



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

Grado en Óptica y Optometría

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

Caracterización espectral de filtros de luz azul en lentes oftálmicas

Presentado por Clara García Muñoz

Tutelado por David Mateos Villán y Patricia Martín Sánchez

Tipo de TFG: Investigación

En Valladolid, a 30 de mayo de 2021

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	3
2. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	4
2.1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO Y ESPECTRO VISIBLE.....	4
2.2. LUZ AZUL: IMPORTANCIA BIOLÓGICA.....	5
2.3. FILTROS DE LUZ AZUL.....	7
2.4. OBJETIVOS.....	7
3. DESARROLLO.....	8
3.1. MATERIAL.....	8
3.2. MEDIDAS EXPERIMENTALES.....	10
3.2.1. MEDICIÓN DE LAS TRANSMITANCIAS DE LAS LENTES OFTÁLMICAS.....	10
3.2.2. MEDICIÓN DEL ESPECTRO DE LOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS.....	12
3.3. RESULTADOS SOBRE EL CUESTIONARIO REALIZADO.....	13
4. DISCUSIÓN.....	14
5. CONCLUSIONES.....	16
6. BIBLIOGRAFÍA.....	17
7. ANEXOS.....	18
7.1. ANEXO I.....	18

1. RESUMEN

Actualmente estamos más expuestos a la luz azul dada la revolución digital. Esto tiene una gran importancia ya que dicha luz que se encuentra tanto en la luz solar como en los dispositivos electrónicos puede tener un efecto perjudicial en nuestra salud ocular.

Para tratar de evitarlo, se añaden unos filtros de luz azul a las lentes oftálmicas. Es por esto por lo que hemos medido su transmitancia en el laboratorio mediante un espectrómetro, lo cual ha permitido comparar el comportamiento de dichos filtros entre distintos fabricantes.

Para poder saber si estos filtros que bloquean la luz azul cumplen su objetivo de no dejar pasar la luz nociva que desprenden los dispositivos electrónicos, también se ha medido su espectro.

Además, se ha realizado un cuestionario que nos permite saber los gustos de los usuarios que llevan este tipo de filtros.

Todo esto nos hace pensar en si realmente estos filtros de luz azul son realmente útiles o necesarios para toda la población, para una parte de ella o para ninguna.

ABSTRACT

Nowadays human beings are more exposed to blue light given the digital revolution. This is of great importance since such radiation can have a detrimental effect on our eye health. To try to minimize its negative effects, blue light filters are added to ophthalmic lenses.

Therefore, we have measured the spectral transmittance of different types of filters in the laboratory using a spectrometer. We focused on the spectral region between 380 and 480 nm. The relative transmittance is calculated to establish the percentage of blue light blocked by all the filters. An analysis based on the wavelengths emitted by electronic devices is also carried out.

In addition, the answers from a questionnaire about the use of the blue light filters allows us to know the degree of knowledge, impact or benefits by users of this kind of filters.

It is still open the question if the blue light filters are really useful or necessary for the entire population.

2. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

2.1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO Y ESPECTRO VISIBLE

El espectro electromagnético (ver Figura 1) es la distribución energética del conjunto de todas las frecuencias (número de ciclos de la onda electromagnética por unidad del tiempo) a las que se produce la radiación electromagnética, la cual es el flujo energético saliente de una fuente en forma de ondas electromagnéticas.

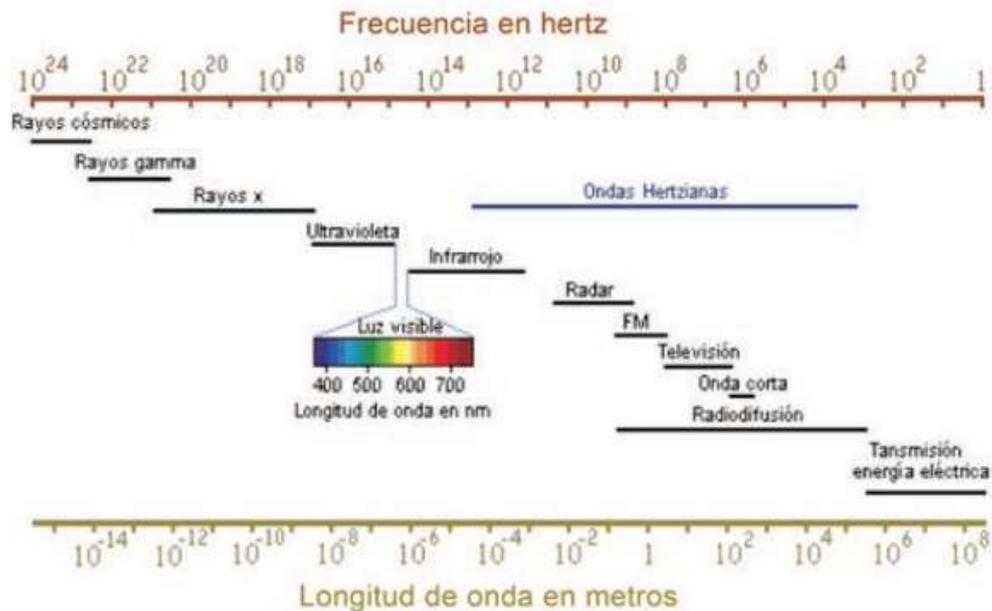


Figura 1. Distribución del espectro electromagnético. Fuente: Esta imagen ha sido extraída de Ordóñez JL. Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico.

El sol es la principal fuente de energía que emite radiación electromagnética que llega a la superficie terrestre, pudiéndose clasificar en diferentes longitudes de onda. El espectro visible es la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir, llamándose luz visible a la radiación electromagnética en este rango, que se encuentra entre la radiación infrarroja y la radiación ultravioleta.¹

La luz visible es la radiación que corresponde con el máximo de emisión del sol, y es absorbida y reflejada por las moléculas y átomos de la materia, motivo por el cual se perciben los colores de los objetos. Esta luz puede ser generada de forma artificial, como ocurre en las bombillas incandescentes y los diodos LED (*light-emitting diode*).

2.2. LUZ AZUL: IMPORTANCIA BIOLÓGICA

Dentro de la luz visible se ubica la luz azul, la cual se encuentra muy cercana a la radiación ultravioleta. Esta radiación también es emitida por los diodos de emisión de luz (LED), los cuales se encuentran en la mayoría de los actuales dispositivos electrónicos para generar el color, entre los que podemos destacar móviles, ordenadores y televisiones, entre otros.²

Esta exposición a la luz azul tanto del sol como de las pantallas LED puede tener efectos perjudiciales, entre las que se encuentran numerosas complicaciones oculares. Estos problemas oculares podemos clasificarlos en cinco grupos principales: fatiga visual, ojos secos, molestias por el deslumbramiento, daño en las células de la retina y alteración de ciclos fisiológicos entre los que destacan el sueño, el cansancio, la depresión y la irritabilidad.³

I. Luz azul y fatiga visual.

Leer con pantallas LED retroiluminadas aumenta algunos síntomas tensionales y oculares frente al texto escrito.⁴ No está claro si la causa está en la alta intensidad de la emisión de luz azul o en un factor acumulativo añadido a problemas de acomodación, convergencia y postura corporal, los cuales también se ven afectados al trabajar con ordenadores.⁵

II. Luz azul y ojos secos.

Este síntoma se asocia a la reducción del tiempo de rotura de la película lagrimal, lo cual se ha demostrado que tiene una estrecha relación con la función visual bajo la exposición a la luz azul.⁶ Los pacientes con ojos secos sienten fluctuaciones en la visión, que empeoran realizando actividades próximas y continuadas, en particular con el uso de pantallas.⁷ Es por esto por lo que limitar la exposición a esta luz de onda corta tanto en tiempo como en intensidad o mediante su filtrado, ayudaría a reducir este problema.⁸

