



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

Grado en Óptica y Optometría

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

FILTROS DE LUZ AZUL: CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL Y ANÁLISIS DE SU USO.

Presentado por: Lidia Redondo Fernández

Tutelado por: David Mateos Villán
Sara Herrero Anta

Tipo de TFG: Investigación

En Valladolid, a 29 de Mayo 2020

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. EL OJO	4
1.2. LA LUZ	5
1.1.1. LUZ AZUL	6
1.1.2. TRANSMITANCIA	7
1.3. FILTROS PARA LA LUZ AZUL: INTERNOS Y EXTERNOS	7
1.4. OBJETIVOS	8
CAPÍTULO 2. INSTRUMENTACIÓN Y METODOLOGÍA	9
2.1. INSTRUMENTACIÓN	9
2.1.1. ESPECTRORRADIÓMETRO	9
2.1.2. MONTAJE	10
2.1.3. FUENTES DE LUZ	10
2.1.4. FILTROS UTILIZADOS	11
2.2. METODOLOGÍA	11
CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....	12
3.1. FILTROS EXTERNOS	12
3.2. FILTROS INTERNOS	15
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN	18
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	19
BIBLIOGRAFÍA	20

RESUMEN

El presente trabajo estudia la transmitancia de los filtros usados para limitar la exposición a la luz azul, ya que ésta puede causar la inhibición de la producción de melatonina y fatiga visual. Se han realizado medidas experimentales de transmitancia usando el espectrorradiómetro USB650 de Ocean Optics, en el intervalo 380-500 nm. Los resultados muestran valores bajos de transmitancia para la luz violeta y a partir de ahí un aumento en la transmisión de radiación. Se ha medido la intensidad de radiación que emiten dos dispositivos electrónicos (smartphone y portátil), comenzando a emitir en 430 nm. Con lo que la mayor cantidad de radiación bloqueada por los filtros cae en un intervalo de longitud de onda menor. Activando su modo noche, se reduce la radiación de luz azul emitida, pero algunas pruebas indican un aumento en la radiación roja. Con lo que su beneficio ha de seguir investigándose.

The present study analyzes the transmittance of different filters used to limit the exposure to blue light, since this kind of light can cause an inhibition of melatonin production and visual fatigue. Experimental measurements of transmittance have been taken using the USB650 spectroradiometer from Ocean Optics, within the 380-450 nm range. Results show low transmittance values for violet light, with increasing values hereafter. It has been measured the radiation intensity emitted by two electronic devices (smartphone and laptop), starting the measure on 430nm. Therefore, the biggest amount of radiation blocked by the filters take place on a shorter wavelength range. Turning on its night mode, the blue light emission decreases, even though some results point out an increase on red radiation. That is why the research about benefits of blue light filters must stay in progress.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 EL OJO

El globo ocular es una estructura casi esférica localizada en la cavidad orbitaria. Con la ayuda de todos sus anexos y estructuras internas, es el denominado órgano de la visión. Gracias a él, somos capaces de formar una imagen clara y nítida en nuestro cerebro de lo que estamos observando, y así, llevar a cabo la función de la visión.[1] Está formado por tres capas como se muestra en la **Figura 1**:

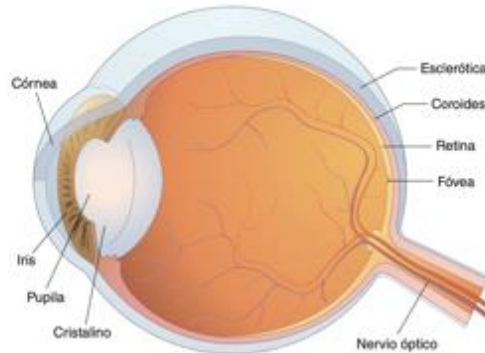


Figura 1. Globo ocular. Se muestran las tres capas: 1) esclerótica, integrada por la córnea y la esclera, 2) intermedia, formada por úvea (iris, cuerpo ciliar y coroides) y 3) interna, formada por la retina.[1]

En esta primera capa encontramos la esclerótica. Se trata de la capa más externa del ojo y la denominada capa protectora. Se extiende hasta la córnea, que es una estructura avascular y transparente que permite el paso de la luz a través de ella. La córnea también se caracteriza por ser la estructura ocular con más poder refractivo. [1,2]

Después de la córnea estaría la cámara anterior. Esta, se encuentra llena de humor acuoso que se encarga de nutrir y oxigenar la córnea y el cristalino. El cristalino, es una lente transparente cuya función principal es la acomodación. Este modifica su curvatura con el fin de formar una imagen nítida y enfocada.[1,2]

La segunda capa es la coroides. Es una capa vascularizada y pigmentada que nutre las capas más externas de la retina. Está formada por dos estructuras, el cuerpo ciliar, que es una continuación de la coroides y sostiene el cristalino con la ayuda de los procesos ciliares, y unas fibras musculares. Estas fibras forman una especie de cápsula denominada zónula de Zinn.[1]

Entre la córnea y el cristalino encontramos el iris, el cual tiene una abertura central y circular denominada pupila. El iris va a regular el paso de la luz con la ayuda de los músculos constrictores de la pupila, haciendo que esta última, aumente o disminuya su tamaño dependiendo de la luz del ambiente. Esto ayuda a proteger a la retina de daños fototóxicos y al cristalino en el proceso de acomodación.[1]

Por último, la capa más interna es la retina. La retina es la parte más fotosensible de nuestro órgano de la visión. Está formada por diez capas: epitelio pigmentario, fotorreceptores, membrana limitante externa, nuclear externa, plexiforme externa, nuclear interna, plexiforme interna, capa de células ganglionares, capa de fibras nerviosas y membrana limitante interna. [1,20]

La parte central se denomina mácula que es donde se encuentra la fovea y tenemos la máxima agudeza visual. También tenemos la coroides que es la capa vascular y pigmentada que nutre las capas más externas de la retina, el nervio óptico y los vasos retinianos. Podemos estudiar la retina con un instrumento denominado oftalmoscopio.

En la capa de fotorreceptores tenemos los conos y los bastones que son las células encargadas de transformar los impulsos nerviosos en señales eléctricas. Los conos se encargan de la percepción de los colores. Se encuentran en mayor número en la fovea y disminuyen según vamos acercándonos a la periferia. Los bastones se encargan de la percepción de la luz. [1,20]

1.2 LA LUZ

La luz se entiende como una dualidad onda-partícula, pues ambas concepciones son necesarias para describir su comportamiento. Sin embargo, en este caso, la trataremos simplemente como una onda cuya velocidad de propagación es $c \approx 300.000 \text{ km/s}$ [2]. La luz es una parte del espectro electromagnético, que se define como la distribución energética de ondas electromagnéticas. Comienza por los rayos gama y rayos X, que se corresponden con una mayor energía, hasta las microondas, de menor energía. Entre ellas se encuentra la luz ultravioleta, el espectro visible y el infrarrojo.

Por lo tanto, el espectro electromagnético es el conjunto de todas las radiaciones electromagnéticas, ver **Figura 2**.

