

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO Y EFICACIA DE LOS FILTROS ÓPTICOS EN PATOLOGÍAS OCULARES.

Revisión bibliográfica

Trabajo Fin de Máster

Máster en Rehabilitación Visual 2013-2014

Universidad de Valladolid

Autor: Ana Cayado Fernández

Tutor: Miguel José Maldonado López

ÍNDICE

ABREVIATURAS -----	3
1. RESUMEN -----	4
2. OBJETIVOS -----	5
3. METODOLOGÍA -----	6
4. INTRODUCCIÓN -----	7
4.1. Espectro electromagnético, luz visible.-----	7
4.2. Comportamiento de la luz a su paso por las distintas estructuras oculares----	9
4.3. Bases sobre las que se sustenta el uso de filtros ópticos -----	14
5. FILTROS ÓPTICOS: VARIABLES OBJETIVAS Y SUBJETIVAS EN PATOLOGÍAS OCULARES. -----	17
5.1. Filtros ópticos: eficacia sobre la agudeza visual en patologías del segmento anterior -----	17
5.2. Filtros ópticos: eficacia sobre la sensibilidad al contraste en patologías del segmento anterior.-----	19
5.3 Filtros ópticos: eficacia sobre la agudeza visual en patologías del segmento posterior.-----	20
5.4 Filtros ópticos: eficacia sobre la sensibilidad al contraste en patologías del segmento posterior.-----	21
5.5 Filtros ópticos: eficacia sobre el “glare”-----	22
5.6 Filtros ópticos: eficacia sobre el color-----	23
5.7 Filtros ópticos: eficacia sobre la adaptación luz-oscuridad -----	25
5.8 Filtros ópticos: eficacia sobre el campo de visión.-----	26
6. PRESCRIPCION OBJETIVA VS SUBJETIVA -----	26
7. FILTROS Y LENTES INTRAOCULARES -----	30
8. CONCLUSIONES -----	32
9. BIBLIOGRAFÍA -----	35

ABREVIATURAS

Av: Agudeza Visual

CPF: Filtro fotocromático Corning

DMAE: Degeneración macular asociada a la edad

EEM : Espectro electromagnético

Lasik: Laser assisted in Situ Keratomileusis

LIO: Lente intraocular

Rp: Retinosis pigmentaria

Sc: Sensibilidad al contraste

ipRGC: Células ganglionares de la retina con melanopsina.

1. RESUMEN

Sabemos que dentro del espectro electromagnético (EEM) la luz compuesta principalmente por las longitudes de onda corta cumple una doble función en el ojo. Por un lado, estimula las células fotorreceptoras de la retina encargadas de convertir la señal luminosa en una señal eléctrica y conducirla al cortex visual para formar la imagen, y por otro, regula el ritmo circadiano y el estado de alerta, dos de las funciones vitales para el ser humano. Con todo, y a pesar de la importancia de estas funciones, las longitudes de onda corta pueden ser perjudiciales no solo para los tejidos oculares y sus dioptrios, sino para la función visual. Según Corning, éstas pueden producir; discomfort visual, empeoramiento de la sensibilidad al contraste y mayor tiempo de adaptación en los cambios luz-oscuridad, viéndose agravada en condiciones de patología ocular.

Por ello, y con el propósito de lograr un doble objetivo; protección ocular e incremento de la función visual, la prescripción de filtros ha despertado un gran interés en las últimas décadas, siendo especialmente marcado a partir de la de los años setenta. Y, aunque en la actualidad existen diferentes casas comerciales y diferentes filtros (Corning, UV Shiel, NoiR), son muchos los especialistas de baja visión que coinciden en la falta de profesionalidad y la fuerte implicación de la subjetividad por parte de los propios usuarios en la prescripción de éstos, existiendo además de un interés clínico, un alto interés económico.

Por consiguiente, el objetivo principal de esta revisión bibliográfica, es analizar la eficacia de los filtros ópticos en diferentes patologías y condiciones oculares, y la forma de proceder en su prescripción.

Palabras Clave: Espectro visible, filtros ópticos y patologías oculares.

2. OBJETIVOS

1. Realizar una revisión sobre la indicación de los diferentes filtros existentes en el mercado.
2. Comparar los resultados entre los diferentes estudios con el fin de concluir, según la patología el mejor filtro a prescribir, así como el mejor método de actuación en su prescripción (objetivo o subjetivo).

3. METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda en la base de datos PUBMED (National Center for Biotechnology Information, Bethesda, MD) de los siguientes términos: “color filters”, “cut off filters”, “optical filters”, “diseases eye”, “spectrum visible and eye”, se realizó búsquedas en otras bases de datos: OVID, Googlebooks, Google (métodos no accesibles o publicados en revistas).

4. INTRODUCCIÓN

4.1. Espectro electromagnético, luz visible.

Se denomina espectro electromagnético (EEM) a la distribución energética del conjunto de ondas electromagnéticas que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia. El EEM incluye una amplia gama de radiaciones, desde las de menor longitud de onda, como son los rayos gamma y los rayos X, pasando por la radiación ultravioleta, la luz “visible” y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de la radio.