III. Luz azul y deslumbramiento.

La pérdida de contraste en la imagen retiniana provocada por la dispersión de luz puede provocar un deslumbramiento, el cual produce una mayor sensación de molestia sobre todo con luces LED, dado que proporcionan mayor luminosidad y una gran proporción de su espectro es de longitudes de onda cortas. Esto se asocia directamente al aumento de la difusión de la luz intraocular, lo cual adquiere más interés cuando hay una falta de transparencia de los medios, como puede darse en el caso de las cataratas y en disfunciones maculares (degeneración macular asociada a la edad, coriorretinopatía serosa central, etc.).⁹

IV. Luz azul y daño de las células de la retina.

La exposición prolongada a la luz azul-violeta produce daños fotoquímicos debido a los procesos oxidativos y la generación de radicales libres, lo cual

aumenta la producción de especies reactivas al oxígeno que son altamente tóxicas y se relacionan con la muerte de las células fotorreceptoras provocadas por el estrés oxidativo.¹⁰ El efecto dependiente de la longitud de onda y su influencia en las regeneraciones retinianas inducidas por la luz LED aún no se conocen a la percepción.¹¹ Un ejemplo de daño fotoquímico es cuando nos hacemos una quemadura solar. Además de este daño, en la retina también pueden darse otros dos tipos: térmico y por fotodisrupción.¹²

En el primer caso, para que se lleve a cabo un daño térmico se necesitaría un aumento local de la temperatura de al menos 10°C, lo cual causaría una desnaturalización instantánea de las proteínas, dado que su estructura se debilita por fuertes oscilaciones que rompen las bandas entre moléculas. El ejemplo que nos puede resultar más familiar es cuando hervimos un huevo y se produce un cambio de transparente a opaco gracias a esta desnaturalización.¹³

En el caso del daño por fotodisrupción, se produce cuando usamos una luz láser a menudo en el rango del infrarrojo. Esta técnica se utiliza para disolver o romper opacidades del cuerpo vítreo y en cirugías de la cápsula posterior del cristalino.¹⁴ Cabe destacar que el espectro de acción del daño en la retina es influenciado por el espectro de transmisión de los medios oculares, teniendo como ventana de entrada la pupila (variante en tamaño). La relación propiedad-daño se recoge en la Tabla 1.

V. Luz azul y ciclos fisiológicos.

La fisiología humana está regulada en parte por la luz, siendo la luz azul-turquesa el agente regulador principal de nuestros ciclos y ritmos biológicos, cuya disrupción está relacionada con una amplia variedad con trastornos psicológicos y una amplia gama de enfermedades sistémicas entre las que se encuentran alteraciones del sueño, depresión, ansiedad, diabetes, obesidad, cáncer, enfermedades cardíacas, etc.¹⁵

Tabla 1. Tabla de las propiedades del daño térmico y fotoquímico de la retina.

Propiedad	Daño térmico	Daño fotoquímico
Aumento necesario de la temperatura local	>10°C	Ninguno
Visibilidad del cambio del fondo del ojo	Casi inmediato	Puede tomar >12 horas
Tamaño	Más grande que el expuesto y bordes difusos por difusión de calor	Confinado al punto expuesto, bordes afilados
Tiempo de exposición en la práctica	<10 segundos	>10 segundos
Mecanismo de daño	Desnaturalización de proteínas	Daño celular por formas reactivas de oxígeno
Absorbente primario	Melanina	Foto productos de pigmentos visuales
Umbral establecido por	Tiempo de exposición, irradiancia ponderada espectralmente, tamaño de campo	Dosis: producto de la irradiancia ponderada espectralmente y tiempo de exposición
Espectro de acción	Más o menos plano	Alcanzando la parte azul del espectro

El espectro de acción del daño en la retina está influenciado por el espectro de transmisión de los medios oculares. La opacificación del cristalino causa una reducción de la transmisión de la luz, especialmente de las longitudes de onda cortas, por lo que tras la operación de cataratas se recuperan las capacidades visuales, así como una mejora de la calidad de vida (disminuciones de la depresión, recuperación de la rutina del sueño...).¹⁶

2.3. FILTROS DE LUZ AZUL

Para prevenir las complicaciones oculares los profesionales de la visión tratarán de evitar la carga astenópica inducida por los problemas de refracción, acomodación y/o convergencia. Además, ofrecerán al paciente consejos y pautas de higiene visual y postural para disminuir el tiempo de exposición a la luz azul.¹⁷

Podemos hablar de los filtros de luz azul como una medida preventiva a disposición de los ópticos-optometristas para evitar los efectos perjudiciales que produce dicha luz. Estos filtros no son algo nuevo, ya que los humanos tenemos filtros intraoculares (cristalino y pigmento macular) que minimizan los efectos dañinos de la luz.¹⁸

Los filtros de luz azul son más eficaces cuando bloquean las longitudes de onda por debajo de 450 nanómetros (nm) que son parecidas a las que filtra el cristalino. Estos no deberían filtrar las radiaciones superiores a 480 nm para preservar las funciones fisiológicas que dependen de la luz azul-turquesa y el reflejo pupilar de protección frente a la sobreexposición a la luz. Esto implica que las lentes oftálmicas han de filtrar de forma selectiva las radiaciones azul-violetas sin filtrar a luz azul-turquesa, de modo que sean más eficientes contra el deslumbramiento.¹⁹ Los filtros que incrementan el contraste son verdaderamente beneficiosos en casos de deslumbramiento y/o falta de transparencia de los medios oculares.

2.4. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo principal determinar el comportamiento espectral de la transmitancia de filtros comerciales utilizados para bloquear la luz azul para poder analizar su efecto y su comportamiento en los usuarios. Esto lleva a plantearnos una serie de objetivos más específicos:

- Medir la transmitancia de varias lentes oftálmicas en el laboratorio gracias a un espectrómetro.
- Medir el espectro de algunos dispositivos electrónicos para observar si su emisión es afín a los filtros de luz azul de las lentes oftálmicas, pudiendo comprobar si estos filtros realmente impiden el paso de la luz azul solar o la de las pantallas LED.
- Realizar un cuestionario para conocer los gustos de los usuarios sobre estos filtros.

3. DESARROLLO

3.1. MATERIAL

El montaje en el laboratorio (ver Figura 2) no ha sido trivial, sino que se llevó a cabo tras varias sesiones de trabajo para comprobar que el instrumento no saturase. La consecuencia de estas interacciones ha dado como resultado la necesidad de utilizar los siguientes materiales para la realización del experimento:

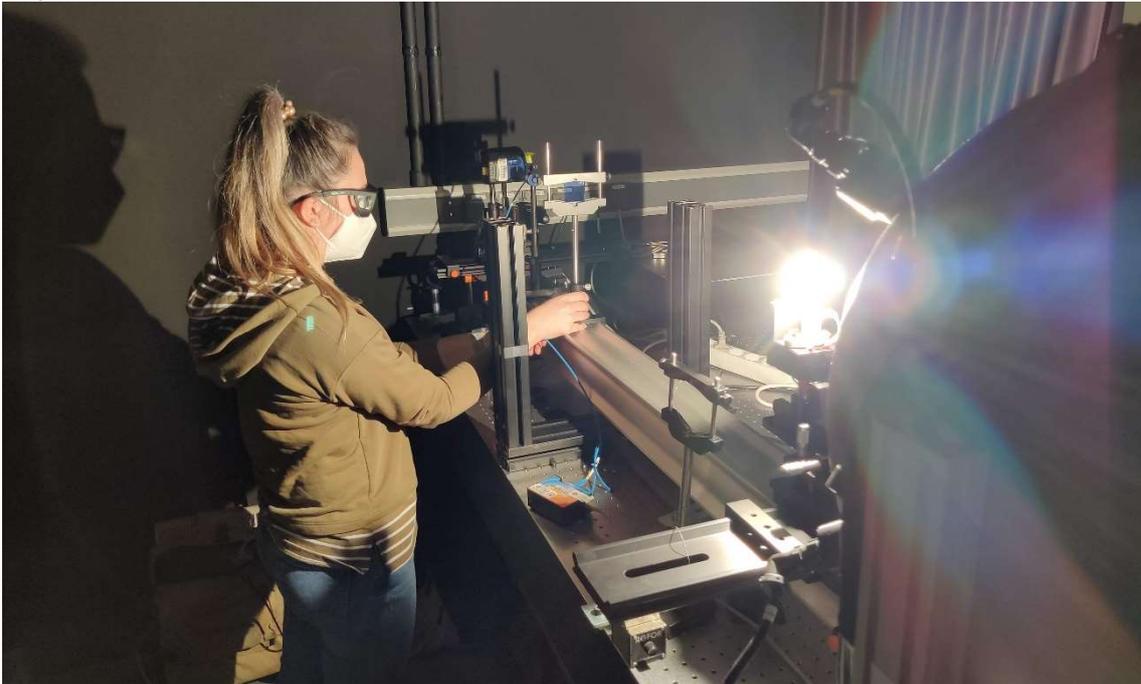


Figura 2. Montaje realizado en el laboratorio donde se pueden observar el banco óptico con los soportes, el espectrómetro, la lámpara de 1000W, el filtro azul y una de las lentes oftálmicas.

A. Lámpara de 1000W con filamento incandescente.

La lámpara utilizada en el laboratorio fue una de tipo FEL, la cual previamente calibrada es utilizada como estándar de radiación e irradiancia para la posterior calibración de fotómetros, espectrofotómetros y otros instrumentos de laboratorio. La temperatura de manejo de esta lámpara es mayor que la de una lámpara convencional, por lo que está recubierta de un vidrio de cuarzo que resiste mejor las altas temperaturas, obteniendo una mayor cantidad de luz ultravioleta.

El uso de esta lámpara frente a otras de menos vatios nos permite aumentar el flujo luminoso (hay más lúmenes en cada rayo de luz), aumentar la eficacia luminosa (se producen más lúmenes por cada vatio consumido) y aumentar la temperatura de color (luz más azulada). Bien es cierto que tienen algunos inconvenientes como que absorbe más potencia eléctrica (gastamos más baterías por lo que sube el recibo de la luz) y se reduce su vida útil, ya que se quema antes.

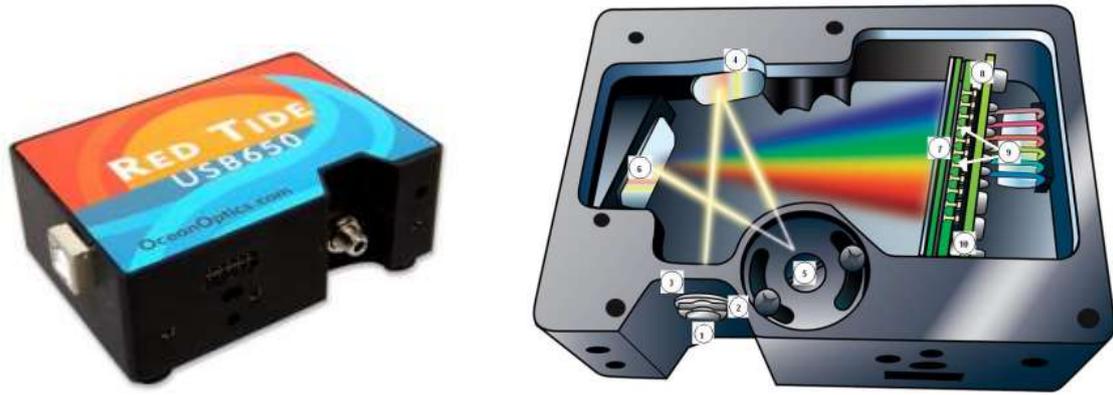


Figura 3. USB650. Fuente: Esta imagen ha sido extraída del Manual de Instalación y Funcionamiento del USB650 de Ocean Optics.

- B. Soporte para la lente oftálmica examinada.
- C. Varias lentes oftálmicas con filtro de absorción de luz azul.
- D. Soporte con un filtro azul para modificar el espectro, dejando pasar la zona que nos interesa.
- E. Soporte con la fibra del espectrómetro.
- F. Espectrómetro USB650.

Este instrumento tiene un rango de longitud de onda de 350 a 1000 nm y utiliza un detector con 650 píxeles activos. Gracias a este se pueden almacenar medidas de referencia y oscuras para corregir las variables de respuesta del instrumento.

En la Figura 3 se muestra el diagrama de como viaja la luz a través de este instrumento, pudiendo diferenciar cada una de las partes que lo forma.

Como se puede observar, consta de un conector (1) que asegura la fibra de entrada al espectrómetro; una abertura (2) que regula la cantidad de luz que entra, controlando la resolución espectral; un filtro (3) que restringe la radiación óptica a regiones de longitud de onda determinadas; un espejo colimado (4) que enfoca la luz hacia la rejilla; una rejilla (5) que difracta esa luz y la dirige hacia el espejo de enfoque; un espejo de enfoque (6) que recibe la luz reflejada por la rejilla y enfoca los espectros de primer orden en el plano del detector; un detector (7) que aumenta la eficiencia de recolección de luz, reduciendo los efectos de la luz parásita; otro detector (8) que recoge la luz recibida del espejo de enfoque o del anterior detector convirtiendo la señal óptica en una señal digital, de tal modo que cada píxel responde a la longitud de onda de la luz que le incide; unos filtros (9) que bloquean la luz de segundo y tercer orden; y un tercer detector (10) que mejora el rendimiento del espectrómetro (<340 nm). En la Tabla 2 se describen las especificaciones del detector CCD.

Tabla 2. Tabla de las especificaciones del detector CCD del USB650.

Especificación	Valor
Alcance del detector	200-1100 nm
Apertura de entrada	Hendidura de 25 μm de ancho
Longitud focal	Entrada de 42 mm; salida de 68 mm
Resolución óptica	~ 2 nm FWHM
Luz extraviada	$<0,05\%$ a 600 nm; $<0,10\%$ a 435nm
Gama dinámica	2×10^8 (sistema); 1300:1 para una sola adquisición
Conector de fibra óptica	SMA 905 a fibra óptica de una sola hebra (0,22 NA)

G. Lámina negra para bloquear el paso de luz entre la lámpara y la fibra del espectrómetro.

H. Ordenador que procesa la información recibida por el espectrómetro.

I. Gafas protectoras.

Gracias a estos materiales pudimos realizar las medidas de las transmitancias de las lentes oftálmicas con filtros de luz azul, mientras que para la medición del espectro de los dispositivos electrónicos tan solo fue necesario el uso del espectrómetro y el ordenador para el procesamiento y posterior almacenamiento de los resultados obtenidos.