La luz o espectro visible engloba aquellas longitudes de onda que el ojo humano es capaz de percibir. El rango de longitudes de onda que lo componen es pequeño en comparación con la totalidad del espectro electromagnético. Comienza en longitudes de onda corta o violetas, de unos 380-450nm, hasta longitudes de onda más largas, sobre 620-750nm, que son los rojos. Estos extremos, presentan efectos perjudiciales para la salud de los seres vivos bajo altas exposiciones [2].

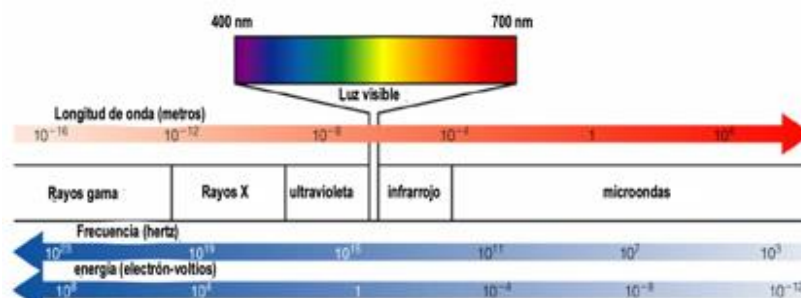


Figura 2. Espectro electromagnético[3]

La luz del sol que consigue atravesar la atmósfera está formada por todas las longitudes de la onda que engloban, desde algo menos de 300 nm, hasta casi los 3000 nm. Su distribución y composición suele variar ya que depende de la localización geográfica, la hora del día, las condiciones meteorológicas, las condiciones atmosféricas y la estación del año. Por lo tanto, dentro de la luz del sol también tendremos el intervalo del visible y, por tanto, la luz azul.

1.2.1 LUZ AZUL

La luz azul, dentro del intervalo del espectro visible, se encuentra entre los 400-460 nm de longitud onda. Es la principal responsable de regular los ritmos circadianos, el estado de ánimo y el rendimiento cognitivo, es decir, nos activa y ayuda a mejorar el rendimiento y la concentración, aumentando el aprendizaje. Cuando estamos expuestos a este tipo de luz, el cuerpo lo toma como una señal de que es de día y es momento de ponernos en movimiento [4,10]. Además, influye en la percepción de los detalles, los colores y las formas.

Sin embargo, la luz azul tiene también una serie de inconvenientes si nos exponemos a ella durante demasiado tiempo o se encuentra muy concentrada.

El primero de esos inconvenientes aparece al trabajar con las pantallas de los ordenadores/teléfonos móviles y las luces LED al final del día o por la noche, ya que la alta exposición a la luz artificial que proviene de estos aparatos produce una serie de alteraciones en nuestro organismo. Esto hace que la melatonina producida por nuestro cuerpo en ausencia de la luz solar no se forme debido a que la célula ganglionar de la retina que es sensible a ese tipo de longitud de onda no se activa, inhibiendo la producción de esta hormona [16,19]. Es decir, el cuerpo piensa que sigue siendo de día y que tiene que mantenernos activos, lo que hace que durmamos peor, la calidad de sueño disminuya y el tiempo que tardamos en quedarnos dormidos sea mayor [10,11,15].

Otro de los problemas que produce estar mucho tiempo expuesto a este tipo de luz es la fatiga visual. Esta fatiga aparece debido a que hay una mayor dispersión de la luz por ser una longitud de onda corta. La luz atraviesa la córnea y el cristalino sin ser absorbida por ninguna de las dos estructuras, lo que provoca un mayor efecto de dispersión dificultando el enfoque. Al no poder enfocar bien, disminuye la sensibilidad al contraste, haciendo que podamos ver borroso o doble [17,27].

Por último, tendríamos la toxicidad retiniana producida por una alta exposición a este tipo de luz. En realidad, no está demostrado que la luz azul provoque daños en la retina a largo plazo en humanos. No obstante, existen estudios en ratones y monos en los que una alta exposición a ella provoca daños en las células fotorreceptoras de la retina [12,13,14].

1.2.2 TRANSMITANCIA

La transmitancia se define como la cantidad de radiación que es capaz de atravesar un cuerpo en un tiempo determinado, es decir, toda aquella radiación que no es ni absorbida ni reflejada por un medio óptico[2]. Se puede definir espectralmente para cada longitud de onda o de forma integrada para distintas regiones del espectro. El valor de la transmitancia se calcula comparando el flujo radiactivo que incide normalmente sobre un material y el flujo transmitido que consigue atravesar dicho medio mediante la siguiente fórmula. [2,18]

$$T_{\lambda} = 100 \cdot \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

Donde la I es la intensidad que se obtiene al pasar la luz a través del material y la I_0 la intensidad de radiación que incide normalmente. El factor 100 nos permite calcular la transmitancia en tanto por ciento (%).[18]

1.3 FILTROS PARA LA LUZ AZUL: INTERNOS Y EXTERNOS

Para intentar evitar todas las desventajas de esta sobreexposición a la luz azul nombradas anteriormente se utilizan unos filtros que consiguen impedir la llegada de esta radiación a las estructuras ópticas del ojo. Pueden ser internos o externos:

Los internos [29] son un tipo de filtros que se encuentran en los aparatos electrónicos. Estos filtros se centran en la modificación de la temperatura de color. A ciertas horas del día cambian el color de la pantalla a uno más amarillento, haciendo que la onda de longitud azul disminuya. Pueden encontrarse en el software del propio aparato, en un navegador externo o poniendo el modo lectura de un monitor externo, un ejemplo de estas configuraciones se muestra en la **Figura 3**.



Figura 3. Portátil y Smartphone con el filtro de luz activado respectivamente [21,22].

Lo externos[28] se adhieren encima de las pantallas de los aparatos electrónicos o de las lentes oftálmicas. Es más común ver este tipo de filtros en las lentes oftálmicas y dentro de ellos tenemos varios tipos según su fabricación.

- El primer tipo de filtro es fabricado dentro de la masa de la lente. No se ven los reflejos azules característicos de estos filtros haciendo que

el cristal sea más transparente y suelen filtrar un 20% de la luz azul, ver **Figura 4a** [8,28].

- El segundo tipo de filtro se fabrica colocando una capa en la cara anterior de la lente. Este filtro es el más clásico y uno de los más utilizados. Los reflejos azules serán más notorios dependiendo de la calidad del cristal. Además, los blancos se ven un poco más amarillentos y el cristal de la lente suele tener esa tonalidad. Son capaces de filtrar un 20% de la luz azul [8,28], ver **Figura 4b**.
- Hay un filtro que combina la forma de fabricación de los dos anteriores y que es capaz de filtrar un 30% de la luz azul [8,28].
- El último tipo de filtro consiste en tinter la lente con colores anaranjados o rojos. Con ello seríamos capaces de filtrar un 80% de la luz azul. Este tipo de gafas solo se recomienda usarlas al final del día para ayudar a relajar la vista después de muchas horas delante de las pantallas y prepararse para ir a dormir[28], ver **Figura 4c**.



Figura 4. Distintos tipos de filtros para la luz azul[23,25,26].