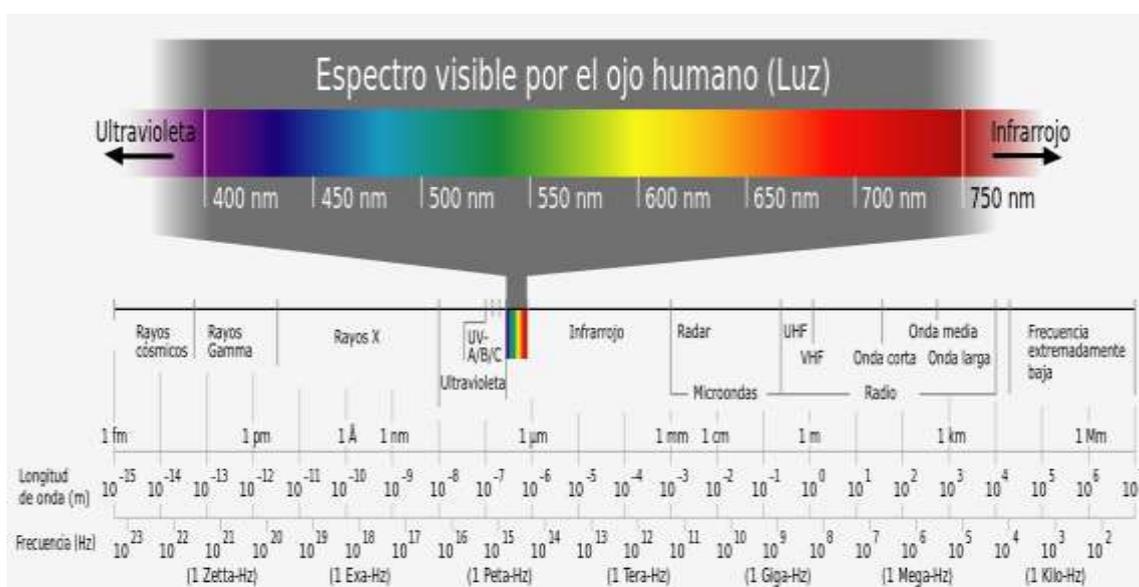


Figura 1. Espectro visible (<http://es.wikipedia.org/wiki/Luz>)

Centrándonos en la región del espectro electromagnético que el ojo es capaz de percibir, ésta se conoce como “espectro de **luz visible**”.

Sin existir límites exactos en éste; el ojo humano responde a longitudes de onda comprendidas entre los 380nm y 780 nm, incrementándose desde 360 nm a 830 nm en ojos adaptados a la oscuridad, con un pico de máxima sensibilidad fotópica situado en 555 nm.

VIOLETA	380 – 450 nm
AZUL	450 – 495 nm
VERDE	495 – 570 nm
AMARILLO	570 – 590 nm
ANARANJADO	590 – 620 nm
ROJO	620 – 750 nm

Figura 2. Bandas espectro de luz ([http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro visible](http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_visible))

Con relación a dicha distribución, ésta ya había sido observada y descrita por primera vez por Roger Bacon (1214-1294) en el siglo XIII, enriquecida con las atribuciones posteriores de Newton (1643-1727) sobre su principio “la luz es color”, al descubrir cómo se descomponía la luz del sol al pasar a través de un prisma en varios colores conformando un espectro. Y complementada con las de Johann von Goethe (1749-1832), al estudiar y probar las modificaciones fisiológicas y psicológicas que el ser humano sufre ante la exposición a los diferentes colores, convirtiéndose en la piedra angular de la actual psicología del color. Siendo entendido éste como la combinación de las longitudes de onda no absorbidas por los materiales, sin llegar a ser una característica intrínseca de la materia, sino una percepción visual estimulada por la luz. Sin embargo, no solo la absorción por parte de los materiales influye en la percepción visual. Una vez en el interior del ojo, la proporción y composición espectral de luz visible que llega a la capa de las células fotorreceptoras de la retina, es modificada por una serie de fenómenos ópticos; reflexión, dispersión y transmitancia o absorción.

4.2. Comportamiento de la luz a su paso por las distintas estructuras oculares.

La luz que incide en el ojo no pasa en su totalidad. En primer lugar, el cambio de índice de refracción entre el aire y los diferentes dioptrios oculares origina cierta **reflexión lumínica**. En segundo lugar, la luz que atraviesa los distintos medios oculares choca con las partículas de diferente tamaño que están en su interior produciendo **dispersión** en las diferentes estructuras, y en último lugar, aparece la **absorción**. Este fenómeno con su doble función favorece la preservación de la retina por un lado y estimula los cambios bioquímicos implicados en el proceso visual por el otro (una vez acumulada la energía luminosa suficiente como para que los fotorpigmentos inicien el proceso de la fototransducción).

La córnea y el cristalino absorben el 98% Uva A y 99% Uva B, y tan solo el 2% del Uva A y el 1% del Uva B, es transmitido a la retina en un ojo fáquico, sin embargo, esta luz ultravioleta no visible puede producir daños incuestionables. De hecho Marshal,¹ habló en 1980 del peligro de la luz azul afirmando lo siguiente: “Son necesarias 100 veces menos de energía radiante del corte 450 nm, cuando éste es comparado con energía del corte 590 nm para causar daño en la retina”.

