



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

Grado en Óptica y Optometría

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

Tratamientos aplicados en lentes oftálmicas para
bloquear la luz azul III

Presentado por: Rubén Antolino Pérez

Tutelado por: David Mateos Villán y Celia Herrero del Barrio

Tipo de TFG: Investigación

Valladolid a 27 de mayo de 2025

RESUMEN

Introducción

La luz azul (380-500 nm) se ha relacionado con posibles daños en la retina, aunque solo en estudios in vitro. También se asocia con fatiga visual, pero principalmente se debe al esfuerzo ocular y a la reducción del parpadeo. Aun así, la luz azul también cumple funciones muy beneficiosas como pueden ser regular el ritmo circadiano o mejorar la concentración. En este trabajo se analizará la emisión de la luz azul en distintos tipos de pantallas y se compara la eficacia de varios filtros ópticos mediante el concepto de transmitancia.

Instrumentación

Para las mediciones fuera de laboratorio se utilizó un espectrómetro portátil de Ocean Optics, que analiza la luz separando sus longitudes de onda mediante una rejilla de difracción. En el laboratorio, para medir la transmitancia de los filtros, se empleó un espectrorradiómetro LI-COR LI-1800. Además de tomar las medidas, también se midió el offset (ruido electrónico con la luz apagada), que resultó despreciable. El montaje final consistió en situar los filtros frente al detector con una fuente de luz blanca situada a 70 cm, lo que permitió analizar cuánta luz transmitía cada filtro en cada longitud de onda.

Resultados

Se realizaron mediciones espectrales de distintas tecnologías de pantalla con el espectrómetro, agrupando los resultados según la longitud de onda en la que comenzaba a emitir luz azul. Luego se compararon con la transmitancia de varios filtros oftálmicos: el CPF 450 que tiene una transmitancia mayor del 90% a partir de los 750 nm, el CPF 511 que no supera el 70% de transmitancia en ninguna parte del espectro visible, el CPF 527 que no supera el 80% en ninguna longitud de onda del visible y por último una lente con un filtro comercial de luz azul en el que los valores de la transmitancia superan el 90% a partir de los 500 nanómetros. Además, exploraron otras formas de reducir la exposición a la luz azul como filtros físicos para pantallas, softwares o productos para la piel.

Discusión y conclusión

Se analiza la emisión de la luz azul en pantallas LED, OLED, QLED y AMOLED con picos de emisión de luz azul entre los 420 y los 460 nm. Los filtros CPF bloquean eficazmente parte de esta luz, aunque pueden alterar la percepción del color y afectar al ritmo circadiano si se usan sin una necesidad médica. Los filtros comerciales ofrecen solamente una protección parcial a la luz azul. En conclusión, la luz azul no daña la retina, pero puede interferir en el

sueño por lo que se recomienda adoptar hábitos visuales saludables más allá del uso de filtros.

ABSTRACT

Introduction

Blue light (380–500 nm) has been linked to potential retinal damage, although only in in vitro studies. It is also associated with visual fatigue, mainly due to eye strain and reduced blinking. However, blue light also plays beneficial roles, such as regulating the circadian rhythm and enhancing concentration. This study analyzes blue light emission from different types of screens and compares the effectiveness of various optical filters using the concept of transmittance.

Instrumentation

For measurements conducted outside the laboratory, a portable Ocean Optics spectrometer was used. This device analyzes light by separating its wavelengths using a diffraction grating. In the laboratory, to measure the transmittance of the filters, a LI-COR LI-1800 spectroradiometer was employed. In addition to recording measurements, the offset (electronic noise with the light source off) was also evaluated and found to be negligible. The final setup consisted of placing the filters in front of the detector with a white light source positioned 70 cm away, allowing for the analysis of how much light each filter transmitted at each wavelength.

Results

Spectral measurements were taken for various screen technologies using the spectrometer, and results were grouped according to the wavelength at which blue light emission began. These were then compared to the spectral transmittance of several ophthalmic filters: the CPF 450, which has a transmittance above 90% from 750 nm onwards; the CPF 511, which does not exceed 70% transmittance in any part of the visible spectrum; and the CPF 527, which remains below 80% throughout the visible range. Additionally, a lens with a commercial blue light filter was tested, showing transmittance values above 90% from 500 nm onwards. Alternative blue light reduction methods were also explored, including screen filters, software tools, and topical products for the skin.

Discussion and Conclusion

Blue light emission from LED, OLED, QLED, and AMOLED screens was analyzed, showing peak emissions between 420 and 460 nm. CPF filters

effectively block a portion of this light, but they may alter color perception and disrupt circadian rhythms if used without a medical indication. Commercial filters provide only partial protection. In conclusion, while blue light does not damage the retina, it can interfere with sleep. Therefore, adopting healthy visual habits is recommended beyond the use of filters.

ÍNDICE

1-INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	5
2-INSTRUMENTACIÓN	7
3-RESULTADOS	9
-FILTRO CPF 450	10
-FILTRO CPF 511.....	11
-FILTRO CPF 527	11
-LENTE SIN GRADUACIÓN CON FILTRO DE LUZ AZUL:	12
4-DISCUSIÓN:	13
5-CONCLUSIÓN:	15
6. BIBLIOGRAFÍA	16

1-INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El espectro visible es la parte del espectro electromagnético que el ojo humano puede percibir, comprendido aproximadamente entre los 380 y los 750 nanómetros (nm). Cada color corresponde a una longitud de onda diferente. Cuanto menor es la longitud de onda mayor es la energía de la luz y por ello la luz violeta y la azul son las más energéticas del espectro visible. La denominada luz azul se encuentra entre los 380 y los 500 nm según describe la norma ISO/TR 20772: 2018

La llamada luz azul, por ser la más energética del espectro visible, ha sido señalada como potencialmente perjudicial para la salud ocular. Ciertos estudios advierten de que una exposición prolongada a este rango de longitudes de onda puede provocar estrés oxidativo y daños en la retina a largo plazo. No obstante, estos resultados solamente han sido demostrados en modelos animales in vitro (1) o sensores artificiales (2), por lo que no se conocen los efectos ante las condiciones de exposición reales del ojo humano a la luz azul.