Hay muchos profesionales que piensan que los filtros de luz azul en las lentes oftálmicas no son siempre la mejor opción para todo el mundo. Las grandes empresas suelen utilizar publicidad engañosa para que sus clientes pongan este tipo de tratamiento a sus lentes, cuando realmente, solo lo necesitarían las personas que están mucho tiempo trabajando con pantallas. Estos filtros son un tratamiento que siempre está activo en las lentes, por lo que también filtra la luz azul que se encuentra en la luz solar, haciendo que los efectos beneficiosos de este tipo de luz disminuyan o incluso desaparezcan [6].

Se suele recomendar el uso de los filtros internos una vez ha atardecido para que no modifique el ciclo de sueño.

1.4 OBJETIVOS.

Por lo tanto, el principal objetivo de este TFG, será la medida de la transmitancia espectral para la luz azul de lentes que tengan distintos tratamientos, para poder comparar su efectividad a la hora de impedir o no la transmisión de la luz azul hacia el interior del ojo. Este objetivo principal da lugar a los siguientes objetivos específicos y tareas a desarrollar:

- Realizar medidas en el laboratorio con instrumentación óptica de alto nivel que permita caracterizar la transmitancia espectral de diversas lentes oftálmicas y sus tratamientos.
- Manejo de software necesario para controlar la adquisición de datos.
- Tratamiento de datos para controlar el error asociado a la toma de medidas experimentales.

- Comparación de resultados entre los distintos tratamientos para tener clara su eficacia y establecer posibles diferencias en el intervalo de la luz azul.
- Análisis sobre los softwares incorporados en dispositivos electrónicos que producen luz cálida.

CAPÍTULO 2. INSTRUMENTACIÓN Y METODOLOGÍA

2.1 INSTRUMENTACIÓN:

2.1.1 ESPECTRORRADIÓMETRO.

El instrumento que se ha utilizado para la toma de las medidas de transmitancia es el espectrorradiómetro USB650 de la marca Ocean Optics Tide. Se trata de una red de difracción y un sistema de espejos que consigue separar las longitudes de onda entre 350 y 1100 nm para ser medidas por un detector CCD [9]. Su esquema se presenta en la **Figura 5**.

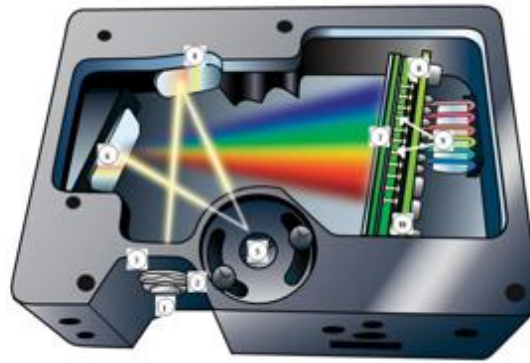


Figura 5. Esquema de los componentes del espectrorradiómetro. [9]

En las Tablas 1 y 2 se presentan las principales características y especificaciones del instrumento.

Specification	Value
Detector	Sony ILX511 CCD
No. of elements	2048 pixels
Sensitivity	75 photons per count at 400 nm
Pixel size	14 μm x 200 μm
Pixel well depth	~62,500 electrons
Signal-to-noise ratio	250:1 (at full signal)
A/D resolution	12 bit
Dark noise	3.2 RMS counts
Corrected linearity	>99.8%

Tabla 1. Especificaciones del espectrorradiómetro. [9]

Dimensions	89.1 mm x 63.3 mm x 34.4 mm
Weight	190 g
Power consumption	Dimensions
Detector	2048-element linear silicon CCD array
Detector range	200-1100 nm
Entrance aperture	25 μm -wide slit
Order-sorting filters	Installed longpass and bandpass filters
Focal length	42 mm input; 68 mm output
Optical resolution	~ 2.0 nm FWHM
Stray light	$<0.05\%$ at 600 nm; $<0.10\%$ at 435 nm
Dynamic range	2×10^8 (system); 1300:1 for a single acquisition
Fiber optic connector	SMA 905 to single-strand optical fiber (0.22 NA)
Data transfer rate	Full scans into memory every 13 milliseconds with USB 2.0 port
Integration time	10 microseconds to >60 seconds (detector's limit is ~ 15 sec)

Tabla 2. Características del espectrorradiómetro.[9]

2.1.2 MONTAJE

En primer lugar, tenemos una fuente de luz muy intensa capaz de emitir desde el infrarrojo hasta la luz ultravioleta. Dicha luz, va a llegar a un receptor de energía luminosa colocado en el banco de medidas, a la misma altura de la fuente. Este receptor se encuentra conectado a nuestro espectrorradiómetro mediante un cable que a su vez se encuentra conectado a un software, de esta forma, obtendremos la información de las longitudes de onda capaces de atravesar las lentes en una gráfica.

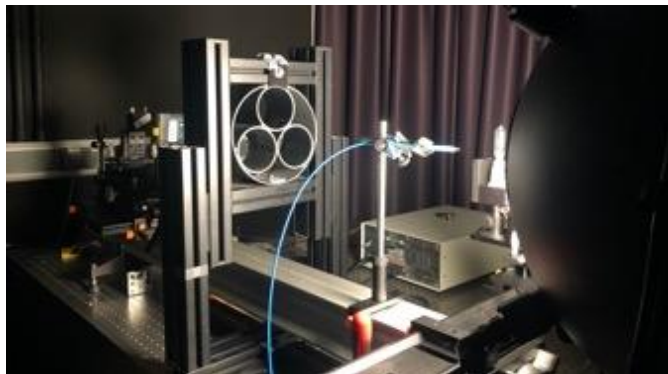


Figura 6. Dispositivo experimental: lámparas y esferas emisoras, receptor de fibra óptica

2.1.3 FUENTES DE LUZ

Se han utilizado dos tipos de luz, natural y artificial. La luz natural es la luz solar, mientras que la fuente de luz artificial consiste en 4

lámparas halógenas estabilizadas, de 35W. Dichas lámparas se encuentran situadas simétricamente dentro de una esfera con un interior completamente blanco. La esfera consta de una abertura circular, a través de la cual pasa la luz, de forma que los elementos situados en el eje óptico a la altura de dicha abertura reciben una luz estable y homogénea.

La luz blanca que proviene de los aparatos electrónicos tiene un pico bastante alto en la longitud de onda azul. Para disminuir ese pico, cuando se hace de noche, el software del aparato modificará los colores de la pantalla a tonos más cálidos, de forma que la luz azul se debería de atenuar.

2.1.4 FILTROS UTILIZADOS

Contamos con varios filtros externos de distintas marcas y distinta forma de fabricación y con dos filtros internos, de un ordenador y de un teléfono móvil. Los filtros utilizados se detallarán en cada caso dentro del capítulo de Resultados.

2.2 METODOLOGÍA.

Para conseguir buenas medidas de la transmitancia de cada material primero se debe caracterizar el offset (o error de cero, I_{OFFSET}) del instrumento, de forma que los resultados sean lo más precisos posibles. Por ello, se hará una primera medida sin luz, con el detector del instrumento completamente a oscuras. Esta se restará posteriormente a cada una de las medidas tomadas. Esta toma del error de offset se ha tomado antes de cada toma de medidas, para asegurar una correcta caracterización de nuestro sistema de adquisición de datos.