La córnea como primera estructura relevante respecto a la modificación del espectro de la luz incidente, refleja aproximadamente un 2% de la luz incidente normal. Este porcentaje aumenta con el ángulo de incidencia, y puede ser casi total cuando la incidencia es rasante. Además, como la mayor diferencia del índice de refracción se produce en el paso (aire-película lagrimal), esta superficie es la que produce las mayores pérdidas por reflexión, produciéndose en menor medida en la superficie posterior de la córnea, y el cristalino. Respecto a su estroma, esta estructura formada por una serie de fibras de colágeno paralelas a la superficie y rodeadas de una sustancia de un índice de refracción diferente, dispersa la luz otorgándole a la córnea la característica de material homogéneo en el que la luz que es dispersada sufre una interferencia que permite el paso del 95% en una longitud de

Onda de 500 nm. Por su parte, el epitelio corneal encargado de la máxima absorción de las longitudes de onda corta, hace que la capacidad de transmisión junto con el estroma por parte de la córnea se encuentre entre los 310 nm radiación ultravioleta (UV) y los 2500 nm (infrarrojos).²

La transmisión o absorción de las radiaciones por los diferentes medios oculares determina que longitudes de onda alcanzan la retina. El ojo está expuesto a todas las formas de radiación electromagnética, pero solo aquellas longitudes absorbidas por los fotopigmentos de la retina se denominan "luz visible". Una de las características más importantes de ésta, es su propiedad selectiva y variante con la edad, entre otras por el envejecimiento del cristalino y su característico color amarillento adquirido. Al mismo tiempo y volviendo a la córnea, la contribución de ésta en la absorción de las radiaciones de longitud de onda, está comprendida entre los 290 nm y los 315 nm, transmitiendo casi toda la radiación "visible" y actuando como un filtro muy importante para el infrarrojo al absorber casi toda la radiación a partir de 2 micrómetros.²

En cuanto al **humor acuoso**, contribuye en la absorción de la UV que ha dejado pasar la córnea. Se caracteriza por una absorción despreciable de la luz "visible" y una absorción significativa en el infrarrojo por debajo de 2.000 nm.²

El cristalino por su parte, proporciona la mayor protección frente a las radiaciones UV de longitud de onda más alta, UVA y UVB, absorbiendo entre 300 y 400 nm, siendo el filtro que evita que el UVA llegue a la retina. Sin embargo, esta absorción de la UV durante muchos años, lo lesiona y conduce a la formación de cataratas, ocasionando un desplazamiento del límite de su transmisión adulta que comienza a partir de los 380 nm y se desplaza hacia los 400 nm con el aumento de la edad. Siendo su pigmento amarillo el encargado de absorber las longitudes de onda corta, otorgándole la propiedad de principal dioptrio ocular responsable de las pérdidas de luz por absorción en el "visible".

Su absorción es más importante en el azul que en el amarillo y varía con la edad.

transmitiendo casi toda la radiación en el infrarrojo.²

El humor vítreo transparente a toda la radiación, presenta únicamente una pequeña barrera de absorción en la radiación infrarroja. Sabiendo que la córnea absorbe el UVB y C y el IR B y C, el cristalino el UVA, la radiación que llega a la retina estará constituida básicamente por luz “visible” e infrarrojo A, aunque también puede llegar UVA en una pequeña cantidad (no llega radiación menor de 400 nm aproximadamente). Absorbiendo la retina y la coroides básicamente la luz “visible” y en mucha menor cuantía el infrarrojo.²

La retina y la coroides absorben aproximadamente el 75% de la luz incidente, siendo la absorción máxima alrededor de 575 nm. Después, la curva de absorción cae rápidamente hacia los 1000 nm, llegando a la retina la mitad de la energía radiante a pesar de la falta de sensibilidad por parte de los fotorpigmentos a estas radiaciones. Por suerte, el pigmento amarillo (no fotosensible) de la mácula lútea, actúa como un filtro para luz azul, con una absorción máxima en la región de los 460 nm³. Hecho que favorece la función visual al reducir la dispersión de la luz, la aberración cromática, el deslumbramiento o “glare”, y el fotoestrés⁴. Hammond et al⁵, comunicó que el pigmento amarillo actúa como un filtro que mejora la visión un 30% (porcentaje extraído de la comparación entre sujetos con baja y alta densidad de pigmento macular). Evita además que las longitudes de onda corta alcancen el área central de la retina; la fovea, (región con mayor agudeza visual). Y, aunque su concentración es mayor en la fovea, la luz azul que llega a la retina periférica también es filtrada por la presencia de dos carotenoides; zeaxantina y luteína, encargados de prevenir la “ruptura de la capa lipídica” y mejorar el contraste en condiciones fotópicas y mesópicas.⁴

En la figuras 3 y 4 se muestran dos gráficas en las que está representada la función de la sensibilidad espectral, así como el campo de acción de los principales filtros del ojo; el cristalino y el pigmento macular, ante diferentes condiciones de luminosidad: condiciones fotópicas y escotópicas. (El color azul representa el cristalino y el color rojo el pigmento macular).

