiar los cambios estructurales en el epitelio corneal humano *in vitro* tras irradiar células híbridas corneales humanas (HCE-2) con LEDs de distintas longitudes de onda entre 410 y 850nm, a 5cm de distancia. La densidad celular se reducía al exponer la córnea a longitudes de onda cercanas al azul, concretamente, las células se reducen con una exposición radiante de 10^5 J/m² ($E_B=43$ W/m²), en el caso de $\lambda=410$ nm, y con una exposición radiante de $5 \cdot 10^5$ J/m² ($E_B=115.2$ W/m²), para $\lambda=460$ nm.

Niwano et al.³⁷ concluyeron que, tras tres minutos de exposición a luz azul (405 nm y $E_B = 1860$ W/m²), tanto la viabilidad de las células corneales como de las conjuntivales se reducía, dañando el epitelio corneal humano *in vitro*. Se observó una producción de ROS excesiva en las células irradiadas siendo el daño oxidativo proporcional al tiempo de exposición.

En los estudios anteriores^{37, 38}, las irradiancias utilizadas son prácticamente del mismo orden que la irradiancia solar, dos o tres órdenes de magnitud mayores que la irradiancia de los dispositivos electrónicos medida en los estudios mostrados en el apartado 3.2²³ o que la proporcionada por el cielo azul, que es aproximadamente 20 W/m².

Niwano et al³⁷, también estudiaron el efecto de los filtros de luz azul en las células epiteliales corneales. Se encontró que, sin filtro, las células redujeron su cantidad en un 50%, mientras que con un filtro que bloqueaba la luz azul, la cantidad de células se redujo en aproximadamente 15-30%. El filtro

de luz empleado transmitía un 75% de las longitudes de onda entre 450 y 500nm, mayor transmitancia que la que presentan los filtros comerciales expuestos en la tabla 4.

Podría extrapolarse, entonces, que los filtros de luz azul podrían ser efectivos contra el daño epitelial, pero hay que tener en cuenta que las irradiancias que se obtienen con las pantallas de dispositivos están por debajo de las que se utilizan en estos estudios, por lo que no parece que pudieran ser suficientes para provocar este daño, que además está caracterizado *in vitro* y no *in vivo*.

Hay estudios que relacionan la luz azul con distintas patologías de la superficie ocular, como pterigium (crecimiento anormal de tejido conjuntival sobre la córnea), queratopatía climática en gotas (CDK, cúmulo de material en el estroma corneal que avanza desde periferia al centro de la córnea)⁴², y xeroftalmía³ (mala síntesis de RNA que deriva en un acortamiento de las microvellosidades epiteliales). Sin embargo, no se descarta que la aparición de estas patologías dependa de otros factores como microtraumatismos e hipovitaminosis A.

5.2. LUZ AZUL Y CRISTALINO

El cristalino además de actuar como dioptrio fundamental para la visión, también sabemos que puede filtrar con eficacia las longitudes de onda corta, transmitiendo un 10% de las longitudes de onda cercanas a 400nm, como se ha visto en la tabla 1, reduciendo así la cantidad de luz azul que llega a la retina. Las moléculas que absorben la luz azul (enzimas, proteínas...), pasado el tiempo, se adhieren a las proteínas del cristalino, produciendo una pigmentación amarilla que poco a poco va afectando a la transparencia del cristalino³.

Por otro lado, el estrés oxidativo fruto de la producción excesiva de ROS en las mitocondrias del cristalino podría ser uno de los factores implicados en el desarrollo de cataratas^{43, 44}. Sin embargo, no son muchos los estudios publicados sobre la implicación de las longitudes de onda corta en la producción de ROS, ni en la cataractogénesis. Hugh R. Taylor, et al⁴² no encontraron relación entre la aparición de cataratas (de cualquier tipo) y las franjas de espectro electromagnético estudiadas (violeta, azul y casi todo el visible). Este estudio no nos ofrece información detallada sobre las condiciones de emisión bajo las que se realizó.

La relación entre la luz azul y la formación de cataratas fue estudiada *in vivo* por Wang, et al⁴⁵ en una muestra de ratas. El experimento consistía en someter a tres grupos de diez ratas a cuatro, ocho o doce semanas a doce horas diarias de iluminación LED con una longitud de onda entre 455 y 460nm. El grupo control no presentó cambios a lo largo del experimento, mientras que, tras ocho semanas, un 50% de las ratas del resto de grupos presentaba cataratas de segundo o tercer grado. Tras doce semanas, todos los cristalinos estaban opacificados. 4 de los ojos tenían cataratas maduras. La irradiancia efectiva del estudio estaba entre 49 y 67.5 W/m². Aunque la conclusión de este estudio es que la luz azul y la aparición de cataratas en ratas están relacionadas, los valores de irradiancia utilizados están muy alejados de las condiciones a las que nos vemos expuestos en nuestro día a día debido a los dispositivos electrónicos e incluso al cielo azul de día²³, por lo que no podemos extrapolar esta conclusión al caso del ojo humano en exposiciones a luz azul en la vida cotidiana.

No se han encontrado estudios que asocien el empleo de filtros de luz azul con la reducción de la cataractogénesis. Sin embargo, tal y como se explicó en el apartado 4, en los últimos años se han introducido LIOs con filtro de luz azul para pacientes afáquicos¹⁶. El objetivo de cambiar una LIO de filtro UV por otra LIO que filtre además la luz azul, es reducir los daños potenciales que podría llegar a sufrir

la retina si no se reemplazara el cristalino, que es un filtro natural de UV y de parte de la luz azul, por una LIO con características similares.

5.3. LUZ AZUL Y RETINA

Con la edad, son varios los cambios que tienen lugar en la retina humana. Los fotorreceptores (FR) reducen su cantidad con el paso de los años, sobre todo los conos (disminuyen en un 30%)⁴⁶. La reducción de FR también puede verse favorecida por la exposición a luz solar⁴⁷. El daño tras exposición a luz solar se produce principalmente en las mitocondrias de las capas del epitelio pigmentario (EPR) y de FR^{47, 48}. Las células del EPR se recuperan con facilidad, sin embargo, las células presentes en la capa de los FR se pierden por muerte celular⁴⁹, pudiendo derivar en escotomas permanentes.

Algunos estudios relacionan el daño fototóxico retiniano con la rodopsina, una proteína fotorreceptora que está implicada en la absorción de la luz y se considera que es la principal mediadora en la apoptosis de células de FR y EPR⁵⁰. La luz azul, una vez absorbida por la rodopsina, genera sustancias oxidantes que pueden dañar la retina⁴⁶, con consecuencias como degradación de los lisosomas, generación de ROS y atrofia del EPR, incrementando el efecto fototóxico^{51, 52}. Además, un cambio en la composición de la cadena de rodopsina puede derivar en retinosis pigmentaria, provocada por una sustitución de aminoácidos en la cadena de rodopsina⁵³.

Otros estudios vinculan el daño fototóxico con la lipofuscina o pigmento del envejecimiento, que es una sustancia que aumenta con la edad o con el daño celular. Procede de mitocondrias alteradas y se acumulan en los lisosomas celulares. La lipofuscina se encuentra en el EPR, principalmente en la mácula. La lipofuscina se ha relacionado con la patogénesis de la DMAE⁵⁴. Concretamente, el iniciador del daño causado por luz azul en el EPR se ha relacionado con un fluoróforo de la lipofuscina, el A2E. El pico de absorción del A2E se sitúa alrededor de los 430nm. Niveles excesivos de lipofuscina y A2E dañan los FR y la capa coriocapilar, causando atrofia principalmente en la región periférica foveal⁵⁵.

La mácula se protege de la luz azul de manera natural, mediante dos sustancias (luteína y zeaxantina), que absorben la luz azul y actúan como antioxidantes, retrasando los procesos fotooxidativos y la aparición de lipofuscina⁵⁹.

La apoptosis celular por exposición a luz azul podría estar relacionada con la aparición de DMAE⁵⁶. La exposición a la luz solar siempre se ha pensado que podría ser un factor de riesgo en la etiología de la DMAE⁵⁷. Un estudio apunta a que la exposición acumulada a luz azul (iluminación ambiente) podría estar relacionada con los estadios más graves de esta patología⁵⁸ en 838 pescadores, oficio que implica estar muchas horas expuesto a luz solar. Sin embargo, no se ha podido sacar una conclusión de este estudio⁵⁸.

Un estudio realizado en ratones albinos⁶⁰ analizó los cambios morfológicos en retina según el tiempo y la iluminancia. Tras cinco días de la exposición, se observó que la cantidad de filas de FR en la capa nuclear externa (ONL) de la mácula se redujo conforme incrementaban la iluminancia y el tiempo de exposición. En este estudio los datos de irradiancia E_B con los que se ha trabajado están entre 19.6 y 117.64 W/m²⁶⁰, siendo este último valor semejante a la irradiancia solar. Aunque la exposición en estos estudios se realizó *in vivo*, ninguno de los valores de E_B se asemeja a los de emisión de dispositivos móviles y ordenadores (aproximadamente 0.076 W/m²). A pesar de que los ratones son buenos modelos para estudiar la DMAE, porque su cuadro clínico es similar al humano, no se debería extrapolar los resultados a la población humana sin haber investigado en ella los efectos de la luz azul.