Otro problema que se suele asociar a la alta exposición a dispositivos electrónicos es el cansancio ocular y la fatiga visual. Sin embargo, este síntoma no es provocado por la luz del propio dispositivo si no, por el esfuerzo de convergencia que realizan los ojos durante un tiempo prolongado, añadido a la disminución en la frecuencia del parpadeo que induce la sequedad ocular (3) (4).

Por otro lado, la exposición a la luz azul que está presente en el espectro solar nos puede aportar beneficios como mejora la concentración en ciertos momentos del día y regula el ritmo circadiano, es decir, ayuda a sincronizar el reloj biológico mejorando el estado de alerta, la atención y el estado de ánimo durante el día (5). Aun así, una sobrexposición a la luz azul por la noche proveniente de fuentes artificiales hace que el organismo produzca menor cantidad de melatonina, la hormona del sueño, dificultando el descanso nocturno. (6)

Recientemente, ciertos fabricantes han comenzado a dividir el rango de la luz azul en dos: la luz azul-violeta (380-440 nm) y la luz azul turquesa (440-500 nm). Con esta distinción se pretende separar aquella parte del espectro que se presupone más perjudicial para la salud ocular (azul -violeta), de aquella que no resulta perjudicial, sino al contrario (luz azul-turquesa).

La mayoría de las pantallas no llegan a emitir la luz azul-violeta o emiten a muy baja intensidad y para demostrar esto he realizado mediciones en distintos

monitores comerciales. A continuación, se exponen los distintos tipos analizados en este trabajo:

- LED: Pantalla LCD con retroiluminación LED que tiene contraste y negro limitados.
- QLED: Consiste en una pantalla LCD retroiluminación LED con una capa de quantum dots que sirven para conseguir colores más precisos, no consigue negro puro, solamente negros-grises.
- OLED: Cada píxel se enciende/apaga individualmente consiguiendo negros perfectos y un excelente contraste.
- AMOLED: es una mejora de la pantalla OLED con una matriz activa que controla los píxeles con mayor rapidez (7) (8).

En dispositivos móviles como smartphones, tablets o smartwatches de gama media y alta los tipos de pantalla más comunes son OLED y AMOLED a diferencia de los de gama baja que suelen ser dispositivos con pantallas LED. Samsung usa pantallas AMOLED en casi todos sus teléfonos móviles desde hace años (9) y Apple usa pantallas OLED desde el iPhone 12 en adelante (10).

En el caso de televisores, la tecnología de pantalla más común sigue siendo la LED debido a su menor coste en comparación con otras tecnologías, aunque en televisores de alta gama suele usarse tecnología OLED, QLED y QNED, sobre todo en marcas conocidas como LG, Sony, Philips o Samsung (9) (11) (12) (13).

	NEGROS	BRILLO	ÁNGULO DE VISIÓN	PRECIO
LED	Poco profundos	Medio	Limitado (pierde color al inclinarse)	Bajo
QLED	Mejor que el LED, pero no perfectos	Muy alto, bueno para exteriores	Mejor que el LED, pero no excelente	medio
OLED	Perfectos	Alto, aunque algo menos que el QLED para exteriores	Excelente (sin pérdida de color)	Alto
AMOLED	Perfectos	Alto, con más saturación	Excelente	Medio-alto

Tabla 1: Resumen de características de los principales tipos de pantallas comerciales

Otro concepto que interesa conocer es la transmitancia (T). Una propiedad óptica que describe la capacidad de un material para dejar pasar la radiación electromagnética (en este caso nos referimos a la luz). Es la razón entre la intensidad de la radiación transmitida a través de un medio (I_t) y la intensidad de la radiación incidente sobre ella (I_0), es decir, cuánta luz de la que llega a un objeto o sustancia consigue atravesarlo sin ser reflejada o absorbida (Eq. 1). Si $T=1$ es que el material es totalmente transparente, dejando pasar el

100% de luz que le llega. Si $T=0$ es que el material es opaco y no deja pasar nada de luz (14). Es posible conocer la variación espectral de esta magnitud, distinguiendo la transmitancia de un material para distintas longitudes de onda. En incidencia normal, la definición de transmitancia queda dada por la ecuación 1:

$$T = \frac{I_t}{I_0} \quad [\text{Eq. 1}]$$

Por lo tanto, el objetivo principal de este trabajo de fin de grado de investigación será determinar qué tipo de filtros pueden presentar una mayor protección ante a luz azul emitida por las pantallas. Para ello se tomarán datos de las emisiones de luz visible de distintos tipos de pantallas y compararlos con la transmitancia de algunos filtros medidos en el laboratorio

2-INSTRUMENTACIÓN

Para tomar las medidas de campo (fuera del laboratorio), utilicé un espectrómetro portátil del fabricante Ocean Optics. Este instrumento permite analizar la luz de una muestra. Sus componentes son: 1-Conector, 2-Rendija, 3-Filtro, 4-Espejo colimador, 5-Rejilla de difracción, 6-Espejo focalizador, 7-Lente de recolección y 8-Detector. Su funcionamiento consiste en que la luz proveniente de una fuente externa entra en el espectrómetro a través de un cable de fibra óptica. Esta luz pasa por una rendija que cuyo tamaño determina su resolución espectral y por filtros ópticos que seleccionan las longitudes de onda de interés. A continuación, un espejo colimador dirige la luz hacia una rejilla de difracción, que la separa en sus componentes espectrales, y un espejo focalizador concentra la luz dispersada sobre el detector, lo que permite saber qué longitudes de onda y con qué intensidad emiten ciertos objetos (15).