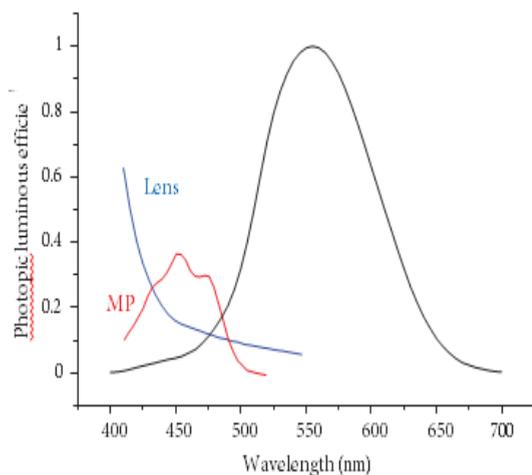


Figura 3. Función de la sensibilidad espectral en condiciones fotópicas. Gráfico extraído de (Scientifica hindawi publishing corporation, Volume 2012, Article ID:424965)

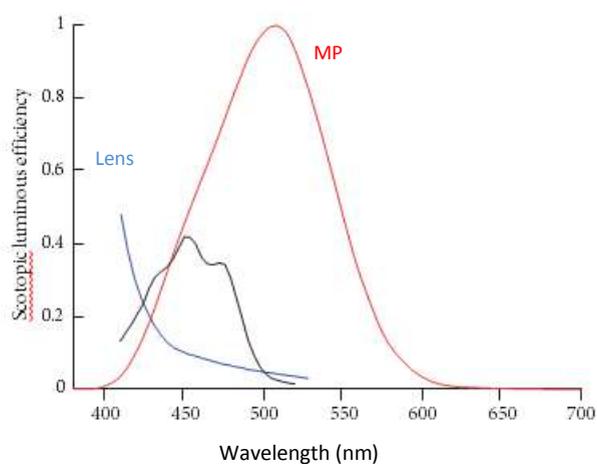


Figura 4. Función de la sensibilidad espectral en condiciones escotópicas Gráfico extraído de (Scientifica hindawi publishing corporation, Volume 2012, Article ID:424965)

El espectro de absorción de la mácula varía según el sujeto, pero en promedio puede considerarse que comprende casi un 50% de las radiaciones cuyas longitudes de onda están por debajo de 495 nm.⁶ A los 60 años se pierde el 25% del pigmento macular, estando la media de densidad situada en 0,24 unidades, la cual disminuye exponencialmente hacia la periferia y asimétricamente en los meridianos horizontal y vertical, produciendo una disminución de la sensibilidad visual.^{7,8} Además, dicha disminución se correlaciona con la aparición de degeneración macular asociada a la edad (DMAE), cuya incidencia aumenta a partir de los 50 años tras la muerte celular y la extracción de las cataratas.^{9,10,11}

Por consiguiente, “**Retina international organization**” insiste en la importancia de usar filtros que bloqueen la radiación azul especialmente desde los 400 a 470 nm, no solo porque mejoran el confort visual, aumentan el contraste y disminuyen el deslumbramiento, sino porque además, es considerada una recomendación médica al actuar como elementos protectores tras observar que en aquellas retinas con baja densidad de pigmento, los sujetos tenían disminuida la sensibilidad al contraste, la cual coincidía con problemas de adaptación a la luz, deslumbramiento y fotosensibilidad cuando la absorción de luz azul se veía reducida.

Por otra parte, además de conos y bastones, la retina humana está formada por células ganglionares que contienen melanopsina (ipRGCs), sustancia que se ha identificado recientemente en el cuerpo y en dendritas de unas pocas células ganglionares. Estas células de la retina intrínsecamente fotosensibles (ipRGCs), representan el 2% de las células ganglionares y podrían ser buenas candidatas para el control de la apertura de la pupila tónica. Aunque su sensibilidad espectral está cerca de los bastones y S-conos (siendo más sensibles a la longitud de onda corta (aproximadamente 480 nm) respecto los conos (555nm)), permanecen funcionales en ausencia de conos y bastones. Hecho hallado en dos personas profundamente ciegas (un varón de 56 años y una mujer de 87 años) en las que las ipRGCs contribuían tanto en la fisiología circadiana como en la conciencia

visual. Sin embargo, las respuestas a la luz de estas células son de calidad inferior. Zaidi FH1 et al,¹² mostró la necesidad de fotorreceptores visuales para las respuestas pupilares normales a la exposición de luz continua a niveles bajos de irradiación y para la constricción pupilar sostenida durante la exposición a la luz en la parte de longitudes de onda largas del espectro visual. Observando que ante la ausencia de conos y bastones, las respuestas pupilo motoras eran lentas y sostenidas, sin capacidad para realizar un seguimiento de los estímulos luminosos intermitentes, sugiriendo la necesidad de conos y bastones para codificar modulaciones rápidas en la intensidad de la luz. Además observó cómo en personas con deficiencia visual, se producía una disminución monótona de la constricción pupilar durante al menos 30 minutos durante la exposición a la luz continua de baja irradiación, provocando por otra parte un deterioro del reflejo pupilar ante la carencia de melanopsina y la consecuente inactivación de la ipRGC.¹³