En cuanto a la efectividad de los filtros azules en la reducción de daños retinianos, los filtros se implementan en LIOs implantadas y los estudios muestran resultados contradictorios. De los estudios realizados en humanos *in vivo*, uno empleó LIOs de HOYA, concretamente VA-60BBR y YA-60BBR⁶³, mientras que los restantes trabajaron con la casa comercial Alcon y sus modelos SN60WF, SA60AT y SN60AT^{61, 62, 65}. La transmisión de estas LIOs (excepto SN60WF) se puede consultar en la figura 10. En el caso de las lentes de Alcon, no se llega a una conclusión clara, en un caso se observa reducción de la atrofia geográfica⁶¹ mientras que en otro no se aprecian cambios⁶². Con la LIO de Hoya teñida de amarillo (YA-60BBR), sí se aprecia una reducción de la atrofia geográfica⁶³.

Tanito et al⁶⁵ demuestra que la LIO amarilla implantada en ratas no reduce apenas las ondas A y B del ERG, es decir, la cantidad de FR en retina no se reduce tanto con el uso de un filtro de luz azul al exponer las células retinianas a 163.7 W/m².

En cuanto a los estudios realizados *in vitro*, Sparrow et al⁶⁴ apuntan a que los filtros de luz azul reducen la apoptosis *in vitro* en un 80%, con respecto a no llevar filtro, aunque en este caso la apoptosis inducida se debe a la exposición de una fuente de 430nm (próximo a B (λ)=1) y a una irradiancia de 78.4 W/m², que es un valor muy superior a la emisión de dispositivos electrónicos.

Los niveles de irradiancia del estudio⁶⁰ (entre 19.6 y 117.64 W/m²) distan de los de dispositivos electrónicos, aunque podría llegar a asemejar en algunos casos a la irradiancia del cielo azul, que varía entre 14 y 35 W/m² ²³. La luz natural, por lo tanto, podría estar relacionada con el daño fototóxico en retina, como afirma en su revisión bibliográfica Sui GY, et al⁶⁶. Tampoco hay evidencias suficientes que apunten a que el daño sea por exposición a pantallas. Sin embargo, las condiciones del estudio son muy diferentes a la iluminación artificial, porque mientras las fuentes de luz artificiales tienen contribución de todas las longitudes de onda (como el LED de la figura 7), el estudio emplea una fuente de luz de $\lambda=460 \pm 10$ nm, es decir, la irradiancia únicamente es por luz azul.

Por otro lado, debido a los resultados contradictorios de los estudios expuestos, no se puede afirmar que los filtros azules implantados comúnmente durante la cirugía de cataratas sean efectivos a la hora de reducir o evitar el daño fototóxico azul en retina.

5.4. RITMO CIRCADIANO

El ritmo circadiano es un proceso natural que determina el ciclo del sueño de nuestro organismo. Este proceso está presente en todos los seres vivos. La melatonina es la neurohormona encargada de regular el ritmo circadiano y se produce en la glándula pineal. Los niveles de esta hormona aumentan durante la noche y disminuyen durante el día, y se encargan de indicar a nuestro cuerpo cuando tiene que dormir.

Provencio descubrió en el año 2000⁶⁷ un tipo de células ganglionares fotosensibles presentes en la retina de distintos animales (humanos incluidos). Estas nuevas células contienen un fotopigmento llamado melanopsina. La estimulación de la melanopsina es la encargada de suprimir la síntesis de melatonina, y por lo tanto, regula el ritmo circadiano⁶⁸. Existen discrepancias sobre qué longitud de onda es la que produce una mayor inhibición de la melatonina, sin embargo todos los estudios la sitúan en el rango de luz azul⁶⁸. Uno de ellos⁶⁹ estudió dos λ (420 y 460nm), concluyendo que ambas producían una bajada de la secreción de la melatonina. La Figura 11, muestra las curvas de eficiencia relativa de la supresión de melatonina y de la visión fotópica, según la longitud de onda a la que se expone la retina.

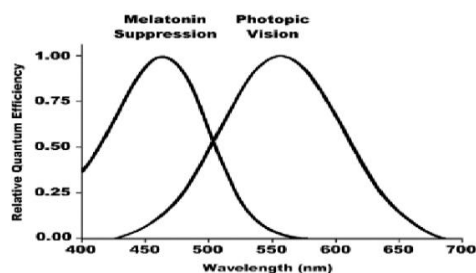


Figura 11⁷⁰. Espectro de supresión de la melatonina comparada con el espectro de sensibilidad en visión fotópica.

El efecto de la luz azul en la melanopsina y por consiguiente, en la melatonina, es revelador, pues la mayoría de dispositivos electrónicos de hoy en día emiten λ cortas. Las alteraciones del sueño las padecen aproximadamente un 40% de la población^{71, 72}, lo que podría estar estrechamente relacionado con la exposición prolongada de nuestros ojos ante una luz artificial. El ritmo circadiano no se considera un efecto del BLH según la CIE⁷³, aunque se va a comentar como posible consecuencia no visual del uso de pantallas.

Un estudio realizado con universitarios demostró que la exposición durante media hora frente a una pantalla de ordenador (a 51cm) suprime la melatonina en aproximadamente un $16\% \pm 31\%$ ⁷⁴. El grado de supresión vendrá marcado en cada caso por el momento de la exposición, la intensidad y longitud de onda de esta, así como de su duración. El estudio se realizó con una irradiancia de $E_B=0.25 \text{ W/m}^2$ (se ha supuesto que el pico de emisión se sitúa en 450nm, al igual que el pico de transmisión azul del iPad, mostrado en la figura 7). Esta E_B supone un 0.22% de la irradiancia solar, y se asemeja a la irradiancia de algunos *smartphones* y tablets, aunque se aleja de la irradiancia de los portátiles²⁴. Existen varios factores que podrían favorecer la supresión de melatonina, como tener las pupilas dilatadas⁷⁵, hacer ejercicio de noche⁷⁶ e incluso la tarea que se realiza en los dispositivos, siendo mayor la supresión de melatonina al emplear aplicaciones de mensajería⁷⁷.

A la hora de estudiar el ritmo circadiano, no sólo va a ser interesante saber el tiempo de sueño si no la calidad. El estudio de Kimberly, B, et al⁷⁸ afirma que llevar gafas con filtro de luz azul antes de dormir durante tres horas mínimo, mejora la calidad del sueño, así como el estado anímico de los usuarios.

Ostrin, et al en 2017⁷⁹ también estudiaron cómo afectaba al sueño y a la melatonina el reducir la λ que entraba a través de dispositivos electrónicos antes de dormir. Tras dos semanas de experimento, observaron que la cantidad de melatonina aumentó significativamente por la noche (un 58%) y la duración del sueño incrementó 24 minutos cuando los sujetos utilizaban las lentes Ultraspec 2000⁷⁹ cuatro horas antes de dormir, aproximadamente. Las lentes Ultraspec 2000 son capaces de absorber el 99% de las longitudes de onda por debajo de los 540nm. Este filtro, al igual que el empleado en el estudio que hablaba del estado anímico de los usuarios⁷⁸, está muy lejos de asemejarse a la transmitancia de los filtros azules comerciales, puesto que los filtros de los estudios bloquean prácticamente toda la luz azul.

Existen otros estudios que analizan la calidad del sueño en pacientes con implante de LIO con filtro azul⁸⁰. La calidad del sueño se estudiaba con el cuestionario PSQI (>5 puntos en el cuestionario indica sueño pobre). Más de un 75% de los sujetos que portaban LIO sin filtro azul estaban por encima de 5 pts. El porcentaje se reducía a 35% en los pacientes con filtro azul en sus LIOs. Este estudio se realizó en condiciones "reales", manteniendo el contacto con los sujetos por teléfono. La LIO con filtro implantada fue la Alcon SN60WF, que transmite gran parte de la luz azul recibida (90%), a diferencia de

la LIO SN60AT, también de Alcon, que se ha mencionado en el apartado 4. De hecho, SN60WF transmite más luz azul que el cristalino de un adulto de 53 años⁸¹.

Ninguno de los filtros empleados se parece a los empleados en lentes oftálmicas. Las lentes Ultraspec 2000 absorben más cantidad de luz azul que los filtros comerciales, y además consiguen una mejora del tiempo de sueño. Por otro lado, viendo los resultados positivos de la LIO tintada de amarillo con tan alta transmitancia, podríamos intuir que los filtros de luz azul podrían mejorar la calidad del sueño, puesto que los filtros comerciales tienen una transmitancia menor que la LIO SN60WF, es decir, dejan pasar menos cantidad de luz azul.