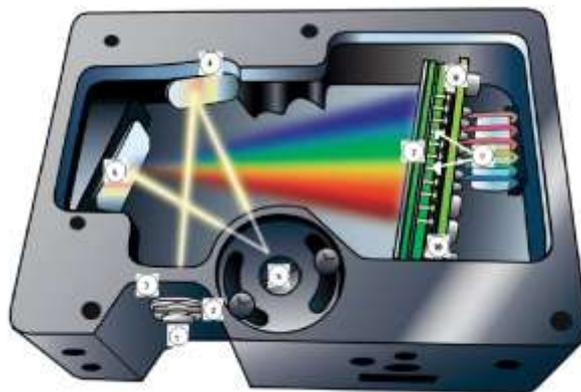


Figura 1: Esquema del espectrorradiómetro del fabricante Ocean Optics

Para tomar las medidas de las transmitancias de los filtros en el laboratorio se ha usado un espectroradiómetro LI-COR LI-1800. Este instrumento óptico mide la radiación desde 340nm a 1100nm, es decir, mide la luz visible, el ultravioleta y parte del infrarrojo (16). El funcionamiento de este instrumento es similar al explicado para el Ocean Optics (ver figura 1).

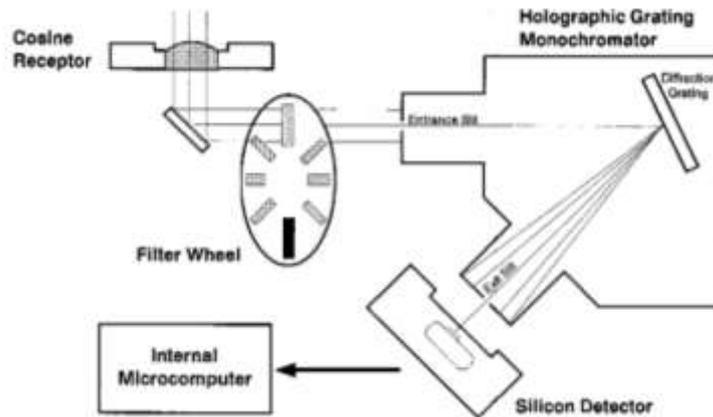


Figura 2: Esquema LI-COR LI-1800

Con estos instrumentos he realizado las medidas de las pantallas, los filtros y el offset. El offset es la medida del ruido electrónico que se hace con la fuente de luz apagada y que nos da idea del posible error experimental que pueden tener las medidas de los instrumentos utilizados. Las señales de offset en ambos instrumentos son muy cercanas a cero (no mostrado aquí) y pueden considerarse despreciable, ya que su valor es insignificante en comparación con las altas magnitudes registradas. Por tanto, su influencia sobre los resultados finales es despreciable y no afecta la validez de las conclusiones.

Para realizar el montaje experimental colocamos los cuatro filtros a estudiar frente al detector del espectrorradiómetro (Figura 3). Usamos una lámpara con filamento para iluminar con luz blanca (compuesta por todas las longitudes de onda del espectro visible) (Figura 4) separada a 70cm del detector y el programa del espectrorradiómetro nos informaba de la cantidad de luz que transmitían los filtros para cada longitud de onda. De esta forma logramos obtener los resultados de las medidas y caracterizar como cada filtro afectaba a la luz blanca recibida por el detector (Figura 5).