4.3. Bases sobre las que se sustenta el uso de filtros ópticos

A lo largo de la historia, muchas de las cuestiones e interrogantes sobre patologías y tratamientos han sido respondidas con la ayuda de experimentos previos en animales. En cuestiones oculares, diferentes estudios avalan la utilidad de filtros amarillos como elementos ópticos complementarios al pigmento amarillo natural que poseen muchas especies animales (sobre todo diurnas; perros, ardillas, peces) para mejorar la función visual. Además, este pigmento, que se caracteriza por tener la capacidad de migrar a otras partes del ojo en función de la iluminación, es comparable a la distribución del pigmento macular existente en el ojo humano, cuya concentración disminuye hacia la retina periférica encargada de la visión en condiciones de poca iluminación.¹⁴

Al igual que otros autores, *Nussbaum et al*¹⁵ walls and Jude et al¹⁶, comunicaron una mejora de la función visual cuando eran utilizados filtros de color amarillo, asociando sus beneficios a:

- Aumento de la agudeza visual (Av) mediante la reducción de los efectos de la aberración cromática.
- Comodidad por la reducción de los reflejos y deslumbramientos.
- Aumento de los detalles por la absorción de "neblina azul."
- Aumento del contraste.

El punto fuerte radica en la importancia que puede tener esto cuando además, existen patologías oculares capaces de alterar la Av y la sensibilidad al contraste (Sc), llegando a incapacitar por fotofobia y deslumbramiento.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las principales causas de ceguera crónica son las cataratas, el glaucoma, la DMAE, las opacidades corneales, la retinopatía diabética, el tracoma y las afecciones oculares infantiles, como las causadas por la carencia de vitamina A. Por suerte, gracias a las medidas de salud pública, la ceguera por causa infecciosa está disminuyendo, sin embargo, otras causas relacionadas con la edad o la diabetes tienen cada día mayor prevalencia en los países desarrollados.

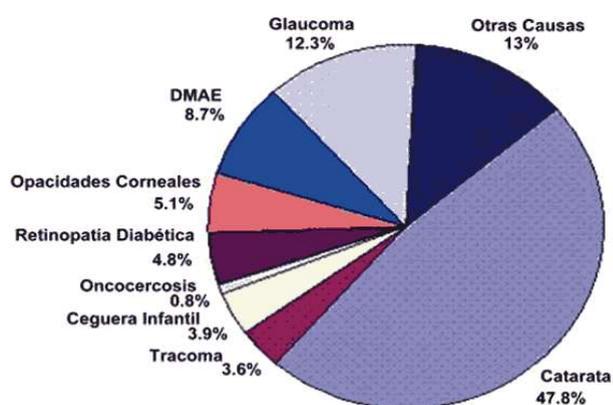


Figura 6. Principales causas de ceguera en el mundo
Gráfico extraído de (<http://www.oftalmo.com/studium/studium2008/stud08-4/08d-02.htm>)

Todas estas patologías no solo disminuyen la función visual de las personas alterando la Av, Sc, campo de visión y confort visual; a través de “glare” y fotofobia, sino que, además, condicionan su calidad de vida favoreciendo la sintomatología depresiva, como demuestran algunos estudios al disminuir la capacidad funcional en personas con (DMAE).¹⁷ Por ello la importancia de conocer los beneficios de los filtros ópticos adquiere una gran relevancia.

Actualmente existen diferentes casas comerciales que recomiendan sus filtros ópticos para determinadas patologías y actividades. Entre éstas encontramos: filtros UV Shield (12 clases diferentes), filtros NoiR (22 clases diferentes) y 6 filtros fotocromáticos Corning (CPF).

Los primeros protegen al 100% frente al Uv y la luz visible, mientras que los segundos protegen al 100% cerca del infrarrojo ofreciendo protección frente al Uv y confort visual. Corning por su lado posee seis filtros de corte diferente transmitiendo cada uno de ellos por encima de la longitud de onda que representan, CPF 450 nm a actividades de interior (lectura, tv, oficina), y asignando el CPF 511nm y el 527 nm a patologías como la DMAE y la catarata⁷.

	CPF 450	CPF 511	CPF 527	CPF 550	CPF 527	GlareCutter
Wavelength cut-off (nm)	450	511	527	550	-	-
% Light transmission (lightened state)	67	44	32	21	33	18
% Light transmission (darkened state)	19	14	11	5	15	6
Absorption % in darkened state	100	100	100	100	100	100
Minimum UVB	97	98	98	99	98	98
Minimum UVA	95	98	98	98	98	98
Blue light						

**Figura 7. Rango de transmisión filtros Corning.
Tabla extraída de (Ophthal. Physiol. Opt. 2002 22 68±77)**

Ante esta variedad de opciones, cabe esperar que exista un consenso entre la

prescripción de filtros ópticos y las diferentes condiciones oculares y/o actividades a realizar. Sin embargo, este consenso no parece estar claro. Para facilitar esta tarea a lo largo del apartado siguiente se realiza una clasificación según las variables que conforman la función visual, y la patología ocular en función del segmento ocular afectado.