5.5. DISCONFORT

El disconfort visual se define como el conjunto de síntomas asociados a un esfuerzo del sistema visual, para poder aclarar una imagen. Lo podemos encontrar en otros textos como “fatiga” o “astenopia”. Entre las principales causas, encontramos disfunciones vergenciales⁸², acomodativas y error refractivo.

Entre los síntomas más frecuentes de disconfort ocular, podemos encontrar: sensación de sequedad, dolor de cabeza, visión borrosa, e incluso dolor de cabeza y cuello⁸³. De hecho, Portello et al⁸⁴ dividen los síntomas del disconfort en dos grupos: el primero, asociado a problemas de acomodación, que incluye visión borrosa y lentitud en los saltos de acomodación/vergencias; y en segundo lugar, los que se relacionan con sequedad ocular, entre los que encontramos sequedad ocular (que la padece un 61.3%, según el mismo estudio), ardor (59.3%), cansancio (73.9%, es el síntoma más referido por los sujetos), y fotofobia (50.4%).

Según la Asociación Americana de Optometría⁸⁵, si este conjunto de síntomas aparece durante o después del uso ininterrumpido de dispositivos electrónicos, el disconfort pasa a denominarse Síndrome Visual Informático, o Fatiga Visual Digital (DES, por sus siglas en inglés). “DES” se va a emplear para referirse al disconfort visual tras el uso de pantallas. A pesar de que varios estudios hablan de este síndrome, no se ha encontrado ninguno que relacione directamente el disconfort visual con la luz azul, sin asociarlo a otros factores que vamos a comentar a continuación.

El DES puede verse favorecido por una disminución de la frecuencia de parpadeo (se reduce de 22 a 7 veces/min durante el uso de pantallas⁸⁶). Por otro lado, un uso prolongado de pantallas puede provocar anomalías en la capa lipídica de la lágrima, provocando una mayor evaporación de la película y por tanto, incrementando la sensación de sequedad ocular⁸⁷. Según el mismo estudio⁸⁷, la película lagrimal disminuye entre un 24 y un 26% durante dos horas de trabajo con pantallas. Incrementar el uso diario de pantallas de una a cinco horas, aumenta el porcentaje de aparición de sequedad ocular de 16.1% a 26.5%⁸⁸. La concentración también es un factor crucial en la reducción de la frecuencia del parpadeo y también afecta a la comodidad con la que hacemos las tareas. A mayor dificultad, más concentración y menor frecuencia⁸⁹, es decir, mayor exposición de la lágrima y más evaporación. Esta evaporación por exposición podría ser la causa de que un 61.3% de la población note sequedad ocular tras el uso de pantallas⁸⁴. En 2011, la Sociedad de Ojo Seco Japonesa publicó que un 66% de los trabajadores que emplean sistemas electrónicos para trabajar padecen sequedad ocular⁹⁰.

Los sistemas acomodativo y vergencial también influyen en los síntomas del DES⁸⁴. Se han encontrado evidencias de que tras observar un estímulo en una pantalla, los pacientes tienden a presentar *lag* acomodativo^{91, 92}. El *lag* acomodativo (o retraso) es una respuesta insuficiente de la acomodación ante un estímulo⁹³, y suele producir borrosidad y diplopía. Otros estudios^{94, 95},

concluyeron que la acomodación por sí sola no parecía producir DES. Se cree que la respuesta vergencial insuficiente ante un estímulo es la principal causa de la sintomatología del DES. Juanita, et al⁹⁵ además publicó que las personas sin disparidad de fijación, eran más propensas a sufrir síntomas que aquellas con exodesviación. Es complicado, por tanto, diferenciar los síntomas asociados al uso de dispositivos electrónicos de los asociados a realizar trabajos de cerca (causados por concentración, parpadeo, mantener vergencias...).

Cabe destacar que ninguno de los estudios acerca del discomfort visual proporcionaban datos sobre la emisión de los dispositivos que empleaban^{86-88, 91-95} aunque en todos se emplearon pantallas de ordenador (radiancia entre 0.082 y 0.1073 W/(m²*sr)).

Muchos estudios concluyen que filtrar la luz azul no implica que se reduzca el malestar subjetivo al emplear dispositivos electrónicos^{96, 97, 98}. Otros estudios, en cambio, llegan a la conclusión de que la disminución de la luz azul reduce la sintomatología^{99, 100}. Los estudios que niegan una reducción de los síntomas^{97, 98}, han empleado filtros que van desde un porcentaje de transmisión de 40%, hasta un 70%, entre las longitudes de onda 400-500nm. Estos porcentajes de transmisión podrían parecerse a los de los filtros comerciales, por lo que podrían demostrar que los filtros no son eficaces. Además, un estudio que afirmaba la reducción de discomfort empleó un filtro que transmitía un 20% de las λ cercanas a 450nm⁹⁹. Ninguno de los filtros azules comerciales que hemos estudiado bloquea tanta cantidad de luz azul. Con lo cual, no parece que los filtros comerciales sean eficaces contra el DES, aunque será necesario realizar nuevos estudios para poder llegar a una conclusión.

En algunos estudios se han encontrado evidencias de mejora con el uso de filtros en ciertos aspectos relacionados con los síntomas acomodativos. Con los filtros de luz azul durante uso prolongado se mejora la acomodación y las vergencias de los pacientes¹⁰¹. Esta mejora se mantiene incluso cuando se quitan los filtros. También se aprecia una mejora de la habilidad lectora¹⁰¹, incrementando la velocidad de lectura⁹⁷.

Una posible solución para evitar el DES, es cambiar las condiciones del ámbito de trabajo. Una medida ergonómica que se puede adoptar para no exponer toda la superficie corneal a las pantallas, sería colocar el dispositivo a menor altura, para tener que mirar hacia abajo y que nuestros párpados cubran una mayor área. Por otro lado, aumentar la distancia a la pantalla del ordenador podría ser una buena solución para evitar una alta demanda de convergencia, que provoque fatiga ocular. Además, podría ser conveniente aplicar lágrimas artificiales en caso de que la sintomatología aumente.

5.6. LA LUZ AZUL EN LA REFRACCIÓN

A lo largo de la revisión bibliográfica, se ha encontrado un posible efecto positivo de la luz azul en el sistema ocular: el control de la miopía axial. Uno de los neurotransmisores más importantes del Sistema Nervioso Central (SNC) de los mamíferos es la dopamina, encargada de regular entre otras, las emociones y la comunicación neuroendocrina¹⁰². Este apartado se centra en la dopamina retiniana (DA). La DA está implicada en el control de la emetropización, pues algunos estudios apuntan a que una reducción de este neurotransmisor podría alterar la longitud axial ocular¹⁰³. La estimulación de la liberación de dopamina en la retina podría tener un efecto protector frente a la evolución de la miopía inhibiendo el crecimiento del globo ocular^{104, 105}.

Se sabe que los niveles de DA aumentan durante el día, y por la noche se reducen¹⁰⁶, aunque la cantidad de DA liberada depende de la longitud de onda que predomina en la luz ambiente. Ashby, R,

et al¹⁰⁷ descubrieron que al iluminar con luz azul (470nm), los niveles de DA aumentaban más que si la fuente de luz emitiese luz roja (620nm), o ultravioleta (375nm). Se observó que al emplear longitudes de onda cortas el desarrollo de la miopía es significativamente menor que si la exposición fuese a luz roja o blanca. A las mismas conclusiones llegó Foulds, W. S, et al¹⁰⁸, que descubrió que la exposición a luz azul inducía hipermetropía por una reducción de la longitud axial de la cámara del HV, a diferencia de la luz roja, que aumenta la miopía.

El valor máximo de radiancia utilizados en los estudios sobre la refracción es de 7.5 W/(m²*sr) (LED blanco)¹⁰⁸, que se asemeja a la radiancia del cielo (6.2 W/(m²*sr), aproximadamente). La radiancia del LED azul (0.16 W/(m²*sr)) es muy similar a la que emiten dispositivos electrónicos, como alguna Tablet y ordenador (Tabla 3). De las fuentes de iluminación del estudio de Ashby, R, et al¹⁰⁷, la de 470nm era la única con una L_B de 3.6 W/(m²*sr). La fuente UV y la roja emitían por debajo de 1.5*10⁻³ W/(m²*sr). Ninguna de las fuentes supera el límite de exposición de largo plazo (Tabla 2), y las emisiones podrían parecerse a situaciones concretas de exposición a luz azul: algunas pantallas, mirar al cielo azul... Se podría decir que la exposición al cielo o a las pantallas podría incrementar los niveles de dopamina en retina, induciendo hipermetropía. A pesar de las evidencias expuestas, será necesaria más investigación para comprender el desarrollo de la miopía en humanos, puesto que los estudios sobre cambios de refracción por exposición de luz azul se han realizado en pollos *in vivo*. Existen diferencias entre el modelo humano y el uso de pollos en la investigación. La principal es la diferencia de tiempo de aparición de miopía. Se sabe que en los humanos tiende a aparecer durante la niñez y adolescencia, mientras que en los pollos el desarrollo de la miopía tiene lugar en los primeros meses de vida.