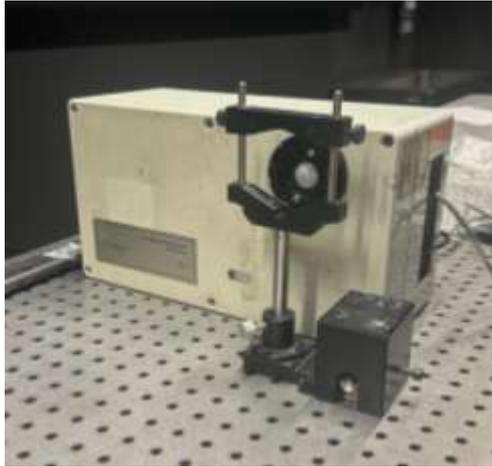


FIGURA 3: Detector LI-COR LI-1800



FIGURA 4: Fuente de iluminación

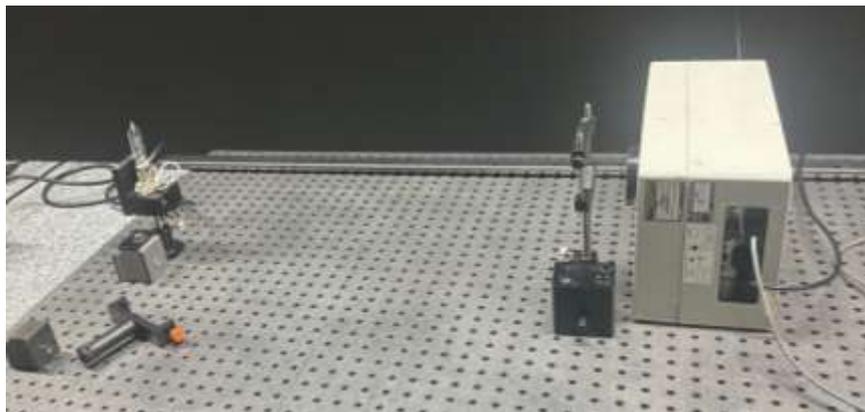


FIGURA 5: Montaje general

3-RESULTADOS

Con el objetivo de analizar las características espectrales de distintas tecnologías de pantalla, he realizado mediciones espectrales individuales para cada tipo de dispositivo utilizando el espectrómetro Ocean Optics. Estas mediciones me permitieron identificar las longitudes de onda en la que emiten luz cada una de ellas, prestando especial atención al componente de la luz azul.

Al principio representé los espectros de emisión de cada pantalla por separado en una única gráfica comparativa, sin embargo, para facilitar el análisis e interpretación de los resultados se optó posteriormente por reagrupar las pantallas en función de qué longitud de onda del espectro comienzan a emitir azul. Esta reorganización permitió observar de forma más clara las diferencias y

similitudes entre tecnologías y en cuanto a la localización espectral de su componente azul (ver Figura 6).

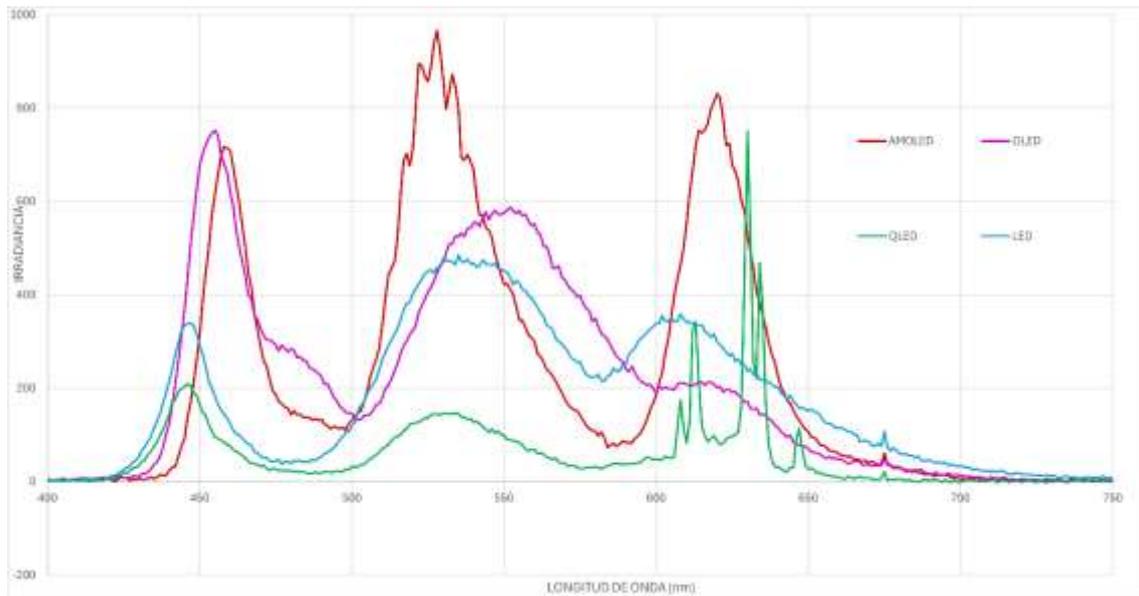


Figura 6: Irradiancia de 4 tipos de tecnologías de pantalla

Una vez tomadas las medidas de las pantallas se llevó a cabo una comparación de la transmitancia espectral de distintos filtros oftálmicos, diseñados especialmente para proteger frente a la radiación luminosa dañina (especialmente en el rango de la luz azul).

El objetivo fue evaluar en qué medida estos filtros modifican el espectro de la luz que llega al ojo del usuario y compararlas con el espectro de emisión de las pantallas.

-FILTRO CPF 450: Filtro de color ámbar claro diseñado para bloquear la luz azul-violeta con un corte espectral en los 450 nm aproximadamente. Este tipo de filtros se utiliza en pacientes con fotofobia leve, degeneración macular inicial o simplemente para mejorar su comodidad visual en ambientes con iluminación artificial muy intensa. En la medición espectral realizada se observó una disminución significativa de la transmitancia en el intervalo comprendido entre los 400 y los 470 nm, confirmando su capacidad de filtrado en esa región del espectro visible. A partir de los 500 nm el filtro permite el paso de una proporción considerable de luz lo cual permite una percepción del color natural (17) (18).