5. FILTROS ÓPTICOS: VARIABLES OBJETIVAS Y SUBJETIVAS EN PATOLOGÍAS OCULARES.

Durante este apartado serán evaluados los filtros recomendados según las patologías (segmento anterior y segmento posterior) así como las variables de la función visual consideradas objetivas (Av, Sc, campo visual, “glare” y adaptación luz-oscuridad), y en último lugar, las respuestas subjetivas de los pacientes.

5.1. Filtros ópticos: eficacia sobre la agudeza visual en patologías del segmento anterior.

Dentro del segmento anterior se pueden encontrar diferentes patologías oculares derivadas de la alteración de las diferentes estructuras que lo forman; córnea (ectasias corneales, distrofias, leucomas), iris (coloboma, aniridia), pupila (atrofias, parálisis) y cristalino (opacidades). Todas ellas incapacitantes y causantes de pérdida de función y discomfort visual, pueden mejorar con la prescripción de filtros ópticos al disminuir la dispersión en el ojo de la luz incidente en condiciones de deslumbramiento.¹⁸

La Av en sujetos con diferentes patologías puede verse mejorada con la utilización de filtros ópticos al aumentar la sensibilidad al contraste y disminuir la luz molesta causante de deslumbramiento. De hecho, son varios los autores que hablan de una mejora cuando estos filtros son adaptados. Roseblum et al ¹⁹, comunicó tras adaptar diferentes filtros (desarrollados por él) en sujetos con

diferentes patologías; (filtros amarillos 490 nm) en cataratas, filtros amarillos (445 nm) en afáquicos, filtros ámbar (560 nm) en síndromes oculo-cutáneos o albinismo) y filtros naranjas 520 nm en distrofia de conos, una ganancia monocular de la Av del 43%, 19%, 12% y 11% respectivamente.

Sin dar especificaciones Zigman ²⁰, es otro de los autores que avaló la mejora de la Av en 5 sujetos con cataratas y DMAE al utilizar un filtro amarillo de policarbonato con una absorción por debajo de 480nm, siendo confirmada la mejora de la Av en 34 ojos con cataratas por el año 85 cuando Tupper et al²¹ evaluó la Av con el filtro CPF550 nm. Sus resultados muy positivos, suponían una ganancia del 15% cuando los sujetos utilizaban el filtro CPF 550 nm, y de un 40% cuando el filtro era combinado con una lámina de acetato rojo compuesta por un agujero central de 6,5 nm. Si además, estaba presente una fuente de deslumbramiento, la agudeza visual se veía incrementaba en un 70% y 90% respectivamente. Hecho cuya explicación tenía sus bases en la baja transmitancia del filtro CPF 550 nm (21%), lo cual favorecía la dilatación pupilar y por tanto, la visión por fuera de las opacidades centrales, viéndose más favorecido todavía por la lámina de acetato rojo encargada de filtrar la luz extra que llegaba a la retina periférica.

Sin embargo, no todos los estudios comunican resultados positivos, en otras ocasiones la utilización de filtros ópticos parece no mejorar o incluso perjudicar la Av. Eperjesi F1 et al ²², obtuvo en sus resultados una degradación de la Av y de la Sc según aumentaba la absorción del filtro (CPF 450,511 y 527 nm) en un grupo de sujetos sanos, aunque cabe destacar que no se encontraron diferencias significativas entre las variables. Resultados negativos también fueron hallados en el pasado aunque sin ser estadísticamente significativos por Bailey et al,²³ quien después de evaluar la Av y la velocidad lectora (Test Bailey Lovie near) en un grupo de 9 personas con cataratas y, comparar los resultados con un grupo control de otras 9 personas simuladoras de ellas, observó como la Av disminuía para todas las personas independientemente del filtro utilizado (filtros de iluminación teatral roscolone 805 y 806, filtro amarillo, kodak written filter no 21, NoiR, ambar, y filtros de densidad neutra con transmitancia del 12%, habían sido los elegidos). Asociando la disminución de la Av a la pérdida de luminancia.

Resultados parecidos fueron obtenidos por Cohen et al,²⁴ quien comparó la Av en un grupo de personas con cataratas y diferentes filtros (CPF 527 nm, ámbar, Noir no 511 con una T 40% y gafas de sol con efecto persiana (su objetivo era eliminar la luz parásita), o Nguyen et al ²⁵ al evaluar las Av de 160 sujetos con diferentes patologías clasificadas en: prerretinal, intrarretinal con diferentes filtros (CPF 450, 511, 527 y 550 XD) sin encontrar diferencias estadísticamente significativas, aunque si, algún caso en el que la persona mejoraba una o incluso dos líneas.