La luz que emite la lámpara de 1000W llega al soporte con la lente oftálmica a analizar y la luz que esta transmite pasa por el filtro azul que modifica el espectro y llega a la punta de la fibra óptica del espectrómetro. Este es el recorrido que realiza la luz analizada. Para cada lente realizamos diez medidas que se componen de una toma de referencia, otra de oscuro para tener en cuenta el ruido y otra la propia medición de transmitancia de la lente. Gracias a la media de las medidas obtenemos las curvas de transmitancia con sus desviaciones estándar.

3.2. MEDIDAS EXPERIMENTALES

3.2.1. MEDICIÓN DE LAS TRANSMITANCIAS DE LAS LENTES OFTÁLMICAS

La transmitancia (T) es la razón de la luz transmitida respecto a la luz incidente, que en condiciones de incidencia normal se puede expresar en % sin más que hacer el cociente entre ambas.

En nuestro caso debimos tener especial cuidado en no modificar la posición de la fibra óptica del espectrómetro para evitar errores procedentes de la desviación del eje óptico.

Las curvas de transmitancias que se obtienen con el espectrómetro muestran una fracción de la luz transmitida T (%) en cada longitud de onda λ (nm) dentro del espectro visible de los diferentes filtros en la Figura 4, donde se muestran las transmitancias de cada una de las lentes oftálmicas analizadas en el laboratorio, que fueron las siguientes:

- A. Lente Airon de Prats.
- B. Lente Crizal de Essilor.
- C. Lente Crizal Prevencia de Essilor.
- D. Lente Easy de Essilor.
- E. Lente Energy de Indo.
- F. Lente 16BL12-1B CGID.
- G. Lente Quartzblue de Prats.
- H. Lente Xtrem de Prats.

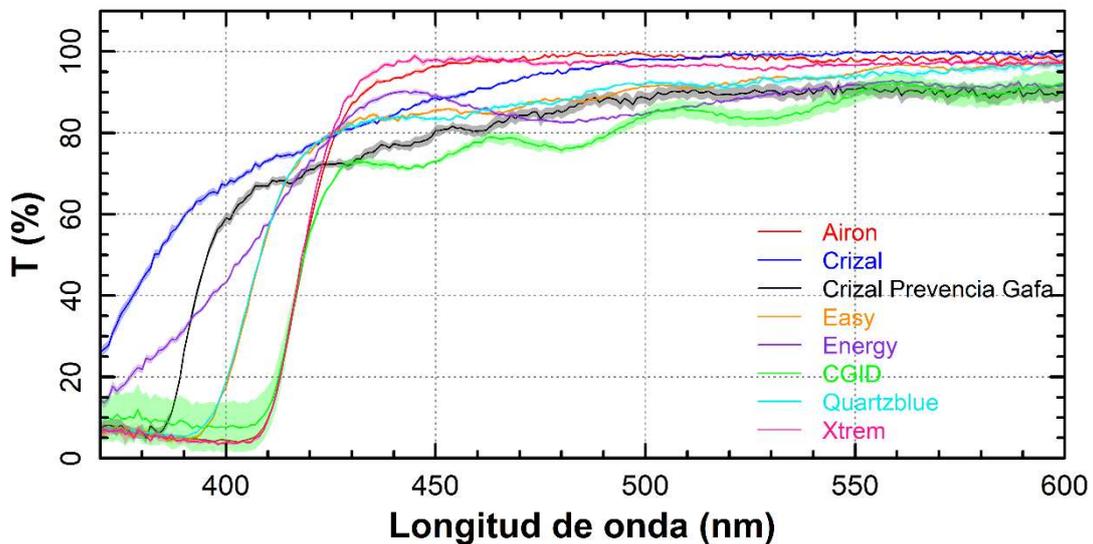


Figura 4. Transmitancia espectral para todas las lentes oftálmicas. La sombra indica la desviación estándar.

Tuvimos que descartar algunas lentes debido a que no eran neutras, lo cual dificultaba la obtención de las medidas dado que cada vez la luz pasaba por diferentes puntos de la lente, su espesor era variable a causa de su potencia, lo cual hacía que la luz que llegaba siempre era diferente a las medidas anteriormente realizadas.

Se observan varias características comunes en los modelos estudiados: transmitancias más bajas por debajo de 400 nm, mientras que luego todas las lentes incrementan su valor hasta valores superiores al 90% en la región de 550 nm. No obstante, hay diferencias en el comportamiento espectral de cada uno de los filtros aplicados a las lentes.

3.2.2. MEDICIÓN DEL ESPECTRO DE LOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

Realizamos la medida del espectro de tres dispositivos móviles diferentes, mostrando en este trabajo los resultados para un dispositivo móvil de la marca iPhone, con la intención de observar en qué rango del espectro ofrecían mayor cantidad de luz azul. Como puede verse en la Figura 5, dicho máximo está en torno a los 450 nm, con una mayor o menor amplitud dependiendo del dispositivo y el escenario de usuario elegido.

Como se puede observar, realizamos cuatro medidas, una primera con la pantalla completamente negra (apagada), una segunda con el modo claro en la aplicación WhatsApp y una tercera con el modo oscuro en esta misma aplicación.

Realizamos una cuarta con el modo noche, donde se puede observar el decrecimiento de la curva de transmitancia en casi la totalidad del espectro visible, pero manteniendo la forma de dicha curva.

Con lo que el modo noche mantiene las tonalidades con un toque más rojizo de la imagen debido a la reducción de la luz azul y verde emitidas por el dispositivo. En el modo oscuro, como la inmensa mayoría de píxeles están apagados, no se observa una señal lo suficientemente intensa como para ser medida.

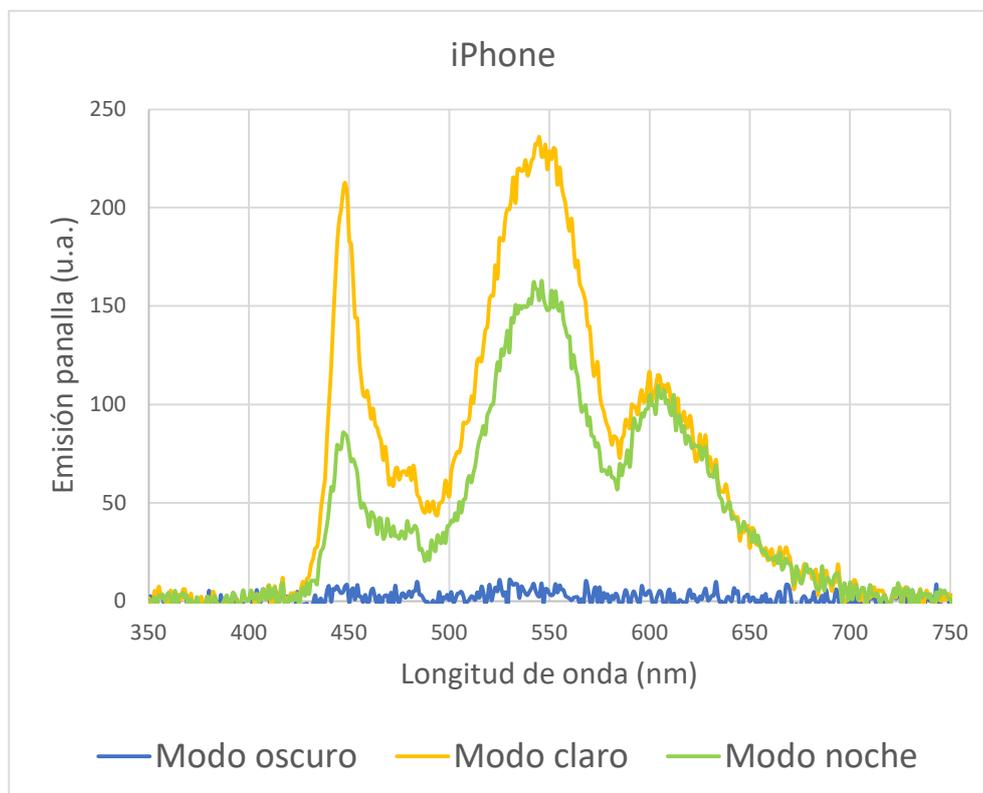


Figura 5. Gráfica del espectro de un smartphone marca iPhone en varios modos de funcionamiento.