Otros estudios, como el de Zhao et al⁹⁸, apuntan a que bloquear la luz azul no afecta al crecimiento ocular en humanos, ya que no se encontraron evidencias significativas entre los sujetos con y sin filtro de luz azul en lo que respecta a evolución de LA. Sin embargo, bloquear la luz azul sí podría repercutir en la calidad visual.

La dispersión es mayor en la luz azul que en el resto del espectro visible, por lo que al bloquearla se percibe menos dispersión y por tanto, mejoraría la calidad visual, aumentando la Sensibilidad al Contraste (SC) en un principio. Sin embargo, son varios los estudios que apuntan a una disminución de la SC durante el uso de filtros de luz azul^{110, 111}, así como la SC del color^{109, 111}. Esa reducción en la SC se aprecia principalmente en condiciones mesópicas, seguramente por el desplazamiento de la curva de sensibilidad de la Figura 3 hacia el color azul (el color que bloquean los filtros azules) con una reducción de la iluminación. Aunque también puede darse en condiciones fotópicas^{110, 111}.

6. ENCUESTA SOBRE EL USO DE AYUDAS PARA LA LUZ AZUL

Para conocer la opinión de los usuarios sobre las ayudas ópticas contra la luz azul prescritas para el uso de pantallas, se realizó una encuesta *online* a 374 personas, incluyendo tanto a no usuarios, como a usuarios de ayudas ópticas que bloqueen las λ cortas. La encuesta se muestra en el anexo I.

De los 374 participantes, un 72.3% eran mujeres y un 54% de participantes pertenecían al rango de edad de 18-25 años. Además, un 83.87% de las respuestas indicaban más de 4 horas diarias de uso de aparatos electrónicos. De ese 83.87%, un 35.89% reconoce exponerse a pantallas por más de 8 horas diarias. Con los datos sobre el tipo de síntoma referido y la frecuencia de aparición, se han obtenido los porcentajes de la tabla 5.

Tabla 5. Datos de la encuesta sobre sintomatología.

SÍNTOMAS (%)	SEQUEDAD OCULAR	DOLOR OCULAR	OJO ROJO	LAGRIMEO	FOTOFOBIA	VISIÓN BORROSA	MIGRAÑA	CANSANCIO OCULAR
¿Alguna vez?	75.53	56.72	54.03	42.47	50.26	66.12	53.22	86.55
↑ Frecuencia	36.29	19.62	18.01	10.48	16.93	25	22.58	47.84

En la tabla 5 se observa cómo el síntoma más referido es el cansancio ocular, seguido por la sequedad. Estos síntomas también pueden deberse a otros factores, como la frecuencia del parpadeo durante el uso de pantallas⁸⁶, o un sobreesfuerzo del sistema vergencial⁹², tal y como se ha hablado en el apartado 5.5.

Un 42.3% de los sujetos duerme peor desde que emplea dispositivos electrónicos antes de dormir. Este resultado coincide con los datos de diferentes estudios que concluyen que efectivamente, que el uso de pantallas empeora el tiempo y la calidad del sueño^{69,111}. Uno de los síntomas oculares más graves que se puede padecer es el dolor ocular, y en la tabla 5 se puede observar cómo más de la mitad de usuarios lo ha sufrido tras el uso de pantallas, y un 20% de los encuestados afirma que padece dolor con frecuencia.

Las ayudas contra la luz son populares entre la población, puesto que un 65.9% ha escuchado hablar de ellas alguna vez. Un 60.48% de los sujetos que afirman conocer alguna medida contra la luz azul, son a su vez usuarios de estas ayudas. Al preguntarles por el tiempo que han empleado ayudas para las pantallas, un 71.09% de los usuarios de ayudas lleva un año o más empleándolas, mientras que 11 usuarios apenas llegaban a los 3 meses de uso (6.35%).

Las causas a la hora de adquirir ayudas ópticas o comenzar a adoptar medidas ergonómicas son muy variadas. Algunos usuarios ven las ayudas necesarias para el trabajo con ordenador o el uso de otros dispositivos (móviles, ebook...), otros toman medidas por recomendación del óptico. Sin embargo, el principal objetivo es reducir la sintomatología, coincidiendo los síntomas más repetidos con los de la tabla 5, es decir, cansancio ocular, sequedad, además de excesivo trabajo en VP y dormir menos tiempo. Dos de los sujetos tienen la creencia de que estas medidas reducen la progresión de la miopía e incluso la revierten. Como se ha discutido en el apartado 5.6, los estudios precisamente apuntan a lo contrario, que la luz azul frena el crecimiento de la miopía^{107, 108}, aunque no se puede extrapolar directamente estos estudios al ojo humano.

Las ayudas por las que se les preguntó a los usuarios, ordenadas de más empleadas a menos resultaron: el ajuste nocturno que ofrecen algunos dispositivos electrónicos (56.73%); los filtros de luz azul (sobre todo en gafa), empleados por un 49.03% de los sujetos; las medidas ergonómicas (41.82%), que abarcan respuestas desde descansos visuales y ejercicios de parpadeo hasta yoga visual; por último, las pegatinas amarillas para pantallas, que sólo las emplean dos usuarios (0.96%), que de hecho, son usuarios de todas las medidas mencionadas.

Tabla 6. Datos de la encuesta sobre cambios en la sintomatología tras el uso de ayudas para evitar la luz azul.

SÍNTOMAS (%)	SEQUEDAD OCULAR	DOLOR OCULAR	OJO ROJO	LAGRIMEO	FOTOFOBIA	VISIÓN BORROSA	MIGRAÑA	CANSANCIO OCULAR
PEOR	1.4	0.94	0.96	3.88	1.94	6.79	2.39	6.1
PARECIDO	55.14	59.9	69.08	69.14	68.93	63.59	66.98	44.6
MEJOR	42.52	39.19	29.95	26.69	29.12	29.61	30.62	49.29

La tabla 6 muestra los cambios percibidos por los usuarios que utilizan algunas de las ayudas anteriores. Se observa poca tendencia al empeoramiento en general. La mayoría de respuestas indican que los síntomas no cambian al utilizar las ayudas. Que la mayoría de los casos no presenten cambios coincide con resultados de varios estudios, que tampoco encuentran relación entre ayudas ópticas (filtros de luz azul, en el caso de los estudios) y la reducción de sintomatología^{96, 97, 98}.

Tenemos que diferenciar la mejora de síntomas por uso de filtros de la mejora por combinación de filtros con otras ayudas. El porcentaje de sujetos que han notado mejora en la sintomatología empleando únicamente filtros azules es 37.23%. La mayoría de los sujetos que perciben mejoría en los síntomas combinan distintas ayudas. En el caso de la sequedad, por ejemplo, adoptar medidas ergonómicas parece mejorar las molestias en mayor medida que los filtros azules (un 36.58% frente a un 26.08%), seguramente debido a que la frecuencia de parpadeo se incrementa adoptando medidas ergonómicas, como un incremento de la distancia de trabajo.

Los resultados ofrecen una aproximación de la opinión y percepción subjetiva de los usuarios sobre distintas ayudas y medidas para evitar daños por luz azul. Sin embargo, existen ciertas debilidades que tenemos que tener en cuenta a la hora de intentar sacar conclusiones fehacientes. Por ejemplo, no se han barajado otras disfunciones que pueden afectar a la comodidad con la que realizamos tareas frente a pantallas, que podrían a su vez favorecer la aparición de sintomatología. Podríamos poner ejemplos como: la presbicia, errores refractivos⁸³, disfunciones vergenciales¹¹² o acomodativas¹¹³, mala posición frente a los dispositivos¹¹⁴... De igual manera, no se han medido cuantitativamente los cambios con ayudas ópticas, si no que han sido los propios sujetos los que han gradado la gravedad de sus síntomas y cómo han afectado las medidas a la evolución de las quejas. La realización de la encuesta online puede inducir errores difíciles de controlar, como la incapacidad de explicar correctamente las preguntas en caso de dudas, respuestas aleatorias, o dependiendo del dispositivo en el que se realice, pueden no aparecer todas las opciones de respuesta en la pantalla, limitando las posibilidades de responder del usuario, al no darse cuenta de que tenía que deslizar para ver las demás preguntas.

7. CONCLUSIONES

El propósito de este trabajo es conocer si las fuentes de iluminación más comunes pueden dañar la salud ocular, y saber si son efectivos los filtros azules que se comercializan con el objetivo de reducir o evitar los distintos cuadros clínicos que se han visto en el apartado 5.

Se ha visto que la luz azul provoca daño fototóxico, tal y como recoge la ICNIRP²². En la bibliografía se concluye que la emisión de luz azul por parte de las fuentes de iluminación está dentro de los límites de emisión establecidos por la normativa UNE-EN 62471²⁰, a excepción de la radiancia emitida por la lámpara de arco de xenón (presente en las luces de cruce de los coches, pero no como iluminación ambiente) y por la luz solar, que es una fuente que en general no se mira directamente.