Para obtener el valor de la transmitancia de cada material lo primero que se ha de hacer es medir la radiación que llega del detector sin filtro en una incidencia normal (I_0). Posteriormente, se mide la radiación colocando el filtro entre la fuente de luz y el detector (I). Con estos datos corregidos con el error de fondo y utilizando la ecuación (1), obtendremos la transmitancia espectral (T_λ) según la ecuación 2.

$$T_\lambda = 100 \frac{I - I_{OFFSET}}{I_0 - I_{OFFSET}} \quad (2)$$

Además, se han hecho cinco mediciones en cada caso con el objetivo de obtener el error en la medida. Este error se ha calculado a partir de la desviación estándar (σ , calculada según la ecuación 3).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (3)$$

De tal forma que, a la media de las cinco medidas realizadas (\bar{X}), se le asignará un error que sea igual que su desviación estándar. De tal forma que el límite superior sea $\bar{X} + \sigma/2$ y el límite inferior sea $\bar{X} - \sigma/2$.

Con cada filtro externo se van a realizar dos medidas distintas utilizando distintas fuentes lumínicas: en este caso, la luz solar y la

lámpara de laboratorio. De esta forma, los filtros, se testarán ante dos situaciones de distinta intensidad de exposición.

Con cada filtro interno se va a medir la radiación con el filtro activado y sin activar, para hacer una gráfica comparativa de las dos situaciones. Se realizarán las medidas a tres distancias distintas.

Una vez obtenidos todos los datos, los llevaremos al programa Excel y realizaremos la representación gráfica de la transmitancia junto con su error. En el eje de las x se representarán las longitudes de onda y en el de las y el porcentaje de la transmitancia de cada material.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS.

En este apartado se van a exponer los resultados de las transmitancias espectrales obtenidas para cada filtro analizado. Para seguir un orden, primero se explicarán las gráficas de los distintos filtros externos (primero la transmitancia de la luz solar y la artificial respectivamente) y después, los internos.

3.1. FILTROS EXTERNOS.

Siguiendo el orden mencionado anteriormente se empezará explicando la transmitancia de los distintos tipos de filtros externos respecto a los dos tipos de fuente lumínica.

Los dos primeros filtros corresponden a gafas particulares de distinta marca. El tercero es un filtro genérico en la cámara anterior. Y el último, se trata de un filtro fabricado en masa.

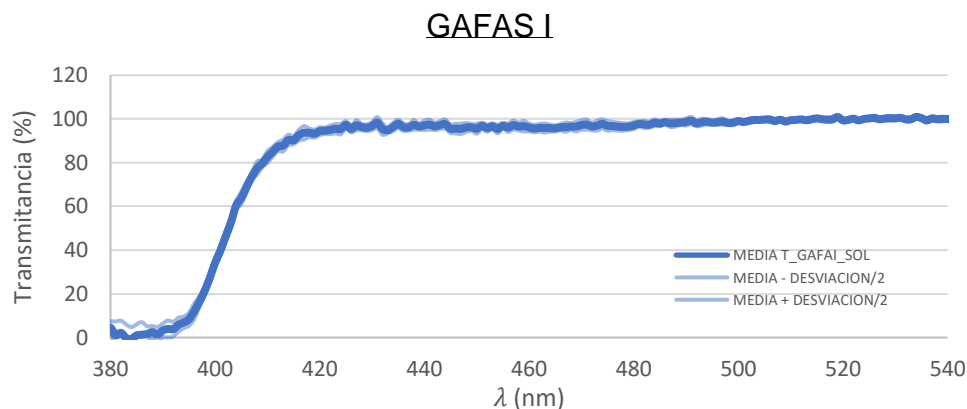


Figura 7. Gafas I - Filtro en masa. Fuente lumínica: sol.

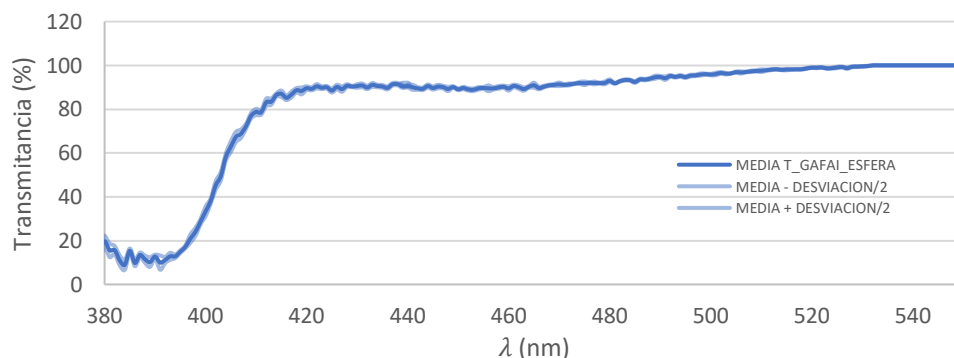


Figura 8. Gafas I – Filtro en masa. Fuente lumínica: luz artificial.

Como podemos observar en las Figuras 7 y 8, el primer filtro tiene una transmitancia baja para la zona de longitudes de onda más cortas, es decir, las que se encuentran más cerca de la luz UV. Este intervalo 380-400 nm tiene una transmitancia inferior al 20%, con lo cual bloquea casi la totalidad de dicha radiación. Al ir aumentando la longitud de onda hacia el color azul, la transmitancia va subiendo hasta llegar a valores del 90% cerca de 420 nm. Por encima de esta longitud de onda, la transmitancia se mantiene estable con una suave tendencia creciente hasta el 100% de transmitancia que se alcanza por encima de 500 nm. El valor típico que suelen bloquear este tipo de filtros es el 20% de la radiación de luz azul^[28], en este caso solo sería cierto si analizamos el intervalo de luz violeta.

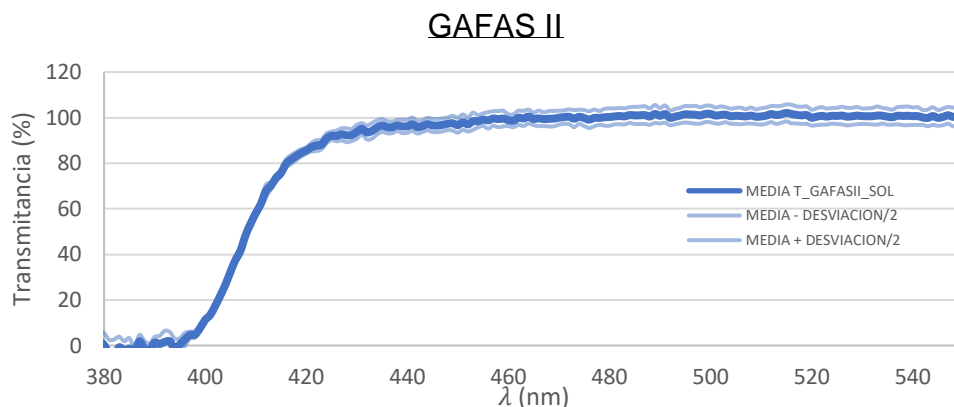


Figura 9. GAFAS II – Filtro en la cara anterior. Fuente lumínica: sol.