3.3. RESULTADOS SOBRE EL CUESTIONARIO REALIZADO

El cuestionario nos ofrece la experiencia de 159 encuestados mayores de 10 años con estos filtros de luz azul. Esto nos ofrece una idea de cómo los usuarios se sienten tras un tiempo de haber probado este producto. Muchos de los encuestados no eran usuarios de este tipo de filtros simplemente porque no los conocían, e incluso nos preguntaban de qué se trataba y qué beneficios tenía sobre una lente oftálmica convencional.

Se compone de varias preguntas que pueden analizarse con detenimiento en el ANEXO I. Los rangos de edad se encuentran diferenciados de tal modo que podamos diferenciar si los usuarios de lentes oftálmicas con filtros de luz azul se encuentran en edad escolar y/o universitaria, en edad laboral o en edad no laboral (como podrían ser personas ya jubiladas). Además, dado que la función acomodación-convergencia puede tener un papel muy importante en los síntomas que produce esta luz azul, es imprescindible saber si estas personas tienen presbicia, dado que su capacidad de acomodación será reducida e incluso nula.

Es importante saber si estas personas son portadoras de estos filtros por necesidad o no, es decir, si han llegado a tener síntomas que puedan ser solventados con el uso de estos filtros de luz azul. Por ello, de entre todas las preguntas podemos destacar estas tres como las más relevantes:

- ¿Cuántos encuestados utilizan actualmente filtros de luz azul?
- En caso de no utilizarlos, ¿por qué no lo hacen?
- En caso de utilizarlos, ¿por qué escogieron este tipo de filtros?

Respondiendo a las anteriores preguntas, de los 159 encuestados tan solo el 44% de ellos es usuario de filtros de luz azul. Estos afirman utilizarlos mayormente por recomendación del óptico-optometrista, y debido a que pasan muchas horas delante de una pantalla. Un porcentaje importante necesitan solventar alguna incomodidad o dolor de cabeza. Aquí entran en juego varias suposiciones: quizá su óptico-optometrista aconsejó al paciente este tipo de filtros por su edad o trabajo, para solventar posibles problemas en un futuro, tales como ojos irritados, sequedad ocular, vista cansada...

En cuanto a los que no son usuarios de este tipo de filtros afirman que no se lo habían planteado la mayor parte de ellos, probablemente por falta de necesidad o por carecer de síntomas relacionados. Un pequeño porcentaje no ve los colores realistas, por lo que por razones laborales o de incomodidad no pueden hacer uso de ellos. Llama la atención que un 16,3% de los no usuarios no creen en su eficacia, puede que por haber sido antiguos usuarios y sentirse igual que cuando no los llevaban. El incremento de precio de las lentes oftálmicas que llevan filtro de luz azul puede suponer una contraindicación en personas asintomáticas.

4. DISCUSIÓN

Para analizar las curvas de transmitancias de las lentes oftálmicas podemos diferenciarlas según sus resultados:

Tanto la lente Airon como la Xtrem de Prats tienen una curva de transmitancia muy parecida con un 5-10% de transmitancia hasta los 410 nm, pero con un casi 100% a los 450 nm, donde tienen el pico de luz azul los dispositivos electrónicos de LED. Esto implica que filtran la luz azul solar, pero dejan pasar la totalidad de la luz nociva de las nuevas tecnologías.

A diferencia de estas, las lentes en Quartzblue de Prats y Easy de Essilor tienen una transmisión del 5-10% hasta los 395 nm aproximadamente, pero su transmitancia a los 450 nm no supera el 85%, lo cual implica que filtran más luz azul de los dispositivos que las dos anteriores.

En cuanto a la lente Crizal de Essilor y la lente con tratamiento Energy de Indo podemos decir que transmiten un 90% de luz de los dispositivos LED y apenas filtran luz azul solar.

La lente Crizal Prevencia de Essilor y la gafa de CGID tienen un menor porcentaje de transmitancia, entre un 70% y un 80% a los 450 nm. Esto indica que se trata de las lentes que más filtran la luz azul de los dispositivos electrónicos, que es el principal objetivo que pretenden cumplir todas las casas comerciales, o al menor así lo indican en sus catálogos.

Cabe destacar que, en el rango a partir de los 450 nm, no sería deseable un bloqueo total de estas longitudes de onda, ya que si no se vería afectada la visión de colores (blancos muy amarillentos).

Las casas comerciales ofrecen información por la que estos filtros son beneficiosos a la hora de trabajar con dispositivos electrónicos, sin tratar los valores de transmitancia ni de longitud de onda a la que filtran^{20,21}. Pero no ofrecen valores sobre la cantidad de luz azul que permiten transmitir sus lentes oftálmicas ni en qué rango del espectro. En el caso de la lente de Indo informan al usuario sobre la eficacia de sus lentes afirmando que sus ojos estarán 100% protegidos frente a las radiaciones nocivas gracias a su máxima protección, además de que sus ojos se encontrarán más descansados y menos fatigados. Algo que sí comentan es que este tratamiento lo han diseñado para que filtre el exceso de luz azul dañino que emiten los dispositivos LED centrando el corte a 460 nm. Esto lo confirma nuestro estudio en la gráfica de las curvas de transmitancia. Además, señalan que tan necesaria es la protección frente a la luz azul como hacia la infrarroja, reflejando también parte de esta radiación²². Por su parte, la gafa de CGID (disponible en Amazon) afirma entre sus características que “bloquea el 90% de la luz azul que daña tu ojo (415-455 nm), bloquea más luz azul que cualquier otro lente para leer en computadora”. El porcentaje anunciado por el fabricante supera con creces los resultados obtenidos en este trabajo, aunque es cierto que la transmitancia de esta lente es la más baja en todo el intervalo espectral estudiado.

El cuestionario realizado refleja que, aunque las casas comerciales traten de fabricar sus lentes lo más transparentes posibles, un alto porcentaje de los usuarios siguen percibiendo los blancos más amarillentos. Otro elevado porcentaje dice llevar estos filtros de luz azul debido a que pasan muchas horas delante de pantallas. Esto puede deberse a que se vende con ese propósito. En no usuarios la razón más popular por la que no utilizan este tratamiento es que no se lo habían planteado, podemos pensar que por falta de sintomatología ocular. Bien es cierto que en personas con profesiones tales como fotógrafos y trabajos del sector informático afirman no ver los colores realistas, lo que supone una desventaja laboral para ellos. Otro factor a tener en cuenta en parte de futuros usuarios es el económico.

5. CONCLUSIONES

La luz azul es a la vez beneficiosa (luz azul-turquesa) y nociva (azul-violeta). Algunos síntomas provocados por la exposición a la luz azul-violeta pueden ser acumulativos, pero todos estamos en situación de riesgo.

Muchos de los filtros que se están vendiendo con el propósito de protegernos de la luz azul que emiten los dispositivos electrónicos, los cuales emiten en una longitud de onda de 450 nm, presentan una transmitancia muy elevada para ese rango espectral. En definitiva, la inmensa mayoría de los filtros para luz azul que se venden protegen contra la luz azul solar. Esto en parte es lógico ya que, si no, no veríamos ningún color blanco, sino amarillento. Puede que esto sea en parte debido a que le dan gran importancia a que la lente sea estética, es decir, transparente.