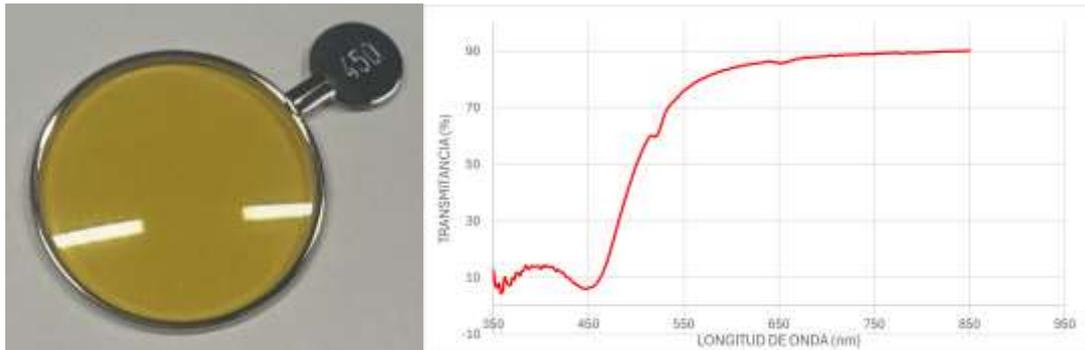


FIGURA 7: Filtro CPF 450 y su curva de transmitancia

-FILTRO CPF 511: Este filtro tiene un tono ámbar más intenso que el anterior y su corte espectral está en los 511 nm. Este filtro está indicado en fotofobia moderada y patologías como glaucoma cataratas o afaquia. En las mediciones se mostró una reducción bastante más acentuada de la luz azul, lo que se traduce en una mayor protección frente a fuentes de deslumbramiento. Además, este filtro ofrece una mejoría significativa en el contraste, aunque puede alterar levemente la percepción de los colores (17) (18).

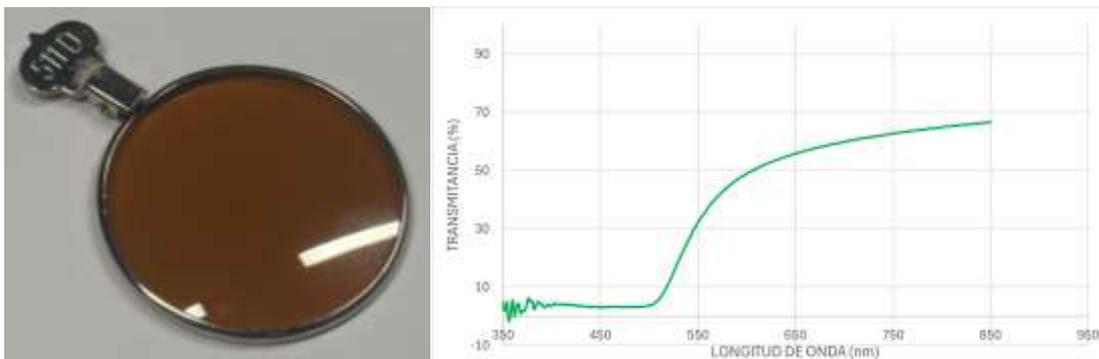


FIGURA 8: Filtro CPF 411 y su curva de transmitancia

-FILTRO CPF 527: Este filtro es el más oscuro de los tres, con un corte espectral situado en los 527 nanómetros. Se recomienda en casos severos como albinismo, aniridia, fotofobia intensa o fases avanzadas de retinopatía diabética. Bloquea por completo toda la luz azul y parte del espectro verde. Ofrece una protección muy elevada frente a la radiación de alta energía y la imagen percibida se vuelve más cálida y apagada (17) (18).

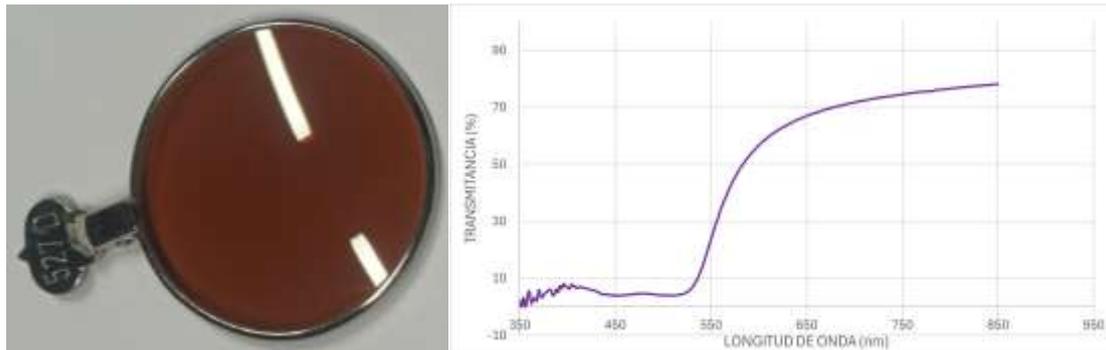


FIGURA 9: Filtro CPF 527 y su curva de transmitancia

-LENTE SIN GRADUACIÓN CON FILTRO DE LUZ AZUL: Analicé una gafa sin corrección óptica equipada con el filtro comercial de luz azul. Este tipo de gafas se publicita como protección frente a la luz azul emitida por las pantallas de ordenadores, móviles, tablets, etc... Se aprecia una atenuación parcial hasta los 440 nm, aunque no tan pronunciada como en los filtros CPF. La transmitancia no cae a cero en ningún momento en la luz azul, lo que indica que el bloqueo de la luz azul es parcial y permite el paso de una importante fracción en este rango espectral.