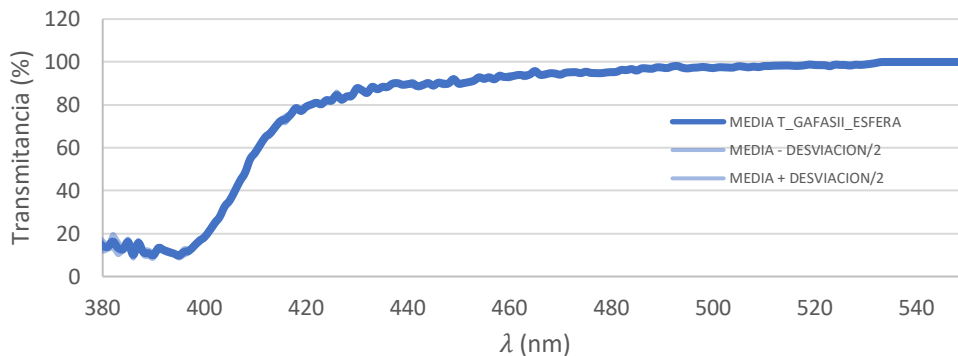


Figura 10. GAFAS II – Filtro en la cara anterior. Fuente lumínica: luz artificial.

Este segundo filtro, también de un particular, es de la marca Zeiss. Se trata de un tratamiento denominado *DuraVision® BlueProtect*. Según los datos facilitados por el fabricante ^[10], debería ser capaz de atenuar la luz azul en el rango de 390-440 nm. Como podemos ver en las Figuras 9 y 10, la transmitancia en 440 nm es algo superior al 90%. De nuevo, la reducción de un 20% de la cantidad de radiación solo se alcanza si se analiza el intervalo de luz violeta.

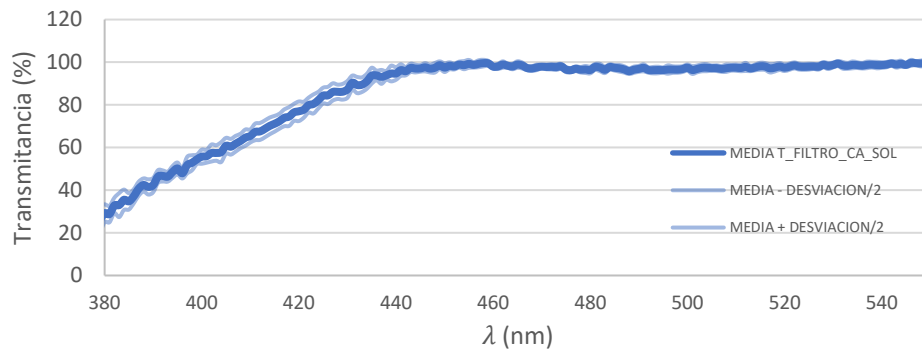
FILTRO DE CARA ANTERIOR

Figura 11. Filtro de cara anterior. Fuente lumínica: sol.

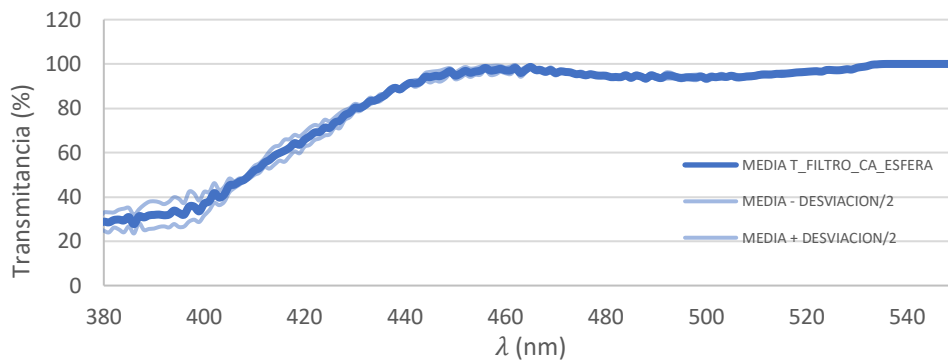


Figura 12. Filtro de cara anterior. Fuente lumínica: luz artificial.

El filtro de luz azul se encuentra en la cara anterior de la lente, es de la marca Indo y se conoce con el nombre Energy Blue. Según el fabricante [7], debería de bloquear un 20% de la luz azul. Los valores de transmittancia medidos están más cercanos al 100% a partir de 450 nm, sufriendo una caída abrupta hasta el 40-50% en los 400 nm. Este tipo de filtros presenta una mayor transmittancia en el intervalo medido de longitudes de onda más cortas, en torno al 30%.

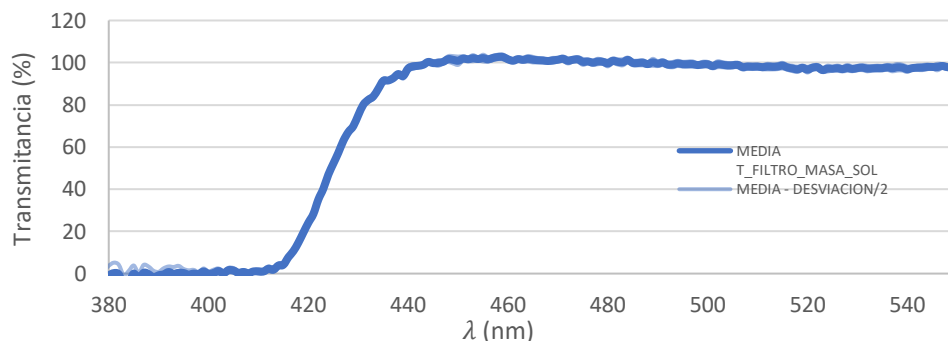
FILTRO EN MASA

Figura 13. Filtro en masa. Fuente lumínica: luz sol

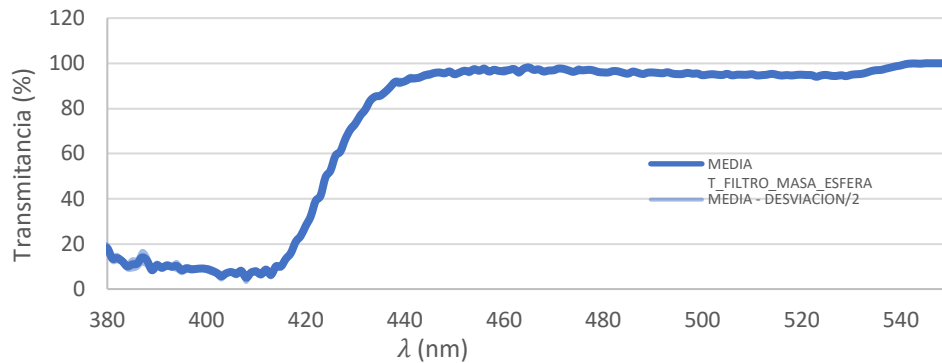


Figura 14. Filtro en masa. Fuente lumínica: luz artificial.

Este último filtro externo se trata de un filtro en masa de la marca Shamir, comercialmente conocido como Blue Zero [24]. Como todos los filtros anteriores debería ser capaz de filtrar un 20% de la luz azul hasta 440 nm pero como podemos observar en las gráficas superiores, en esa longitud de onda, el material está por encima del 90% de transmitancia a partir de 440 nm. En longitudes de onda más cortas, consigue bloquear un mayor porcentaje de radiación que los filtros anteriores, siendo su transmitancia, en 420 nm, entorno al 20%. Por debajo de 415 nm, apenas dejaría pasar radiación del color violeta.