Hoy en día se tienen muy en cuenta los hábitos saludables, entre los que se encuentra el uso de estos filtros. Esto se debe a que el sueño es un factor muy relevante entre las personas que pretenden llevar una vida sana, además de la alimentación y el deporte. Puede que esto suponga un repunte en la comercialización de estos filtros de luz azul para controlar el buen funcionamiento de los ciclos fisiológicos (ciclo circadiano sueño-vigilia).

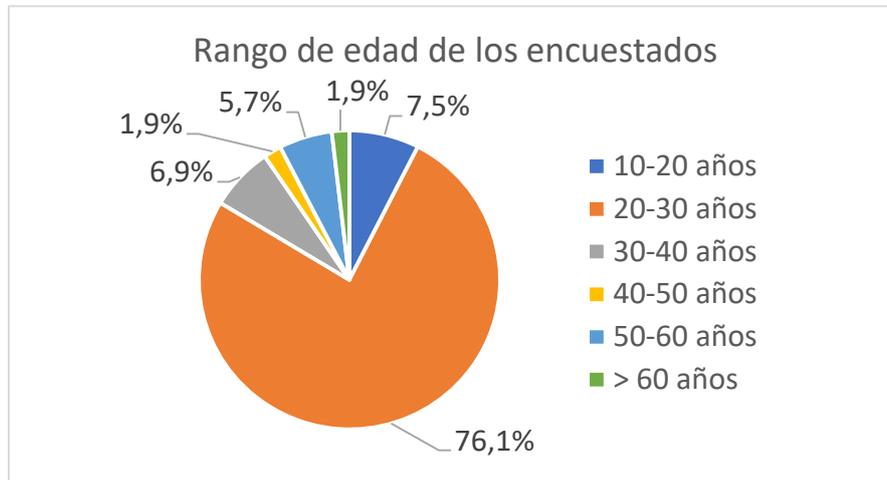
6. BIBLIOGRAFÍA

1. Ordóñez JL. Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico. :15.
2. 2012 & 2016 Digital Eye Strain. Informe del Visual Council. VisualConuncil.org
3. The Effect of Blue Light on Visual Fatigue when Reading on LedBacklit Tablets LCDs. Haruo Isono, Apurva Kumar, Takuya Kamimura, Yuuta Noguchi, Hiroyuki Yaguchi. Tokyo Denki University. VHFp2-9L. 2013.
4. E Siegenthaler, Y Bochud, P Bergamin, P Wurtz. Effects on fatigue and visual strain. *Ophthalmic and Physiological Optics* 32. 2012. 367-374.
5. Bergquist U, Knave BG: Eye discomfort and work with visual display terminals. *Scand J. Work Environment Health*.1994 (1)27-33.
6. Yokoi N, Uchino M, Uchino Y, Dogru M, Kawashima M, Komuro A, et al. Importance of tear film instability in dry eye disease in office workers using visual display terminals: The Osaka Study. *Am J Ophthalmol*. 2015; 159:748-754. Doi10.1016/j.ajo.2014.12.019 PMID: 25555800
7. Goto E, Yagi Y, Matsumoto Y, Tsubota K. Impaired functional visual acuity of dry eye patients, *Am J Ophthalmol*. 2002; 133:181-186. PMID:11812420.
8. Kaido M, Toda I, Oobayashi T, Kawashima M, Katada Y, Tsubota K (2016) Reducing Short-Wavelength Blue Light in Dry Eye Patients with Unstable Tear Film Improves Performance on Test Visual Acuity, *PLoS ONE* 11(4): e0152936. Doi:10.1371/journal.pone.0152936.
9. Discomfort and Disability Glare from Halogen and HID Headlamp Systems. John D.Bullough, Zengwei Fu, John Van Derlofske. Transportation Lighting Group. Lighting Research Center, Rensselaer Polytech Institute. SAE Technical Papers. 2002-01-0010.
10. Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light. Yoshiki Kuse, Kenjiro Ogawa, Kazuhiro Tsuruma, Masamitsu Shimazawa, Hideaki Hara. *Scientific Report* 4, 5223; DOI:10.1038/srep05223 (2014).
11. Noell, W.K., Walker, V., Kang, B., Berman S. Retinal Damage by Visible Light. *Invest Ophthalmol*. 1966 *Vis. Sci.* 5, 450- 473.
12. Hunter JJ, Morgan JI, Merigan WH, Sliney DH, Sparrow JR, Williams DR. The susceptibility of the retina to photochemical damage from visible light. *Prog Retin Eye Res* 2012; 31(1): 28–42.
13. Schulmeister K, Stuck BE, Lund DJ, Sliney DH. Review of thresholds and recommendations for revised exposure limits for laser and optical radiation for thermally induced retinal injury. *Health Phys* 2011; 100(2): 210–220.
14. Hanscom T, Reynard M. Restoration of retinal blood flow via transluminal Nd:YAG embolysis/embolectomy for central and branch retinal artery occlusion. *Retina* 2009; 29 (2): 285.
15. Bara AC, Arber S. Working shifts and mental health-findings from the British Household Panel Survey (1995-2005). *Scand J Work Environ Health* 2009;35:361-7.
16. Nishi T, Saeki K, Obayashi K, et al. The effect of blue-blocking intraocular lenses on circadian biological rhythm: protocol for a randomised controlled trial (CLOCK-IOL, colour study). *BMJ Open* 2015;5:e007930. doi:10.1136/bmjopen-2015-007930.
17. Screens, Phones, Tablets and more: keeping your eyes safe in a Digital Age. The Vision Council. VisionCouncil.Org Guidelines.
18. S Beatty, M Boulton, D Henson, H-H Koh, I J Murray, Macular pigment and age related macular degeneration, *Br J Ophthalmol* 1999;83:867–877.
19. Principles of disability glare measurement: an ophthalmological perspective. Tariq M. Aslam, David Haider, Ian Murray. *Acta Ophthalmologica Scandinavica* 2007: 85:354-360.
20. Grupo PRATS [Internet]. [citado 3 de mayo de 2021]. Disponible en: https://www.grupoprats.com/lentes/espanol/portada_120_1_ap.html
21. Essilor. Crizal Prevencia | Essilor Spain [Internet]. [citado 3 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.essilor.es/productos/crizal/crizal-prevencia>
22. Garcia S. Indo Lanza eENERGY, el único tratamiento antirreflejante del mercado que ofrece una protección total: UV, Infrarrojo y luz azul | Óptica Ayora [Internet]. [citado 7 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.opticaayora.es/indo-lanza-energy-el-unico-tratamiento-antirreflejante-del-mercado-que-ofrece-una-proteccion-total-uv-infrarrojo-y-luz-azul>