5.2. Filtros ópticos: eficacia sobre la sensibilidad al contraste en patologías del segmento anterior.

La sensibilidad al contraste (SC) es uno de los parámetros mejor valorados, y la base sobre la que se sostiene la argumentación de la eficacia de los filtros al reducir éstos selectivamente la luz de longitud de onda corta. Wollsohn et al ²⁶ corroboró esta afirmación al comparar filtros de diferente corte (lentes claros (380 nm), lentes de color amarillo (450 nm), lentes oscuros de color amarillo (511nm) y lentes de color naranja (527nm) en 20 sujetos con ojos sanos. Afirmando que el decaimiento en la visión del color causada por las lentes de color amarillo aumenta a su vez el contraste cuando los objetos brillantes son vistos contra un fondo azul como el cielo, mejorando además el contraste de objetos superpuestos cuando es reducida selectivamente la luz de onda corta. De hecho, Naidu S1 et al ²⁷, obtuvo resultados positivos en 25 sujetos con cataratas al utilizar filtros amarillos y marrones (sin especificar filtro de corte) en condiciones de deslumbramiento. Y previamente Rosenblum et al ¹⁹ había conseguido incrementos de la Sc en los siguientes porcentajes cuando estudió su efecto en sujetos con diferentes patologías utilizando los mismos filtros que cuando evaluó la AV, correspondiéndose estos porcentajes (32% en sujetos con cataratas, 25% en albinos, 27% en afáquicos y 34% en distrofias maculares).

De nuevo, al igual que ocurre con la Av, la mejora se asocia a la disminución de la

aberración cromática y la dispersión de la luz. Encontrando Zigman,²⁸ una mejoría de las altas frecuencias en los pacientes con cataratas. No obstante, al igual que se encuentran contradicciones entre los diferentes estudios en relación a la mejora de la Av con filtros, la Sc también tiene las suyas. Lynch et al ²⁹, no obtuvo resultados positivos al comparar los filtros CPF 550 nm y el filtro de densidad neutra en un grupo de sujetos (sin determinar el número), aunque sí confirmó la mejora de algunos en las altas frecuencias al utilizar el filtro, señalando además una disminución del “glare” subjetivo. Gawande et al ³⁰, por su parte tampoco obtuvo resultados positivos tras analizar a 7 sujetos con diferentes patologías y dos filtros (el PLS 530 nm y el CPF 527 nm,) destacando además, un pequeño efecto en la SC y un resultado negativo con los filtros más oscuros (PLS550 y PLS 540).

5.3 Filtros ópticos: eficacia sobre la agudeza visual en patologías del segmento posterior.

Dentro de las enfermedades de polo posterior, aquellas de mayor prevalencia son la degeneración macular asociada a la edad (DMAE), el glaucoma y la retinopatía diabética, patologías muy relacionadas con la edad y los países industrializados según la OMS 2002. Este dato, y el hecho de que su prevalencia cada año sea mayor, crea un gran interés por encontrar soluciones y ayudas ópticas. Sin embargo, al igual que en las patologías de segmento anterior, existen multitud de discrepancias entre los diferentes estudios realizados y la prescripción de éstos.

Como evaluación positiva, Lynch et al ³¹ observó cómo tres de sus cinco sujetos con distrofia de conos mejoraban tanto visual como funcionalmente desde un punto de vista motor al utilizar el filtro CPF 527 nm. Lynch et al ³¹ también obtuvo datos positivos en un total de 16 sujetos con retinosis pigmentaria (Rp), quienes mejoraban significativamente al utilizar el filtro CPF 550nm. Comunicando una mejoría en la agudeza visual para 24 ojos con el filtro CPF 550 nm, un empeoramiento y 7 abstenciones. Y, una mejoría significativa en la agudeza visual

al usar el filtro CPF550 nm en comparación de filtros densidad neutra.

Como resultados negativos, Bailie et al ³² encontró en un grupo de 39 sujetos con DMAE seca, un impacto mínimo en la Av (log Mar) y la sensibilidad al contraste (Pelli Robson) en presencia y ausencia de deslumbramiento cuando se utilizaba un filtro de corte selectivo (sin especificar el corte). Destacando, una reducción de la Av cuando era medida con filtros de densidad neutra (NoiR) y una diferencia significativa, que se reducía todavía más en presencia de deslumbramiento. Sin embargo, señaló como dato de interés y después de varias semanas de uso, mayor beneficio y confort visual por parte de los pacientes, cuando éstos utilizaban los filtros de color. Valentincic et al ³³ al igual que Wollfsohn et al,²⁶ no encontró resultados estadísticamente significativos cuando evaluó la agudeza visual y la sensibilidad al contraste en un grupo de 14 sujetos con edema macular quístico y agudezas visuales comprendidas entre 0,1 y 0,8 cuando éstos utilizaban una serie de filtros Corning 450 nm, Zeiss 560 nm y un filtro amarillo de 489 nm. Aunque señaló que, si fuera aceptada como válida la definición de alguna mejoría, el grupo con edema macular mostraba una diferencia significativa en la Av y en la Sc, cuando eran utilizados los filtros estudiados, destacando el filtro 450 nm.

Previamente a estos autores, Rohrschneider K1 et al ³⁴, tampoco consiguió resultados significativos al medir el rendimiento de lectura en un grupo de 22 pacientes con DMAE y edades comprendidas entre 63-91 años con agudezas visuales entre 0,1-0,5 al utilizar las listas de lectura Radner y los filtros de corte (Zeiss CF 540 y CF 580 nm). No solo no encontrando mejoría significativa entre usar o no filtros, sino también, un descenso de la Av al usar el filtro CF 540 nm. (El cálculo de la puntuación de LogRAD, que toma en cuenta los errores de lectura, dio como resultado la mejora de una línea en tres de los sujetos, mientras que nueve empeoraban y seis de ellos lo hacían en una línea o más). Al igual que tampoco lo hizo Langagergaard et al³⁵ al evaluar la Sc con el test Hyvärinen en 32 sujetos con DMAE no exudativa y comparar los resultados sin y con filtro (CPF 527 y LVI 527).