Gracias a la revisión bibliográfica, se sabe que la luz azul daña las células epiteliales corneales *in vitro* y con niveles de irradiancia por encima de los dispositivos electrónicos. Sin embargo, no se ha encontrado información sobre los efectos de las pantallas en la superficie corneal. También se ha podido encontrar una relación entre el daño en catarata y las emisiones de luz azul: la cataractogénesis está mediada por el estrés oxidativo favorecido por la exposición a luz azul. A pesar de que se haya encontrado un estudio *in vivo*, las condiciones de éste no se asemejan a la vida cotidiana debido a que las emisiones son superiores a las fuentes de iluminación comunes.

La exposición a luz azul se ha visto que produce daño en retina, concretamente en FR y EPR, así como en la aparición de DMAE. Como sucedía con los estudios sobre superficie ocular y cristalino, la irradiancia a la que se exponían las células es mayor que la de dispositivos electrónicos, aunque en algunos casos se asemejaba a la irradiancia del cielo. Esta podría ser una de las causas por las que se han publicado estudios^{115, 116, 117} que intentaban relacionar la exposición a luz solar con la aparición de maculopatías, aunque alguno no llegó a encontrar una relación¹¹⁸.

Los únicos estudios que se han encontrado en los que los métodos se asemejan a la vida real (emisión similar a los dispositivos electrónicos y estudios realizados *in vivo*) son aquellos que relacionan la luz azul con una disminución de melatonina, y por tanto, con un desajuste del ritmo circadiano. Sin embargo, no se puede afirmar que ese desajuste se produzca únicamente por exposición a pantallas.

Uno de los efectos de la luz encontrados en la revisión bibliográfica es el aumento de la dopamina, que se traduce en un control de la miopía axial. Este efecto es el único positivo de los mencionados, sin embargo, sólo se han encontrado evidencias en pollos. La radiancia es similar en estos estudios a la del cielo azul, lo que podría explicar la relación entre el control de miopía y pasar tiempo al aire libre que se ha estudiado en humanos^{119, 120}.

No se ha encontrado información sobre filtros de luz azul comerciales en la reducción de daño en la superficie ocular y cristalino. Por otro lado, las conclusiones a las que llegan los estudios sobre LIOs con filtro azul para reducir el daño retiniano son contradictorias. En unos se aprecia una reducción de la atrofia geográfica y en otros no se ven cambios. La irradiancia con la que se estudian los filtros supera la emitida por fuentes de iluminación, y en un caso, la solar⁶⁵. Con lo cual, no se puede decir que los filtros azules comerciales eviten el daño en córnea, cristalino y retina.

Se manejan hipótesis de que la emisión de las pantallas puede estar relacionada con el DES, sin embargo, no se puede establecer una relación debido a la dificultad de diferenciar los síntomas del DES de molestias producidas por trabajar en cerca o concentrado. Tampoco se han podido extraer conclusiones de los estudios con filtros azules comerciales.

A pesar de que un 65.9% de los encuestados haya escuchado hablar de ayudas contra la luz azul que prometen reducir la sintomatología, únicamente un 37.23% nota mejoras empleando sólo filtros azules. La mayoría de usuarios notan mejoras complementando el uso de filtros con las medidas ergonómicas, por ejemplo. Con esta encuesta no se podría establecer una relación directa entre el uso de filtros azules (y otras ayudas) y una mejora de la sintomatología asociada al uso de pantallas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- 1- Michaelson, V., King, N., Janssen, I., Lawal, S., & Pickett, W. (2020). "Electronic screen technology use and connection to nature in Canadian adolescents: a mixed methods study". *Canadian Journal of Public Health* [en línea].
- 2- Ouyang, X., Yang, J., Hong, Z., Wu, Y., Xie, Y., & Wang, G. "Mechanisms of blue light-induced eye hazard and protective measures: a review". *Biomedicine & Pharmacotherapy* (2020), 130, 110577.
- 3- Zhi-Chun, Zhao, Ying Zhou, Gang Tan, Juan Li. "Research progress about the effect and prevention of blue light on eyes". (2018). *International Journal of Ophthalmology*.
- 4- Collier, J. D., & Rosenfield, M. (2011). Accommodation and convergence during sustained computer work. *Optometry - Journal of the American Optometric Association*, 82(7), 434–440.
- 5- Brockmann, C; Schulz, M; Laube, T. "Transmittance characteristics of ultraviolet and blue-light-filtering intraocular lenses". *Journal of Cataract & Refractive Surgery* [en línea], 2008. Vol. 34, Nº 7, P. 1161-1166.
- 6- "Nota técnica radiación UV. Previa a la guía técnica". CICAT [en línea], 2020. [Enlace](#)

- 7- Palma, R., Chioraia, G. "Características de las radiaciones UV". La capa de ozono [en línea] (blog). [Enlace](#)
- 8- "Radiación ultravioleta". *Meteo Navarra* [en línea]. [Enlace](#)
- 9- Hollows, F., Moran, D. "CATARACT-THE ULTRAVIOLET RISK FACTOR". *The Lancet* [en línea], 1981. Vol.318 (8258), p.1249-1250.
- 10- Moran DJ, Hollows FC. "Pterygium and ultraviolet radiation: a positive correlation". *British Journal of Ophthalmology*. [en línea], 1984. Vol. 68 (5), p.343-346.
- 11- Kraff, M.C., Sanders, D.R., Jampol, L.M., Lieberman, H.L. "Effect of an ultraviolet-filtering intraocular lens on cystoid macular edema". *Ophthalmology*, [en línea], 1985. Vol. 92 (3), p.366-369.
- 12- Holly, Elizabeth A. "Uveal Melanoma in Relation to Ultraviolet Light Exposure and Host Factors". *American Association for Cancer Research*, [en línea], 1990. Vol. 50, p. 5773-5777.
- 13- Raffino. M.E. "Rayos Infrarrojos". *Concepto.de* [en línea], (2021). [Enlace](#)
- 14- Fujishima, H., Toda, I., Yamada, M., Sato, N., Tsubota, K. "Corneal temperature in patients with dry eye evaluated by infrared radiation thermometry". *British Journal of Ophthalmology* [en línea], 1996. Vol. 80 (1), p. 29-32.
- 15- Álvarez, J.M, "Percepción Visual", Óptica Visual II, Universidad de Zaragoza, 2018.
- 16- Zhu, X., Zou, H., Yu, Y., Sun, Q., Zhao, N. "Comparison of Blue Light-Filtering IOLs and UV Light-Filtering IOLs for Cataract Surgery: A Meta-Analysis". *PLoS ONE* [en línea], 2012. Vol. 7 (3), e33013.
- 17- Downes, S.M. "Ultraviolet or blue-filtering intraocular lenses: what is the evidence?" *Eye* [en línea], 2016. (2016). Vol. 30 (2), p.215-221.
- 18- Zigman, S. "The role of sunlight in human cataract formation". *Survey of Ophthalmology* [en línea], 1983. Vol. 27(5), p.317-325.
- 19- Boscarol, M. "Curva de eficiencia luminosa". *Imagen Digital* [en línea] (blog), 2007. [Enlace](#)
- 20- UNE-EN 62471-2009. Norma española. "Seguridad fotobiológica de lámparas y aparatos que utilizan lámparas". AENOR [en línea], 2009.
- 21- Directiva 2006/25/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. *DOUE* [en línea], 2006. núm. 114, p. 38-59.
- 22- *International Commission on Non-ionizing Radiation Protection*. "Guidelines on limits of exposure to incoherent optical radiation (0.38-3 μm)". *Health PHYSICS* [en línea], 1997. Vol. 73, p. 539-554.
- 23- Moyano D.B., Sola Y., González-Lezcano R.A. "Blue-Light Levels Emitted from Portable Electronic Devices Compared to Sunlight". *Energies*, [en línea], 2020. Vol. 13, Nº16, p. 4276.
- 24- Aguilera J., Navarrete de Gálvez E., de Gálvez M.V., Solis A., Moriana M.J., Gago A., Sánchez C., Herrera E. "Fotoestimulación potencial de la producción de melanina cutánea bajo exposiciones a luz azul procedentes del sol, iluminación artificial y dispositivos móviles". *ADEV* [en línea] (póster científico). [Enlace](#)
- 25- Algreve, P. V., Marshall, J., Seregard, S. "Age-related maculopathy and the impact of blue light hazard". *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, [en línea], 2006. Vol. 84 (1), p.4-15.
- 26- Rapp L.M., Smith S.C. "Morphologic comparisons between rhodopsin-mediated and short-wavelength classes of retinal light damage". *Investigative Ophthalmology & Visual Science* [en línea], 1992. Vol. 33 (12), p.3367-3377.
- 27- Brubaker R.F., Coakes, R.L. "Use of a Xenon Flash Tube As the Excitation Source in a New Slit-Lamp Fluorophotometer". *American Journal of Ophthalmology* [en línea], 1978. Vol.86 (4), p.474-484.
- 28- "Safety Tips for Using UV Lamps" [en línea], 2017.
- 29- Okuno T., Saito H., Ojina J. "Evaluation of blue-light hazards from various light sources" *Developments in Ophthalmology*, [en línea], 2002. Vol. 35, p.104-112.
- 30- "¿Es la Luz Azul Mala para la Vista y la Salud? (CTV-5)" *Cuidatuvista.com* [en línea], (blog)
- 31- Teschler, L. "Killing Covid-19 with UV-C LEDs". *powerelectronicstips.com* [en línea] (blog), 2020. [Enlace](#)
- 32- O'Hagan J.B., Khazova M., Price L.L.A. "Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard". *Eye*, [en línea], 2016. Vol. 30, p.230-233.
- 33- Carlson A.S. "A comparison of blue-light transmissions through blue-control lenses". *African Vision and Eye Health* [en línea], 2019. Vol. 78.
- 34- Fernández C., Argilés M., Pérez-Cabrés E., Cardona G. "Spectral radiance of blue light filters on ophthalmic lenses." *Óptica pura y aplicada* [en línea], 2017. Vol. 50 (2), p. 165.172.
- 35- Mitropoulos S., Tsiantos V., Americanos A., Sianoudis I., Skouroliakou A. "BLUE LIGHT REDUCING SOFTWARE APPLICATIONS FOR MOBILE PHONE SCREENS: MEASUREMENT OF SPECTRAL CHARACTERISTICS AND BIOLOGICAL PARAMETERS", *RAP Conference Proceedings* [en línea], 2020. Vol. 4, p. 220-224.
- 36- Tanito M., Okuno T., Ishiba Y., Ohira A. "Transmission spectrums and retinal blue-light irradiance values of untinted and yellow-tinted intraocular lenses". *Journal of Cataract & Refractive Surgery* [en línea], 2010. Vol. 36 (2), p. 299-307.
- 37- Niwano Y., Iwasawa A., Tsubota K., Ayaki, M., Negishi, K. "Protective effects of blue light-blocking shades on phototoxicity in human ocular surface cells". *BMJ Open Ophthalmology* [en línea], 2019. Vol.4 (1).
- 38- Lee J.B., Kim S.H., Lee S.C., Kim H.G., Ahn H.G., Li Z., Yoon, K.C. "Blue Light-Induced Oxidative Stress in Human Corneal Epithelial Cells: Protective Effects of Ethanol Extracts of Various Medicinal Plant Mixtures". *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, [en línea], 2014. Vol. 55 (7).
- 39- Marek V., Mélik-Parsadaniantz S., Villette T., Montoya F., Baudouin C., Brignole-Baudouin, F., Denoyer A. "Blue light phototoxicity toward human corneal and conjunctival epithelial cells in basal and hyperosmolar conditions". *Free Radical Biology and Medicine* [en línea], 2018. Vol. 126, p.27-40.
- 40- Niwano Y., Kanno T., Iwasawa A., Ayaki M., Tsubota K. "Blue light injures corneal epithelial cells in the mitotic phase in vitro". *British Journal of Ophthalmology*, [en línea], 2014. Vol. 98, Nº7, p.990-992.