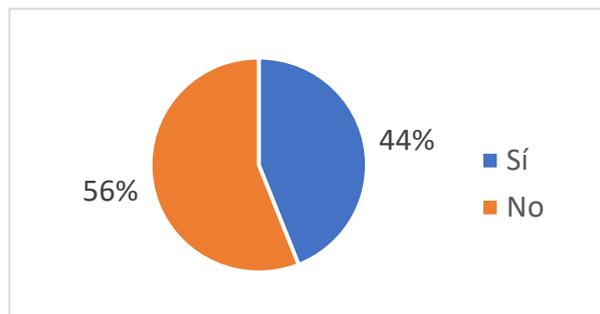
7. ANEXOS

7.1. ANEXO I

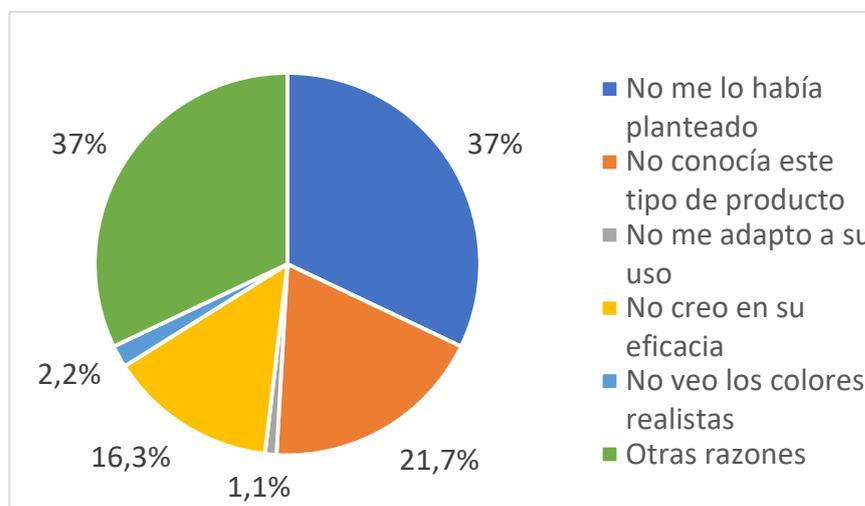
A continuación, se muestran todas las preguntas del cuestionario con sus consecuentes respuestas en porcentaje:



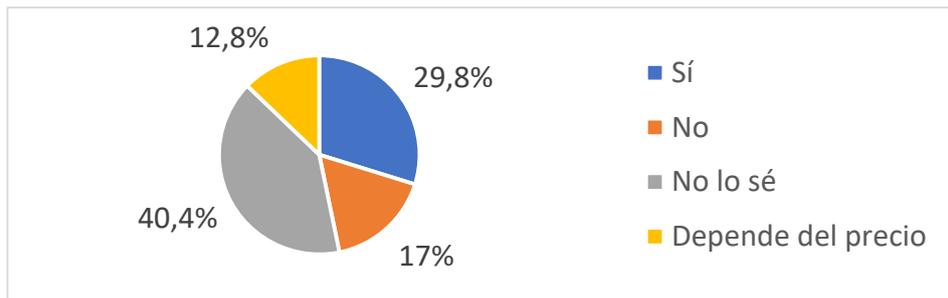
1. ¿Utiliza actualmente filtros de luz azul?



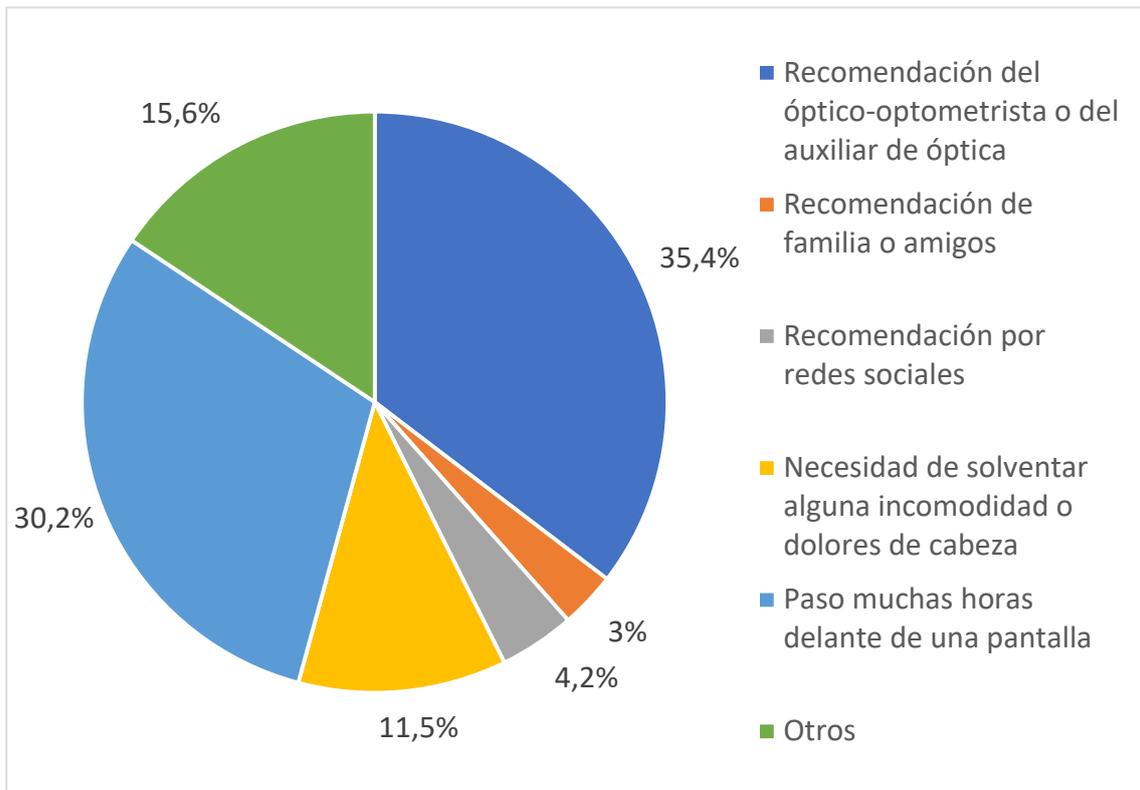
2. En caso de no utilizarlos, ¿por qué no?



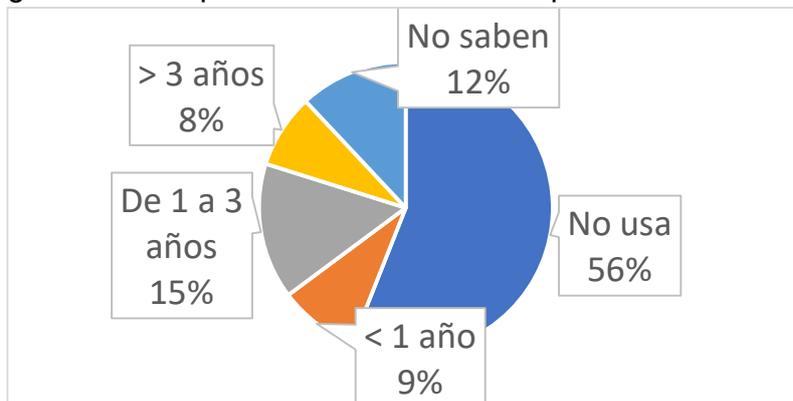
3. En caso de no utilizarlos, ¿los usaría en un futuro?



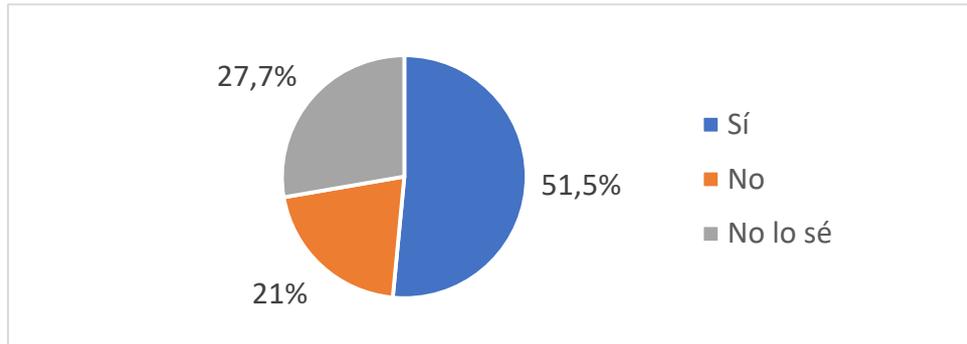
4. ¿Por qué escogió este tipo de filtros?