La Figura 17, es un ejemplo que Shamir da en su página web [24], de lo que es capaz de atenuar este filtro la luz azul. La forma de la curva es análoga manteniendo algunas de las características comentadas. Sin embargo, la transmitancia nominal es claramente inferior a la reproducida en el laboratorio.



Figura 15. Transmisión Shamir Blue Zero [24]

3.2 FILTROS INTERNOS.

Como se ha mencionado anteriormente, los filtros internos son aquellos que utilizan los aparatos electrónicos y vienen incorporados en un software. Este tipo de filtros trabajan con el concepto de temperatura de color. Este concepto se obtiene comparando la luz que aparece al calentar un cuerpo negro a una temperatura determinada con la luz del espectro luminoso [30].

Como está indicado anteriormente se ha medido la intensidad de radiación que emiten las pantallas a distintas distancias (15, 25 y 40cm) de dos dispositivos electrónicos (Iphone X y un MacBook Pro) en emisión normal y con el denominado filtro de noche activado. De esta forma se pretende reproducir la intensidad de radiación que llegaría a un usuario

usando dichos dispositivos. Para la prueba se ha decidido usar una pantalla blanca con el máximo de brillo que da el dispositivo.

IPHONE X

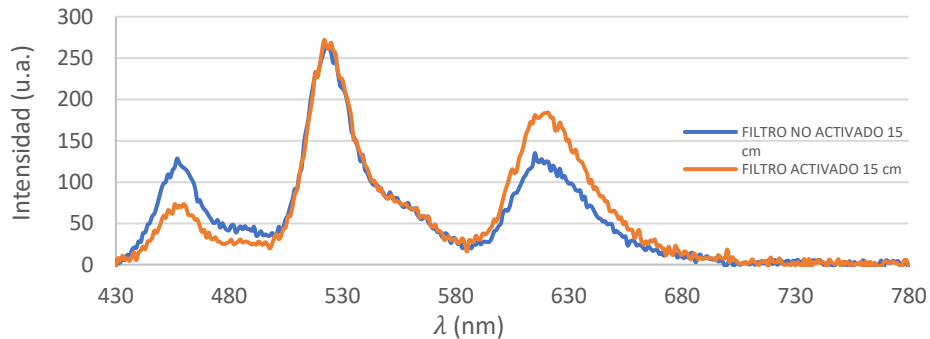


Figura 16. iPhone X. Intensidad medida a 15 cm

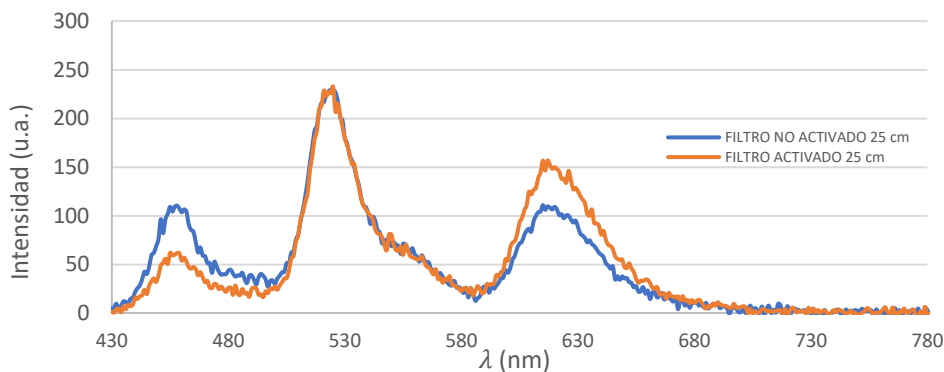


Figura 17. iPhone X. Intensidad medida a 25 cm

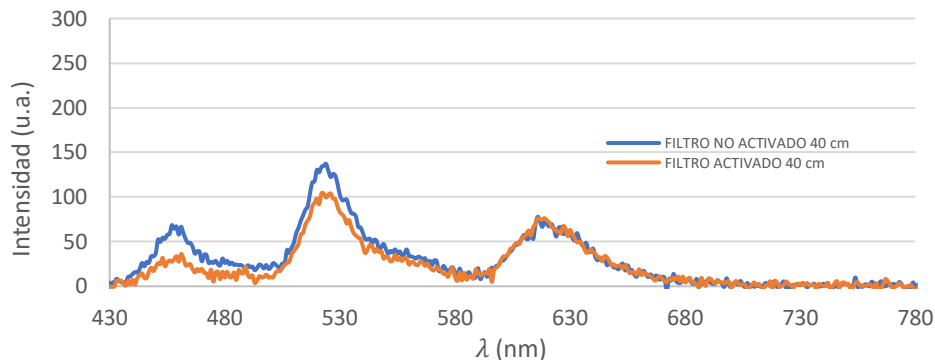


Figura 18. iPhone X. T Intensidad medida a 40 cm

Como podemos observar en las Figuras 16, 17 y 18, al activar el filtro interno, la curva de longitud de la luz azul se reduce a la mitad, incluso algo más para algunas longitudes de onda. La emisión en el color verde también se mantiene al realizar la prueba en las dos distancias más pequeñas, mientras que se reduce algo en la distancia más alejada. No se ha encontrado ninguna explicación que pueda justificar este hecho. Esta diferencia de comportamiento en la zona del verde causa que en las distancias más pequeñas se haya obtenido un aumento de radiación en la zona del rojo, mientras que esta intensidad se mantiene en el caso de la distancia más alejada. En cualquiera de las dos situaciones, la

combinación de perder intensidad en azul y verde y mantener el rojo, o perder azul, mantener verde y ganar en señal roja hacen que el tono de la imagen observada por el usuario sea más anaranjado.