- 41- Zheng Q., Ren Y., Reinach P.S., Xiao B., Lu H., Zhu Y., Chen W. "Reactive oxygen species activated NLRP3 inflammasomes initiate inflammation in hyperosmolarity stressed human corneal epithelial cells and environment-induced dry eye patients". *Experimental Eye Research* [en línea], 2015. Vol. 134, p.133–140.
- 42- Taylor H.R. (1992). "The Long-term Effects of Visible Light on the Eye". *Archives of Ophthalmology* [en línea], 1992. Vol. 110(1), 99-104.
- 43- Babizhayev M.A., Yegorov Y.E. "Reactive Oxygen Species and the Aging Eye: Specific Role of Metabolically Active Mitochondria in Maintaining Lens Function and in the Initiation of the Oxidation-Induced Maturity Onset Cataract--A Novel Platform of Mitochondria-Targeted Antioxidants With Broad Therapeutic Potential for Redox Regulation and Detoxification of Oxidants in Eye Diseases". *American Journal of Therapeutics*, [en línea], 2016. Vol.23 (1), p.98-117.
- 44- Xie C., Li X., Tong J., Gu Y., Shen Y. "Effects of white light-emitting diode (LED) light exposure with different Correlated Color Temperatures (CCTs) on human lens epithelial cells in culture". *Photochemistry and Photobiology* [en línea], 2014. Vol. 90, p. 853–859
- 45- Wang Y., Zhang M., Sun Y., Wang X., Song Z., Li H, Li Z. "Role of short-wavelength blue light in the formation of cataracts and the expression of caspase-1, caspase-11, Gasdermin D in rat lens epithelial cells: insights into a novel pathogenic mechanism of cataracts". *BMC Ophthalmology* [en línea], 2020. Vol. 20 (1).
- 46- Algreve P.V., Marshall J., Seregard S. "Age-related maculopathy and the impact of blue light hazard". *Acta Ophthalmologica Scandinavica Foundation*, [en línea], 2006. Vol. 84, Nº1, p.4-15.
- 47- Wu J., Seregard S., Algreve P.V. "Photochemical Damage of the Retina". *Survey of Ophthalmology*, [en línea], (2006). Vol. 51(5), p.461–481.
- 48- Organisciak D. T., Winkler B. S. "Retinal light damage: Practical and theoretical considerations". *Progress in Retinal and Eye Research*, [en línea], 1994. Vol.13, Nº1, p.1–29.
- 49- Wu J., Seregard S., Spångberg B., Oskarsson M., Chen E. "Blue light induced apoptosis in rat retina". *Eye* [en línea], 1999. Vol. 13(4), p.577–583.
- 50- Noell WK, Walker VS, Kang BS, Berman S. "Retinal damage by lightin rats". *Investigative Ophthalmology & Visual Science* [en línea], 1966. Vol.5, p.450 – 473
- 51- Reme CE. "The dark side of light: rhodopsin and the silent death of vision the proctor lecture". *Investigative Ophthalmology & Visual Science* [en línea], 2001. Vol.46, p.2671-2682
- 52- Grimm C., Wenzel A., Williams T.P., Rol P.O., Hafezi F., Remé C.E. "Rhodopsin-Mediated Blue-Light Damage to the Rat Retina: Effect of Photoreversal of Bleaching". *Investigative Ophthalmology & Visual Science* [en línea], 2001. Vol. 42, p. 497-505.
- 53- Dryja, T.P., McGee, T.L., Reichel, E., Hahn L.B., Cowley G.S., Yandell D.W., Berson, E.L. "A point mutation of the rhodopsin gene in one form of retinitis pigmentosa". *Nature* [en línea], 1990. Vol. 343 (6256), p.364–366.
- 54- Holz FG, Bellman C, et al. "Fundus autofluorescence and development of geographic atrophy in age-related macular degeneration". *Investigative Ophthalmology & Visual Science* [en línea], 2001. Vol.42, Nº5, p.1051-1056.
- 55- Michalska-Matecka K., Kabiesz A., Nowak M., Śpiewak, D. "Age related macular degeneration – challenge for future: Pathogenesis and new perspectives for the treatment". *European Geriatric Medicine* [en línea], 2015. Vol. 6(1), p.69–75.
- 56- Dunaief J.L. "The Role of Apoptosis in Age-Related Macular Degeneration". *Archives of Ophthalmology* [en línea], 2002. Vol.120 (11).
- 57- Young, R. W. "Solar radiation and age-related macular degeneration". *Survey of Ophthalmology* [en línea], 1988. Vol. 32(4), p.252–269.
- 58- Taylor H.R. "VISIBLE LIGHT AND RISK OF AGE-RELATED MACULAR DEGENERATION". *Transactions of the American Ophthalmological Society*, [en línea], 1990. Vol. 88, p. 163-173. Discusión 173-178.
- 59- Junghans, A., Sies, H., & Stahl, W. "Macular Pigments Lutein and Zeaxanthin as Blue Light Filters Studied in Liposomes". *Archives of Biochemistry and Biophysics* [en línea], 2001. Vol. 391(2), p.160–164.
- 60- Kim G.H., Kim H.I., Paik S.S., Jung S.W., Kang S., Kim I.B. "Functional and morphological evaluation of blue light-emitting diode-induced retinal degeneration in mice". *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, [en línea], 2016. Vol.254, p.705–716.
- 61- Pipis A., Toulou E., Pillunat L.E., Augustin A.J. "Effect of the Blue Filter Intraocular Lens on the Progression of Geographic Atrophy". *European Journal of Ophthalmology* [en línea], 2015. Vol. 25(2), p.128–133.
- 62- Kara-Junior N., Espindola R.F., Gomes B.A.F., Ventura B., Smadja D., Santhiago M.R. "Effects of blue light-filtering intraocular lenses on the macula, contrast sensitivity, and color vision after a long-term follow-up". *Journal of Cataract and Refractive Surgery* [en línea], 2011. Vol. 37, p.2115–2119.
- 63- Nagai H., Hirano Y., Yasukawa T., Morita H., Nozaki M., Wolf-Schnurrbusch U, Ogura Y. "Prevention of increased abnormal fundus autofluorescence with blue light-filtering intraocular lenses". *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2015. Vol. 41(9), p.1855–1859.
- 64- Sparrow J.R., Miller A.S., Zhou J. "Blue light-absorbing intraocular lens and retinal pigment epithelium protection in vitro". *Journal of Cataract & Refractive Surgery* [en línea], 2004. Vol. 30(4), 873–878.
- 65- Tanito M., Kaidzu S., Anderson R.E. "Protective effects of soft acrylic yellow filter against blue light-induced retinal damage in rats". *Experimental Eye Research* [en línea], 2006. Vol. 83(6), p.1493–1504.
- 66- Sui G.Y., Liu G.C., Liu G.Y., Gao Y.Y., Deng Y., Wang W.Y., Wang L. "Is sunlight exposure a risk factor