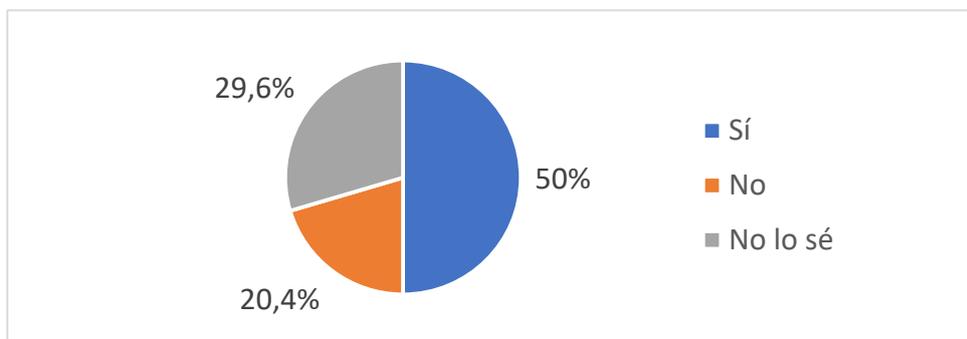
5. ¿Cuánto tiempo lleva utilizando este tipo de filtros?



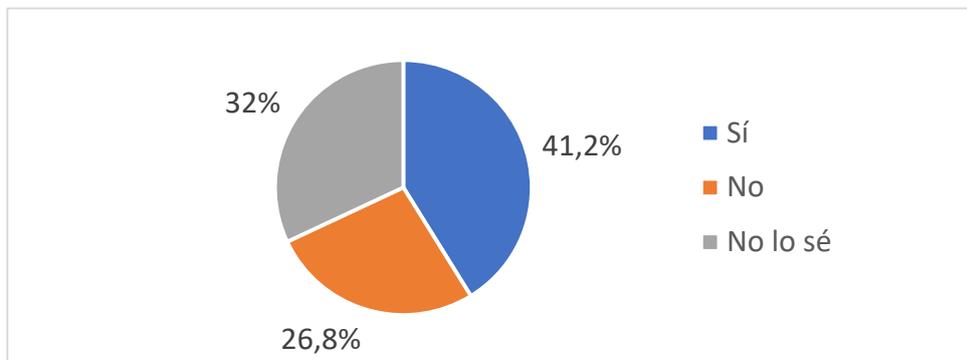
6. ¿Nota que le pican y escuecen menos los ojos mientras esta con el móvil/ordenador?



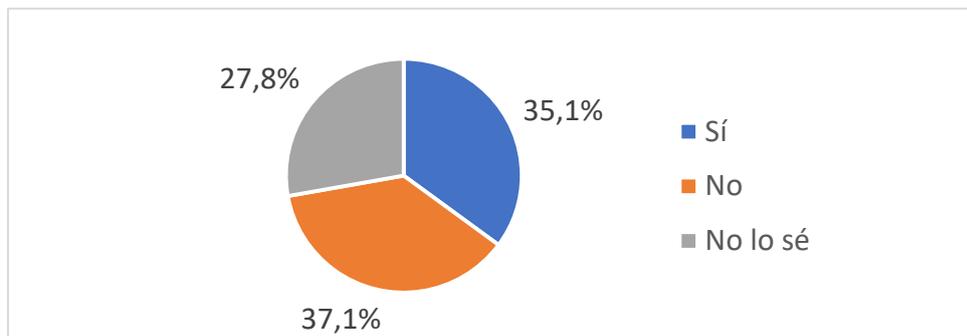
7. ¿Nota que se le cansa menos la vista cuando esta con el móvil/ordenador?



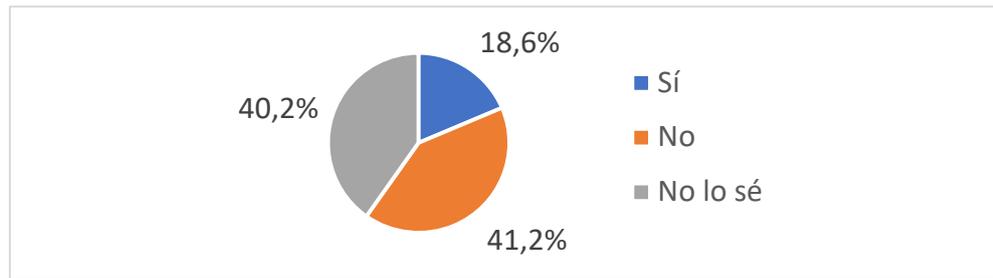
8. ¿Nota menos sequedad ocular?



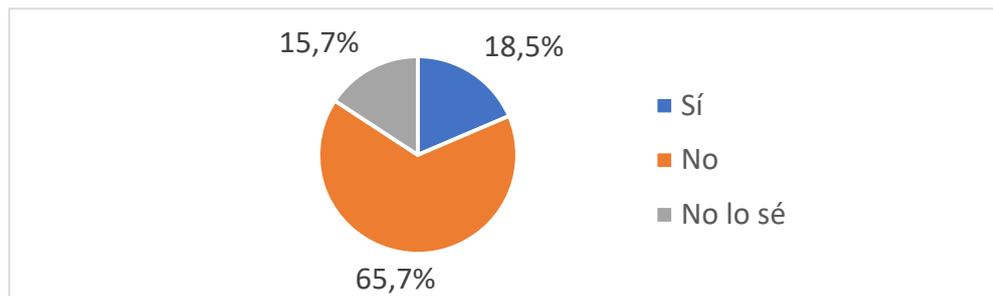
9. ¿Considera que ahora sufre menos dolores de cabeza?



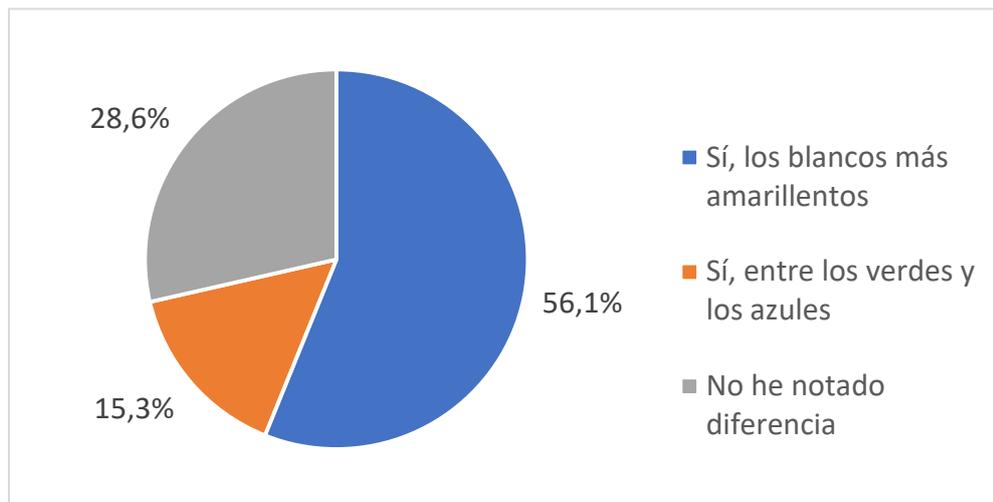
10. ¿Considera que duerme mejor o que concilia mejor el sueño?



11. ¿Considera antiestético el antirreflejante?



12. ¿Percibe variación en los colores al usar este filtro?



13. ¿Recomendarías su uso?