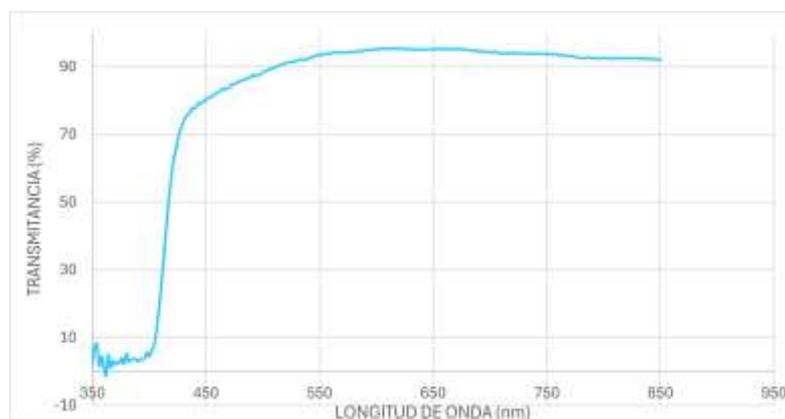


FIGURA 10: Gráfica de la transmitancia del filtro contra luz azul

Por último compruebe la eficacia de un Software de filtro de luz azul. La mayoría de dispositivos electrónicos tienen un modo noche o night shift que ajusta la temperatura de color de las pantallas haciéndolas más cálidas. Para probar si esto era cierto realicé mediciones espectrales de manera experimental de las pantallas del teléfono en modo noche y modo normal. Pude comprobar como se reduce parcialmente la intensidad que emite la pantalla de luz azul.

4-DISCUSIÓN:

En este trabajo se ha llevado a cabo un estudio comparativo de la emisión de luz azul de diferentes tecnologías de pantallas utilizadas normalmente en dispositivos electrónicos como ordenadores, teléfonos móviles y tablets, con el objetivo de analizar en qué longitudes de onda emiten cada una de ellas y qué filtros ópticos podrían ser útiles para reducir dicha emisión, ya que la exposición prolongada a luz azul, especialmente en la franja entre 380 y 450 nm, puede generar efectos negativos sobre la salud visual y los ritmos circadianos.

En primer lugar, se ha medido la emisión espectral de una pantalla LED convencional, cuyo pico de emisión se ha encontrado en torno a los 445 nm, iniciando su transmisión en los 425 nm aproximadamente y este tipo de pantalla resulta ser una de las que emite más intensamente en la franja del azul violeta, por lo tanto, entre los filtros analizados, el CPF 450 sería el más adecuado, ya que bloquea la transmisión de longitudes de onda por debajo de aproximadamente 450 nm reduce de forma significativa el paso de la luz hasta los 480 nm sin casi alteración de la percepción de colores, lo que lo convierte en una opción útil para disminuir los efectos de la exposición directa a pantallas LED.

En segundo lugar, se analizó una pantalla OLED, que al utilizar compuestos orgánicos emisores de luz tiende a presentar una distribución espectral más suave, aunque igualmente significativa en la zona azul, con una emisión que comienza alrededor de los 430 nm y alcanza su máximo en los 460 nm, por lo que si bien emite algo menos que la LED en los primeros tramos del azul, sigue teniendo una intensidad notable que puede justificar el uso de filtros como el CPF 511, que actúa de forma más selectiva a partir de los 500 nm pero que, si bien deja pasar parte de la luz azul, permite mejorar el contraste sin eliminar completamente la percepción cromática, siendo una opción intermedia que protege en parte sin alterar en exceso la calidad visual.

Por otro lado, las pantallas QLED, que emplean tecnología de puntos cuánticos, presentan un espectro con una emisión muy definida y estrecha, comenzando a emitir en la franja de los 425 nm con un pico agudo en torno a los 445 nm, lo que las convierte en una de las más agresivas en términos de intensidad de luz azul-violeta junto a la pantalla LED, y por tanto el uso del filtro CPF 450 sería el más adecuado y suficiente en este, ya que este filtro empieza a bloquear a partir de los 450 nm y reduce de forma significativa la transmisión de toda la luz azul hasta 480nm, ofreciendo una defensa adecuada.

En cuanto a las pantallas AMOLED, que combinan las ventajas de los diodos orgánicos emisores con un control activo por píxel, su emisión de luz azul es similar a la de las OLED, aunque en muchos casos se observa una mayor eficiencia y brillo, lo cual también implica un aumento en la cantidad de luz azul emitida, que comienza en los 440 nm y alcanza máximos alrededor de los 460 nm, por lo que nuevamente un filtro como el CPF 511 sería eficaz en ambientes

de uso prolongado, aunque en situaciones de mayor sensibilidad puede considerarse también el CPF 527 (aunque no tendríamos fidelidad cromática).

Finalmente, se evaluó una gafa sin graduación con filtro de luz azul, de tipo comercial, la cual mostró una eficacia parcial en la reducción de la luz azul, bloqueando principalmente en torno a los 380-415 nm pero permitiendo el paso de longitudes mayores, por lo que sería adecuada para entornos donde no se requiera una protección extrema pero sí una reducción moderada de la exposición, especialmente en combinación con ajustes de software disponibles en algunos dispositivos como el modo nocturno.

Aunque los filtros comerciales para luz azul presentan una eficacia limitada a la reducción real de la exposición a longitudes de onda cortas en especial y tener precaución al recomendar el uso de los filtros más selectivos, como los filtros CPF. Estos filtros han sido desarrollados específicamente para personas con patologías visuales como la degeneración macular o la retinosis pigmentaria, con el objetivo de mejorar el contraste y reducir el deslumbramiento mediante el bloqueo de determinadas longitudes de onda. A pesar de que he señalado previamente que filtros spf son eficaces desde un punto de vista físico para bloquear la luz azul emitida en alguna de las pantallas, su uso cotidiano en sujetos sanos no es recomendable. Esto es debido a que estos filtros también bloquean de forma significativa la luz azul presente en el espectro solar, cuya exposición durante el día es fundamental para regular la secreción de melatonina y mantener los ritmos circadianos. Por tanto, el uso de estos filtros podría alterar el ciclo sueño- vigilia, generando un efecto contrario al que se busca.