- for age-related macular degeneration? A systematic review and meta-analysis". *British Journal of Ophthalmology* [en línea], 2012. Vol. 97(4), p. 389–394.
- 67- Provencio I., Rodriguez I.R., Jiang G., Hayes W.P., Moreira E.F., Rollag, M.D. "Anovel human opsin in the inner retina". *Journal of Neuroscience*, [en línea], 2000. Vol.20, p.600-605.
- 68- Bailes H.J., Lucas R.J. "Human melanopsin forms a pigment maximally sensitive to blue light (max 479 nm) supporting activation of Gq/11 and Gi/o signalling cascades". *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* [en línea], 2013. Vol. 280(1759),
- 69- Brainard G.C., Sliney D., Hanifin J.P., Glickman G., Byrne B., Greenson J.M., Rollag M.D. "Sensitivity of the Human Circadian System to Short-Wavelength (420-nm) Light". *Journal of Biological Rhythms*, [en línea], 2008. Vol.23, Nº5, p.379-386.
- 70- Jasser S., Blask D., Brainard G. "Light During Darkness and Cancer: Relationships in Circadian Photoreception and Tumor Biology". *Cancer causes & control* [en línea], 2006). Vol. 17, p. 515-523.
- 71- Mai E., Buysse D.J. "Insomnia: prevalence, impact, pathogenesis, differential diagnosis, and evaluation". *Sleep Medicine Clinics*, [en línea], 2008. Vol.3, p.167–174.
- 72- Mottram A.R., Svenson J.E. "Rhythm disturbances". *Emergency Medicine Clinics of North America* [en línea], 2011. Vol.29, Nº4, p.729–746.
- 73- Posición de la CIE respecto a los riesgos de la luz azul. Comisión Internacional de Iluminación (CIE) [en línea], 2019.
- 74- Figueiro, M.G. "The impact of light from computer monitors on melatonin levels in college students" *Neuroendocrinology Letters* [en línea], 2011. Vol. 32(2), p.158–163.
- 75- Gaddy J.R., Rollag M.D., Brainard G.C. "Pupil size regulation of threshold of light-induced melatonin suppression". *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* [en línea], 1993. Vol. 77(5), p.1398–1401.
- 76- Reiter R.J., Richardson B.A. "Some Perturbations That Disturb the Circadian Melatonin Rhythm". *Chronobiology International* [en línea], 1992. Vol. 9(4), p.314–321.
- 77- Oh J.H., Yoo H., Park H.K., Do Y.R. "Analysis of circadian properties and healthy levels of blue light from smartphones at night" *Scientific Reports* [en línea], 2015. Vol. 5(1).
- 78- Kimberly B., James R.P. "AMBER LENSES TO BLOCK BLUE LIGHT AND IMPROVE SLEEP: A RANDOMIZED TRIAL". *Chronobiology International* [en línea], 2009. Vol. 26(8), p.1602–1612.
- 79- Ostrin L. A., Abbott K.S., Queener H.M. "Attenuation of short wavelengths alters sleep and the ipRGC pupil response. Ophthalmic & physiological optics". *The journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, [en línea], 2017. Vol.37, Nº4, p.440–450.
- 80- Wei X., She C., Chen D., Yan F., Zeng J., Zeng L., Wang L. "Blue-Light-Blocking Intraocular Lens Implantation Improves the Sleep Quality of Cataract Patients". *Journal of Clinical Sleep Medicine* [en línea], 2013.
- 81- "AcrySof® IQ Clear en UltraSert™". Ficha técnica modelo: ACU0T0. Alcon Cusí, S.A [en línea], 2018. [Enlace](#)
- 82- Chase C., Tosha C., Borsting E., Ridder W.H. "Visual Discomfort and Objective Measures of Static Accommodation". *Optometry and Vision Science* [en línea], 2009. Vol. 86(7), p.883–889.
- 83- Sheppard AL, Wolffsohn JS. "Digital eye strain: prevalence, measurement and amelioration". *BMJ Open Ophthalmology* [en línea], 2018.
- 84- Portello J.K., Rosenfield M., Bababekova Y., Estrada J.M., Leon A. "Computer-related visual symptoms in office workers". *Ophthalmic and Physiological Optics* 2012. Vol. 32(5), 375–382.
- 85- Blehm C., Vishnu S., Khattak A., Mitra S., Yee R.W. "Computer Vision Syndrome: A Review". *Survey of Ophthalmology* [en línea], 2005. Vol. 50(3), p.253–262.
- 86- Acosta M.C., Gallar J., Belmonte C. "The Influence of Eye Solutions on Blinking and Ocular Comfort at Rest and During Work at Video Display Terminals". *Experimental Eye Research*, [en línea], 1999. Vol.68, Nº6, p.663–669.
- 87- Yaginuma Y., Yamada H., Nagai H. "Study of the relationship between lacrimation and blink in VDT work". *Ergonomics*, [en línea], 1990. Vol.33, Nº6, p.799–808.
- 88- Mehra D., Galor A. "Digital Screen Use and Dry Eye: A Review". *The Asia-Pacific Journal of Ophthalmology (Phila)*, [en línea], 2020. Vol.9, Nº6, p.491-497.
- 89- Tanaka Y., Yamaoka K. "Blink Activity and Task Difficulty". *Perceptual and Motor Skills*, [en línea], (1993). Vol.77, Nº1, p.55–66.
- 90- Uchino M., Schaumberg D.A., Dogru M., Uchino Y., Fukagawa K., Shimmura S., Tsubota K. "Prevalence of Dry Eye Disease among Japanese Visual Display Terminal Users". *Ophthalmology*, [en línea], (2008). Vol. 115, Nº11, p. 1982–1988.
- 91- Chase C., Tosha C., Borsting E., Ridder W.H. "Visual Discomfort and Objective Measures of Static Accommodation". *Optometry and Vision Science* [en línea], 2009. Vol. 86(7), p.883–889.
- 92- Thiagarajan P., Ciuffreda K.J. "Visual Fatigue and Accommodative Dynamics in Asymptomatic Individuals". *Optometry and Vision Science*, 2013. Vol. 90(1), 57–65.
- 93- Zapata P.C., Márquez M.M., Álvarez, Y. "Comparación del LAG de acomodación con la retinoscopía de Nott entre ojo derecho e izquierdo de los 5 a 19 años". *Qhalikay. Revista de Ciencias de la Salud* [en línea], 2018. Vol. 2 (2)
- 94- Ostberg O. "Accommodation and visual fatigue in display work". *Displays* [en línea], 1980. Vol. 2(2), p.81–85.
- 95- Collier J.D., Rosenfield, M. "Accommodation and convergence during sustained computer work".