MACBOOK PRO

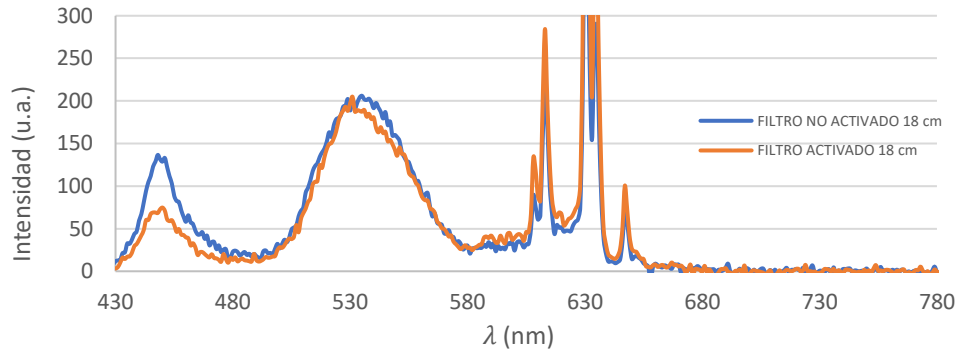


Figura 19. MacBook Pro. Intensidad medida a 18 cm

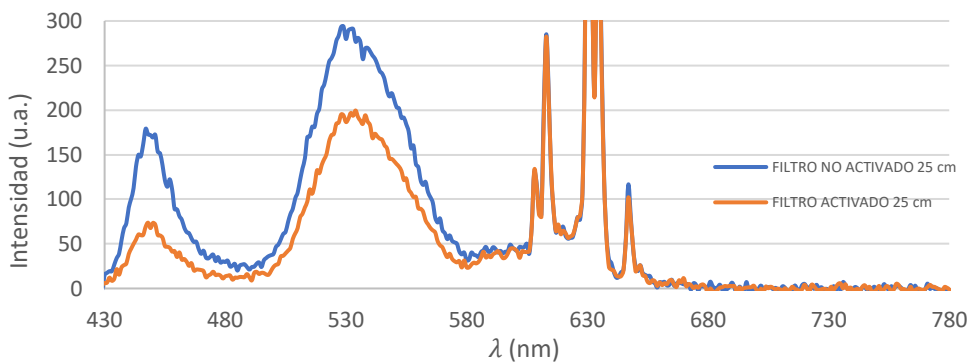


Figura 20. MacBook Pro. Intensidad medida a 25 cm

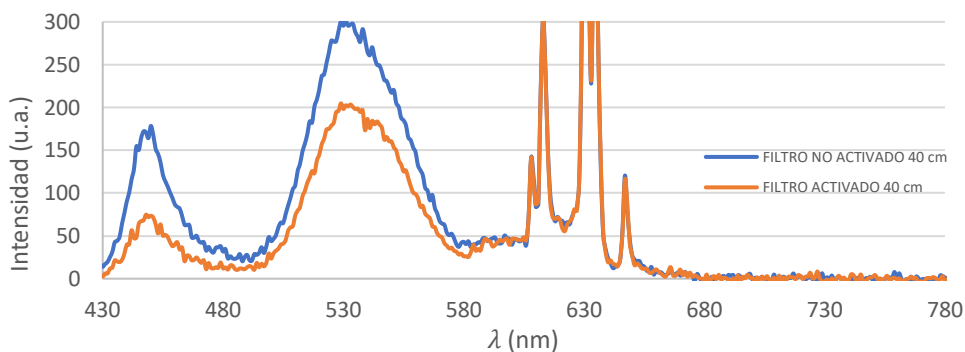


Figura 21. MacBook Pro. T Intensidad medida a 40 cm

Los resultados obtenidos para el ordenador portátil también muestran una diferencia de comportamiento en función de la distancia de observación. En este caso, la distancia más próxima (Figura 19), reduce claramente la zona del azul mientras que mantiene la emisión de verde y rojo. Situación que cambia en las dos distancias posteriores, Figuras 20 y 21, donde se reducen notablemente azul y verde, y se mantendría la intensidad de la señal roja. En este caso, la distancia de 40 cm parece más realista en las condiciones de trabajo de un ordenador portátil.

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN.

Los efectos perjudiciales de la luz azul sobre los distintos elementos ópticos del ojo son claros, por lo que es muy recomendable adoptar una serie de medidas debido a la sobreexposición que tenemos ante este tipo de radiación.

Se ha comprobado la funcionalidad de los llamados filtros de noche, pero los resultados obtenidos han sido contradictorios. En varias de las pruebas, se ha observado que la disminución de radiación del intervalo de luz azul conlleva un aumento de radiación del intervalo rojo, del que se desconocen por ahora sus efectos. Por lo tanto, la idoneidad de estos filtros internos todavía está por comprobarse. Los resultados mostrados en este trabajo podrán ser tenidos en cuenta a la hora de realizar nuevas pruebas en otras condiciones y con más dispositivos.

Una de las ventajas que se atribuyen a los filtros de luz azul es precisamente proteger la salud ocular de los usuarios que pasan muchas horas frente a la pantalla de un dispositivo electrónico. Con lo que nos fijaremos en la zona donde éstos presentan su emisión en el intervalo azul: 430-480nm. De este amplio intervalo, los filtros analizados consiguen reducir de forma notable la luz azul, desde la parte más baja, hasta los 450 nm y el porcentaje varía en función del tipo de filtro empleado. La transmitancia por encima de esta longitud de onda ya muestra valores cercanos al 100% en todos los casos. Si bien es cierto, estos filtros son capaces de reducir la transmitancia de la radiación azul y violeta en sus longitudes de onda más cortas (380-430 nm) y, por tanto, más energéticas y dañinas, casi por completo. La efectividad de los filtros parece ser más adecuada para estos rangos de menor longitud de onda.

Un tema para considerar en este trabajo es la voluntad de los usuarios a que se modifique la tonalidad de color que pueden observar. Por los motivos de la alerta sanitaria del COVID19 se ha tenido que suspender una prueba que pretendía mostrar la modificación del blanco (entendido como suma de todos los colores) a un blanco más amarillento (al estar restando un pequeño porcentaje de luz azul) y la apreciación que los potenciales usuarios tienen de ello. Experiencias personales previas muestran que este pequeño cambio de tonalidad no es agradable para todos los usuarios y es más notable ante determinadas condiciones de luminancia.

Con respecto a las medidas de transmitancia espectral, se han observado ligeras discrepancias entre las medidas realizadas a luz del sol y en el laboratorio con lámparas. Dichas discrepancias son debidas a la intensidad de señal que se dispone en cada caso. Utilizando la luz solar se ha obtenido una señal algo mayor que con las lámparas del laboratorio para las longitudes de onda más corta (<430 nm), lo que conllevaría a unas medidas más fiables al tener mayor cantidad de señal (se reduce el peso del ruido y del offset). Por el contrario, a medida que se aumenta la longitud de onda (>430 nm), las lámparas del laboratorio de calibración son capaces de proporcionar más señal, luego los resultados obtenidos con este tipo de iluminación serían más fiables para las longitudes de onda más largas analizadas en este trabajo.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

El presente trabajo se ha centrado en estudiar la transmitancia espectral de los filtros de luz azul para lentes oftálmicas y aparatos electrónicos en el intervalo de radiación de la luz azul. Esta luz puede causar una serie de problemas a las personas que se encuentran mucho tiempo expuesto a ellas.

La obtención de las medidas se ha realizado en el laboratorio de calibración del Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid. Esto ha permitido caracterizar la transmitancia espectral de filtros en el intervalo de luz azul gracias a un espectrorradiómetro de la marca Ocean Optics, utilizando como fuente de luz una esfera integrante con distintas lámparas y también la luz solar.

Se han determinado 14 curvas de transmitancia, cada una de ellas con su error experimental, arrojando los siguientes resultados principales:

- Los filtros presentan una mayor eficacia en el bloqueo de la luz violeta, con valores de transmitancia espectral que no superan el 30%, siendo en el caso del filtro en masa hasta del 0%.

- La zona entre la luz violeta y la luz azul va presentando una tendencia creciente en los valores de la transmitancia, siendo ésta una característica común a todas las curvas presentadas.

- Por encima de 440nm, los valores de transmitancia espectral ya están cercanos al 100% en todos los filtros.

La mayor radiación que emiten los dispositivos electrónicos se sitúa en torno a 450-460 nm, según se ha comprobado también en este trabajo. Por lo que algunas de las características con los que estos filtros se comercializan han de ponerse todavía bajo estudio. Los filtros testados en este trabajo sí que ayudan a proteger un exceso de luz azul incluso, protegernos de parte de la luz violeta en las longitudes de onda que resultan más dañinas para el sistema ocular. Los filtros analizados mantienen valores muy altos de transmitancia para el intervalo 450 – 468 nm, ya que esta radiación nos ayuda en la producción de melatonina.