También es importante señalar la pérdida de fidelidad cromática que nos dan estos filtros ya que hoy en día las mayoría de los fabricantes de dispositivos electrónicos de alta gama se esfuerzan por ofrecer una reproducción del color lo más fiel posible a la realidad y si usamos estos filtros perderíamos esa fidelidad al color.

Por otro lado ,cabe destacar que ninguno de los filtros estudiados elimina completamente la luz azul, sino que atenúan su intensidad en mayor o menor grado, lo cual, según el caso, puede ser suficiente para evitar molestias o interferencias en la secreción de melatonina sin comprometer la funcionalidad visual.

Además de filtros CPF, se comercializan muchos otros para la protección contra la luz azul, algunos de ellos son:

- Filtros físicos para pantallas: Filtro que promete bloquear el 90% de la luz azul de las pantallas y reducir así el insomnio, la fatiga visual, los dolores de cabeza, los ojos secos y la visión borrosa (19).

- Lentes intraculares: Se han desarrollado lentes intraoculares (LIO) con filtro de luz azul para su uso en cirugía de cataratas, con el fin de proteger

la retina frente a la luz de alta energía. Aunque diversos estudios concluyen que estas lentes no alteran significativamente la calidad del sueño e incluso la mejoran (20), algunas investigaciones han evidenciado una reducción de hasta el 50 % en la secreción de melatonina nocturna en comparación con personas con lentes neutras (21).

-Cremas para la piel contra la luz azul: las cremas para la piel con protección contra la luz azul han ganado popularidad en los últimos años, especialmente con el aumento del tiempo que pasamos frente a pantallas electrónicas. Aunque la luz azul no es tan energética como los rayos ultravioleta algunos estudios han demostrado que la exposición prolongada a la luz azul violeta puede tener efectos negativos en la piel como estrés oxidativo hiperpigmentación, disminución de la hidratación, y envejecimiento prematuro (22) (23). Estas cremas están compuestas de antioxidantes como la vitamina C, la vitamina E, la niacinamida y el ácido ferúlico que se encargan de neutralizar los radicales libres. También pueden llevar óxido de hierro que refleja parte de la luz visible incluido el azul. Su eficacia aún no se sabe a ciencia cierta ya que actualmente no existen estudios científicos que demuestren que las cremas diseñadas para proteger la piel contra la luz azul sean ineficaces, sin embargo, la evidencia sobre su efectividad es limitada y en la mayoría de casos se basa en estudios de laboratorio o en modelos de piel reconstruida lo que dificulta extrapolar los resultados a situaciones reales.

5-CONCLUSIÓN:

A lo largo de este trabajo se ha analizado la emisión de luz azul por parte de diferentes tipos de pantallas (LED, OLED, QLED y AMOLED) y se ha evaluado la eficacia de diversos filtros ópticos, tanto especializados como comerciales, además de posibles métodos de protección frente a esta luz. Los resultados muestran que todas las pantallas analizadas emiten luz azul en un rango comprendido aproximadamente entre los 420 y los 500 nm, con picos de intensidad situados en torno a los 445–460 nm. No obstante, esta emisión varía en intensidad y distribución según el tipo de tecnología utilizada: las pantallas LED y QLED muestran un pico más agudo y más cercano al UV en la zona del azul, mientras que las OLED y AMOLED presentan una emisión más amplia y alejada del UV.

En base a las mediciones realizadas y al análisis espectral de la transmisión, puede afirmarse que la luz azul emitida por las televisiones y dispositivos comunes no alcanza niveles de irradiancia lo suficientemente altos como para producir un daño fotoquímico directo sobre la retina en condiciones de uso normales (24). Si bien es cierto que la exposición prolongada, especialmente en condiciones de baja iluminación ambiental, puede provocar molestias visuales, fatiga ocular y alteraciones del ritmo circadiano por inhibición

parcial de la secreción de melatonina, estos efectos no equivalen a un daño estructural en el tejido ocular y son reversibles.

En cuanto a la utilidad real de los filtros comerciales incluidos en lentes oftálmicas (como gafas con filtro azul sin graduación o lentes oftálmicas con tratamiento de luz azul), los resultados sugieren que su eficacia es moderada y limitada a ciertas longitudes de onda, generalmente las más cortas (380–415 nm), pero que no logran eliminar totalmente la emisión azul, especialmente aquella que se encuentra a partir de los 425 nm, que es precisamente donde se sitúan los picos de emisión de la mayoría de pantallas. Por tanto, si bien estos filtros pueden ofrecer un confort visual adicional en determinadas situaciones, como trabajos prolongados frente a pantallas o uso nocturno de dispositivos electrónicos, su uso no debería asociarse con una protección total ni considerarse una medida imprescindible desde el punto de vista médico o preventivo en usuarios sanos.