- Optometry-Journal of the American Optometric Association* [en línea], 2011. Vol. 82(7), p.434–440.
- 96- Cheng H.M., Chen T.S., Liu H.J., and Cheng C.Y. "Does Blue Light Filter Improve Computer Vision Syndrome in Patients with Dry Eye?" *Life Science Journal* [en línea], 2014. Vol.11(6)
- 97- Redondo B., Vera J., Ortega-Sánchez A., Molina R., Jiménez R. "Effects of a blue-blocking screen filter on accommodative accuracy and visual discomfort". *Ophthalmic and Physiological Optics* [en línea], 2020.
- 98- Zhao H.L., Jiang J., Yu J., Xu H.M. "Role of short-wavelength filtering lenses in delaying myopia progression and amelioration of asthenopia in juveniles". *International Journal of Ophthalmology* [en línea], 2017. Vol. 10(8), p.1261-1267.
- 99- Palavets T., Rosenfield M. "Blue-blocking Filters and Digital Eyestrain". *Optometry and Vision Science* [en línea], 2019. Vol. 96: p.48–54.
- 100- Lin J.B., Gerratt B.W., Bassi C.J., Apte R.S. "Short-Wavelength Light-Blocking Eyeglasses Attenuate Symptoms of Eye Fatigue". *Investigative Ophthalmology & Visual Science* [en línea], 2017. Vol. 58(1).
- 101- Ray N.J., Fowler S., Stein J.F. "Yellow Filters Can Improve Magnocellular Function: Motion Sensitivity, Convergence, Accommodation, and Reading". *Annals of the New York Academy of Sciences* [en línea], 2005. Vol. 1039(1), p.283–293.
- 102- Bahena-Trujillo R., Flores G., Arias-Montaña J.A. "Dopamina: síntesis, liberación y receptores en el Sistema Nervioso Central". *Revista Biomédica* [en línea], 2000. Vol. 11, p.39-60.
- 103- Papastergiou G.I., Schmid G.F., Laties A.M., Pendrak K., Lin T., Stone R.A. "Induction of axial eye elongation and myopic refractive shift in one-year-old chickens". *Vision Research* [en línea], 1998. Vol. 38(12), p.1883–1888.
- 104- Pérez Flores I. "Tratamiento médico de la miopía" *Acta Estrabológica* [en línea], 2018. Vol. 47 (2), p.79-94.
- 105- Stockman J.A. "Outdoor Activity Reduces the Prevalence of Myopia in Children". *Yearbook of Pediatrics* [en línea], 2010. Capítulo 17, p.505–507.
- 106- Zawilska J.B., Bednarek A., Berezińska M., Nowak J.Z. "Rhythmic changes in metabolism of dopamine in the chick retina: the importance of light versus biological clock". *Journal of Neurochemistry* [en línea], 2003. Vol. 84(4), p.717–724.
- 107- Ashby R., Ohlendorf A., Schaeffel F. "The Effect of Ambient Illuminance on the Development of Deprivation Myopia in Chicks".
- 108- Foulds W.S., Barathi V.A., Luu C.D. "Progressive myopia or hyperopia can be induced in chicks and reversed by manipulation of the chromaticity of ambient light". *Investigative Ophthalmology & Visual Science* [en línea], (2013). Vol. 54(13), p.8004-8012.
- 109- Alzahrani H.S., Roy M., Honson V., Khoo S.K. "Effect of blue-blocking lenses on colour contrast sensitivity". *Clinical and Experimental Optometry* [en línea], 2020.
- 110- Wirtitsch M.G., Schmidinger G., Prskavec M., Rubey M., Skorpik F., Heinze G., Karnik N. "Influence of Blue-Light-Filtering Intraocular Lenses on Color Perception and Contrast Acuity". *Ophthalmology* [en línea], 2009. Vol. 116(1), 39–45.
- 111- Wang H., Wang J., Fan W., Wang W. "Comparison of photochromic, yellow, and clear intraocular lenses in human eyes under photopic and mesopic lighting conditions". *Journal of Cataract & Refractive Surgery* [en línea], 2010. Vol. 36(12), p.2080–2086.
- 112- Trieu L.H., Lavrich J.B. "Current concepts in convergence insufficiency". *Current Opinion in Ophthalmology* [en línea], 2018.
- 113- Lembo A., Serafino M., Strologo M.D., Saunders R.A., Trivedi R.H., Villani E., Nucci P. "Accommodative esotropia: the state of the art". *International Ophthalmology* [en línea], 2018.
- 114- Vaz FT., Henriques S.P., Silva D.S., Roque J., Lopes A.S., Mota M. "Digital Asthenopia: Portuguese Group of Ergophthalmology Survey". *Acta Médica Portuguesa* [en línea], 2019. Vol. 32, p.260-265.
- 115- Pham T.Q., Rohtchina E., Mitchell P., Smith W., Wang J.J. "Sunlight-Related Factors and the 10-Year Incidence of Age-Related Maculopathy". *Ophthalmic Epidemiology* [en línea], 2009. Vol. 16(2), p.136–141.
- 116- Moon B.G., Joe S.G., Hwang J., Kim H.K., Choe J., Yoon Y.H. "Prevalence and Risk Factors of Early-Stage Age-Related Macular Degeneration in Patients Examined at a Health Promotion Center in Korea". *Journal of Korean Medical Science* [en línea], 2012. Vol. 27(5), p.537-541
- 117- Cruickshanks K.J., Klein, R., Klein B.E.K. "Sunlight and Age-Related Macular Degeneration" *Archives of Ophthalmology* [en línea], 1990. Vol. 108(12).
- 118- Darzins P., Mitchell P., Heller R.F. "Sun Exposure and Age-related Macular Degeneration". *Ophthalmology* [en línea], 1997. Vol. 104(5), p.770–776.
- 119- Guo Y., Liu L.J., Tang P., Lv Y.Y., Feng Y., Xu L., Jonas J.B. "Outdoor activity and myopia progression in 4-year follow-up of Chinese primary school children: The Beijing Children Eye Study". *PLOS ONE* [en línea], 2017. Vol. 12, e0175921.
- 120- Li S.M., Li H., Li S.Y., Liu L.R., Kang M.T., Wang Y.P., Zhang F., Zhan S.Y., Gopinath B., Mitchell P., Wang N. "Time Outdoors and Myopia Progression Over 2 Years in Chinese Children: The Anyang Childhood Eye Study". *Investigative Ophthalmology & Visual Science* [en línea], 2015. Vol. 56, p.4734-4740.

ANEXO I

Preguntas realizadas en la encuesta del apartado 6.



FILTROS Y OTRAS AYUDAS PARA LA LUZ AZUL

En los últimos años la tecnología ha aumentado su presencia en nuestras vidas y con ella, las consecuencias que conlleva un uso excesivo de estas.

Esta encuesta nos va a permitir conocer un poco más sobre la efectividad de una de las soluciones más sonadas en el mercado: los filtros azules.

*Obligatorio

Indique su sexo *

- Mujer
- Hombre
- Prefiero no decirlo
- Otro

Indique su edad *

- Menor de 18
- 18-25
- 26-35
- 36-45
- 46-55
- 56-65
- Mayor de 65

¿Cuánto tiempo diario pasa frente a pantallas de dispositivos como ordenadores, móviles, tablets...? *

- Menos de 2h
- 2-4h
- 4-6h
- 6-8h
- Más de 8h

¿Ha experimentado alguno de los siguientes síntomas tras un uso prolongado de dispositivos electrónicos? ¿Con qué intensidad, siendo 2 leve y 5 insoportable? *

	1. No lo he experimentado	2.	3.	4.	5.
Dolor ocular	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sequedad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ojo rojo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lagrimo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fotofobia (intolerancia a la luz)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visión Borrosa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Migraña	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cansancio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿Otros cambios que quiera comentar? Visión de halos por las noches, Incomodidad al ponerse las gafas...

Tu respuesta

¿Con qué frecuencia, siendo 1 rara vez y 5 siempre, nota los síntomas anteriores?

*

	Nunca	1.	2.	3.	4.	5.
Dolor ocular	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sequedad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ojo rojo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lagrimo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fotofobia (intolerancia a la luz)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visión Borrosa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Migraña	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cansancio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿Ha notado alguna alteración en su ciclo del sueño tras varios días empleando dispositivos electrónicos por las noches?

- Sí, me cuesta más dormir
- Sí, me duermo antes
- No, duermo más o menos lo mismo
- NS/NC

¿Ha oído hablar de ayudas para el confort visual durante el uso de pantallas? *

- Sí
- No
- Tal vez

¿Cuáles de las siguientes conoce? *

- Gafas con filtro de luz azul
- Ajuste nocturno a colores cálidos que ofrecen los dispositivos electrónicos
- Filtro anti-azul en forma de pegatinas para distintas pantallas
- Adoptar medidas ergonómicas (alejarse de las pantallas, descansos visuales, ejercicios de parpadeo...)
- Ninguna
- Otro: _____

¿Emplea alguno de los métodos anteriores? *

- Sí
- No

En caso de haber respondido "Sí" en la pregunta anterior, podría indicar de cuál/es se trata/n?

Tu respuesta _____

¿Con qué objetivo empezó a tomar este tipo de medidas?

Tu respuesta _____

¿Cuánto tiempo lleva empleando estos productos/medidas?

- Menos de 3 meses
- De 3 a 6 meses
- De 6 meses a un año
- Uno o dos años
- Más de dos años

Si es usuario de alguna de estas ayudas, valore si ha experimentado algún cambio en su sintomatología tras su uso.

	Ha empeorado mucho	Ha empeorado un poco	No hay cambios	Ha mejorado un poco	Ha mejorado mucho
Dolor ocular	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sequedad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ojo rojo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lagrimo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fotofobia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visión Borrosa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Migraña	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cansancio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿Otros cambios que quiera comentar?

Tu respuesta

¿Recomendaría alguno de estos productos a algún conocido? *

- Sí
- No
- Tal vez

En caso de responder "No" en la pregunta anterior, ¿podría exponer los motivos?

Tu respuesta