A pesar de que se está estandarizando la colocación de filtros de luz azul en las lentes oftálmicas, en este trabajo se ha podido observar que los filtros internos son mucho más efectivos para eliminar la mayor parte de luz azul. Por lo tanto, quizás estos tipos de filtros son mejores para solucionar los problemas de insomnio y concentración al usar este tipo de aparatos por la noche. Pero no pueden estar siempre activos ya que también eliminaría la parte de la luz azul que nos ayuda a estar activos.

En cuanto a la aparición de problemas en la retina a largo plazo debido a una alta exposición a esta longitud de onda, nada está realmente demostrado. Hay estudios en animales que nos pueden dar pistas de que pueda llegar a ser algo cierto, pero todo está en fase experimental en la actualidad. Se debe seguir investigando sobre este hecho.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Maldonado López MJ, Pastor Jimeno JC. Patología corneal. En: Guiones de oftalmología. Aprendizaje basado en competencias. 2a ed. 2012.
- [2] Casas J. Óptica, Universidad de Zaragoza, 1994
- [3] Abril Diaz N, Barcenás Ruiz A, Fernández Reyes E, Galván Cejudo A, Jorrián Novo J, Peinado Peinado J, et al. Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. In p. 1–8.
- [4] Miyazaki D, et al. An Experimental Study on Evaluating Glare in Blue Light Exposure. *Advances in Affective and Pleasurable Design Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Affective and Pleasurable Design, July 24–28, 2019, Washington D.C., USA. ISSN 2194-5365.*
- [5] Rożanowska M, Rożanowski B, Boulton M. Light-induced damage to the retina. <http://photobiology.info/Rozanowska.html>
- [6] van Norren D, Vos JJ. Light damage to the retina: an historical approach. *Eye* 2016; 30, 169–172.
- [7] DuraVision® BlueProtect de ZEISS [Internet]. Zeiss.es. 2020 [cited 24 May 2020]. Available from: <https://www.zeiss.es/vision-care/para-profesionales-de-la-vision/productos/tratamientos/duravision-blueprotect.html>
- [8] Mejores gafas para ordenador y luz azul. <https://cuidatuvista.com/gafas-para-ordenador-mejores/>
- [9] Ocean Optics. 2009. Red TideUSB650 Fiber Optic Spectrometer Installation and Operation Manual. www.oceanoptics.com
- [10] Design P, Washington DC. *Advances in Affective and Pleasurable Design*. Shuichi F, editor. *Advances in Affective and Pleasurable Design*. 2012. 105–112 p.
- [11] Phipps-Nelson J, Redman JR, Schlangen LJM, Rajaratnam SMW. Blue light exposure reduces objective measures of sleepiness during prolonged nighttime performance testing. *Chronobiol Int*. 2009;26(5):891–912.
- [12] Van Norren D, Vos JJ. Light damage to the retina: An historical approach. *Eye*. 2016;30(2):169–72.
- [13] Rożanowska M, Rożanowski B, Boulton M. Light- Induced Damage to the Retina. 2009; Available from: <http://photobiology.info/Rozanowska.html#TOP>
- [14] Van Norren D, Gorgels TGFM. The action spectrum of photochemical damage to the retina: A review of monochromatic threshold data. *Photochem Photobiol*. 2011;87(4):747–53.
- [15] Chang AM, Aeschbach D, Duffy JF, Czeisler CA. Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. 2015 .p :112.
- [16] Saavedra J, Zúñiga L, Amézquita A, Vásquez J. Ritmo circadiano: el reloj maestro. Alteraciones que comprometen el estado de sueño y vigilia en el área de la salud. *Morfología*, 2013. p:16-30.
- [17] Coco Martín B, Herrera Medina J, Lázaro Yagüe J, Cuadrado Asensio R. *Manual de baja visión y rehabilitación visual*.
- [18] Valdivielso Rodrigo I. Medida de la absorción de la radiación UV en lentes oftálmicas y otros materiales. 2019 [cited 2020 May 24]; Available from: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/38390>
- [19] Reiter RJ. Static and extremely low frequency electromagnetic field exposure: reported effects on the circadian production of melatonin. 1993. April, p:394-403

- [20] Noval Martín S, Contreras Martín I, González Manrique M. Fisiología de la visión y de la visión en color. <http://www.ofthalmoseoformacion.com/wp-ofthalmoseo/documentacion/p2010/Cap01-03.pdf>.
- [21] Night Shift MacBook [Internet]. 2020 [cited 6 March 2020]. Available from: <https://www.macworld.co.uk/how-to/mac/how-turn-on-night-shift-on-mac-3662312/>
- [22] Night Shift iPhone [Internet]. 2020 [cited 6 March 2020]. Available from: <https://support.apple.com/es-es/HT207570>
- [23] Filtro luz azul [Internet]. 2020 [cited 24 May 2020]. Available from: https://www.google.es/search?tbs=sbi:AMhZZivKYBGuzt5Q1uXEuewk9uILpRXgK-OXMoe594ABYpbHfipx_1O4rjRTKR19o-muPsjmgbYJ8bUq5v49SSEnGN2HuNH70gZK1PKVJY6OxoPcOeHG_1kAKj2dpzXo-zDMuCLfq-x88d0AfWJoVa-l9cDXNhEf2IvwLnoba2WmKkOsG7Hmct2SgQz2pgOPOL_1Z24JMpGXpvO01E4WUM1RxQUODuw8iLJgjWgsctwRPXLo2mvoiY8R0PDsphn-JMTNrJP70Dv1dSx27Q7lnoboTnhvwXMz9FiuEWKrMarkGLWRtJ9qTNYsmRg0GcwSfNafipBd5jPzESP&btnG=Buscar%20por%20imagen&hl=es
- [24] Materiales - Shamir Spain [Internet]. Shamir.es. 2020 [cited 24 May 2020]. Available from: <https://www.shamir.es/products/materials-products?tab=120>
- [25] Filtro luz azul [Internet]. 2020 [cited 24 May 2020]. Available from: <https://es.dhgate.com/product/ivsta-blue-light-blocking-glasses-men-3016/460082293.html#seo=WAP>
- [26] Filtro luz azul [Internet]. 2020 [cited 24 May 2020]. Available from: https://www.centroopticolasartes.com/gafa-con-filtro-de-corte-511_410.html
- [27] ¿Es MALA la LUZ AZUL de las pantallas? Descubre la VERDAD [Internet]. 2020 [cited 24 May 2020]. Available from: <https://youtu.be/uckhCZlz88c>
- [28] Mejores gafas para ordenador y LUZ AZUL. Opinión HONESTA [Internet]. 2020 [cited 24 May 2020]. Available from: <https://youtu.be/ffZpbj4nqL0>
- [29] Mejores filtros de LUZ AZUL para PC, Android y iPhone [Internet]. 2020 [cited 24 May 2020]. Available from: <https://youtu.be/YhpdgzLaHyw>
- [30] Temperatura de color [Internet]. Es.wikipedia.org. 2020 [cited 25 May 2020]. Available from: https://es.wikipedia.org/wiki/Temperatura_de_color