En resumen, la utilización de filtros de luz azul puede resultar útil para mejorar el confort visual y reducir la fatiga en ciertas situaciones, pero no es estrictamente necesaria para todos los usuarios ni representa una barrera eficaz contra un daño ocular real en condiciones normales de exposición. Además, los datos obtenidos en este estudio indican que la luz azul emitida por las televisiones no es dañina para la salud ocular, aunque sí puede influir en la calidad del sueño si se utilizan durante las horas previas al descanso nocturno. Por tanto, más allá del uso de filtros en casos excepcionales, la clave está en adoptar hábitos visuales saludables, como reducir el brillo de las pantallas, usar configuraciones de luz cálida por la noche, hacer pausas regulares y limitar el uso de dispositivos en las horas antes de dormir.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Horibe M, Yoshino Y, Domoto S, Nakamura M, Shimazawa M, Hara H. The effects of blue LED light on behavior and retinal function in maternal and offspring mice. *J Behav Brain Sci.* 2017;7(8).
2. Kuse Y, Ogawa K, Tsuruma K, Shimazawa M, Hara H. Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light. *Sci Rep.* 2014;4:5223.
3. Óptica Europa. La luz azul y sus efectos. Disponible en: <https://www.optica-europa.es/la-luz-azul-y-sus-efectos/> (25 de abril 2025)
4. Centro Oftalmológico Barraquer. ¿Qué afectación tiene la luz azul en los ojos?. Disponible en: <https://www.barraquer.com/noticias/que-afectacion-tiene-luz-azul-ojos> (25 de abril 2025)
5. García Molina VJ. Luz azul: De las evidencias científicas a la atención al paciente. *Int Rev Ophthalmic Optics.* 2017. Disponible en: https://www.pointsdevue.com/sites/default/files/luz_azul_de_las_evidencias_cientificas_0.pdf (25 de abril 2025)

6. American Academy of Ophthalmology. Los dispositivos electrónicos y la vista. Disponible en: <https://www.aaopt.org/salud-ocular/consejos/los-dispositivos-electronicos-y-la-vista> (25 de abril 2025)
7. Organización de Consumidores y Usuarios (OCU). Diferencias entre LED, QLED y OLED. Disponible en: <https://www.ocu.org/tecnologia/television/consejos/diferencias-led-qled-oled> (25 de abril 2025)
8. iElectro. LCD, LED, OLED, QLED y NanoCell: Guía completa 2025. Disponible en: <https://www.ielectro.es/blog/lcd-led-oled-qled-y-nanocell-guia-completa-2025> (25 de abril 2025)
9. Samsung. ¿Qué es la pantalla Super AMOLED? Disponible en: <https://www.samsung.com/es/mobile-phone-buying-guide/what-is-super-amoled-screen> (25 de abril 2025)
10. Apple Support. Tipos de pantalla en dispositivos Apple. Disponible en: <https://support.apple.com/es-lamr/109039> (25 de abril 2025)
11. LG España. El televisor LG adecuado para usted. Disponible en: <https://www.lg.com/es/lg-experience/tech-hub/el-televisor-lg-adecuado-para-usted> (25 de abril 2025)
12. Sony España. Cómo seleccionar tu TV. Disponible en: <https://www.sony.es/bravia/how-to-select-tv> (25 de abril 2025)
13. Philips España. Encuentra el mejor televisor para ti. Disponible en: <https://www.philips.es/c-e/so/guia-de-compra-de-televisores/encuentra-el-mejor-televisor-para-ti> (25 de abril 2025)
14. Scribd. Transmitancia y absorbancia. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/429540648/Transmitancia-y-Absorbancia> (26 de abril 2025)
15. Ocean Optics. USB2000+ Operating Instructions. Disponible en: <https://www.oceanoptics.com/wp-content/uploads/2024/12/USB2000Plus-Operating-Instructions.pdf> (26 de abril 2025)

16. MIT. Li-Cor Manual. Disponible en:
<https://web.mit.edu/1.75/www/FieldTrips/LiCorManual.pdf> (26 de abril 2025)
17. Universidad de Valladolid. TFM: Análisis de la luz azul. Disponible en:
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/6473/TFM-M84.pdf> (26 de abril 2025)
18. AVS Baja Visión. Rangos de fabricación filtros CPF. Disponible en:
<https://avsbajavision.com/productos-de-baja-vision/filtros-avs-baja-vision/rangos-de-fabricacion-filtros-cpf> (26 de abril 2025)
19. Amazon. Filtro protector de pantalla VistaProtect. Disponible en:
<https://www.amazon.es/VistaProtect-Protector-Pantallas-Port%C3%A1til-Desmontable/dp/B07ZQDY99H> (27 de abril 2025)
20. Kuse Y, et al. Blue light-induced retinal damage. *Curr Med Chem*. Disponible en:
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3716663> (27 de abril 2025)
21. Hatori M, et al. Effects of blue light on human circadian rhythms. *Sleep Med*. Disponible en:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27966269/> (27 de abril 2025)
22. Thoclor Labs. Luz azul y salud de la piel. Disponible en: <https://thoclor.com/es/blue-light-and-skin-health> (27 de abril 2025)
23. Amazon. Eva Visnú Protectora Antioxidante. Disponible en:
<https://www.amazon.es/Eva-Visn%C3%BA-Protectora-Antioxidante-Hidratante/dp/B07RYN2WSW> (27 de abril 2025)
24. Hipólito V, Coelho J. Blue Light of the Digital Era: A Comparative Study of Devices. *Photonics*. 2023;11(1). doi:10.3390/photonics11010093 (8 de mayo 2025)

Figura 1: Ocean Optics. USB2000+ Operating Instructions. Disponible en:
<https://www.oceanoptics.com/wp-content/uploads/2024/12/USB2000Plus-Operating-Instructions.pdf> (25 de abril 2025)

Figura 2: LI-COR. Manual del equipo. Disponible en:
<https://licor.app.boxenterprise.net/s/k8mr6zd0h6bjndwmqn6h> (25 de abril 2025)