Finalmente, remontándonos a la década de los ochenta, otros resultados poco positivos fueron encontrados por Bremer et al ³⁶ al estudiar la agudeza visual en 5 sujetos con distrofia de conos después de un mes de uso del filtro 527 nm. Aunque en uno de los sujetos sí había aumentado con el test de Jaeger de J3 a J2 (sin especificar la distancia). Silver et al ³⁷ en otro grupo de Rp tampoco obtuvo resultados estadísticamente significativos cuando comparó dos filtros, uno de tinte fijo y otro fotocromático rojo, indicando que los sujetos estaban más cómodos aunque no mejoraran objetivamente. Barrow et al ³⁸ tampoco encontró diferencias estadísticamente significativas entre el uso del filtro CPF 527 nm y un lente sin filtro en 53 sujetos de baja visión. Encontrando en los resultados visuales (Av) una menor diferencia aunque también significativa, entre el filtro de densidad neutra y el CPF 527 nm. Y, por último, Gawande et al ³⁹, no solo no encontró mejoría en la Av (test Snellen) en 12 sujetos con Rp, sino que además, ésta se quedaba igual o empeoraba con todos los filtros utilizados (Protect lens Series Orange (530nm), Marrón (540 nm), el rojo (550 nm), CPF 511, CPF 527 y CPF 550, Noir marrón oscuro (2% T) 107 y verde medio 102 (8% T)

5.4 Filtros ópticos: eficacia sobre la sensibilidad al contraste en patologías del segmento posterior.

En la DMAE, al igual que en otras patologías retinianas, las personas pierden la sensibilidad a las altas frecuencias dificultando la visión del detalle. Los filtros pueden favorecer la visión al tiempo que evita aumentar la magnificación hasta en un 70%, aumentando la velocidad lectora de 2-4 veces ⁴⁰. Zigman ²⁸ notó una mejoría en la Sc al utilizar filtros de policarbonato con una absorción por debajo de 480 nm en 21 sujetos con DMAE y cataratas. Leguire et al ⁴¹ por su parte, obtuvo un aumento de la Sc en presencia de deslumbramiento para todo el grupo de baja visión cuando éste usaba gafas de sol, confirmando una mejora en las altas frecuencias cuando el filtro era de corte. (Sunglasses 95% cutt off 16, 9% T, ND filter 25,6%, Noir 111 con 35,2%, CPF 527 con 43% T y Yellow filter con 86%).

5.5 Filtros ópticos: eficacia sobre el “glare”

El “glare”, una de las condiciones más incapacitantes de la función visual, representa al mismo tiempo un mecanismo de protección frente las longitudes de onda corta. Por el año 90, Tupper et al ²¹ afirmó que la condición de “glare” produce una disfunción visual capaz de aislar a las personas, siendo al mismo tiempo la que más se beneficia el uso de filtros. Su origen es multifactorial, desde enfermedades corneales; ectasias, distrofias, hasta causas iatrogénicas (cirugías de cataratas y/ o “Laser assisted in Situ Keratomileusislasik” (lasik) ^{7,42}.

Una de las condiciones anatómicas más favorables para el ojo humano, es la concentración de pigmento macular en la fovea. Los sujetos que poseen altas densidades de este pigmento soportan mejor los efectos nocivos de la radiación. Habiendo una fuerte correlación entre la densidad (0,08 y 1,04 unidades log.) y la disminución de deslumbramiento. Encontrándose éste beneficiado por una dieta rica en luteína y zeaxantina, al aumentar estos carotenos la concentración en 0,16 unidades logarítmicas de densidad óptica tras 6 meses de ingesta⁴³ Por ejemplo, Sandberg et al⁴⁴ mostró como la recuperación visual disminuía en personas con DMAE a pesar de tener buenas agudezas visuales cuando estaban expuestos a luz brillante, y cómo la recuperación disminuía de seis a diecisiete veces cuando la DMAE pasaba de temprana a severa ^{45,46}.

Después de una cirugía refractiva con lasik, el “glare” es una de las principales molestias que refieren las personas principalmente en la conducción nocturna, por lo que la adaptación de una ayuda que favorezca su disminución se convierte en una necesidad. Estudios actuales realizados en sujetos sanos, sugieren que el uso de filtros amarillos mejoran la Sc y el tiempo de repuesta en la conducción, lo cual podría indicar que aquellas personas con pérdida de Sc y deslumbramiento podrían mejorar.⁴⁷ De hecho, Pérez Carrasco et al⁴⁸, comunicó en su estudio sobre la utilidad de filtros amarillos en condiciones mesópicas y fotópicas, en donde evaluó la mejora de la Sc y la capacidad de deslumbramiento en 27 pacientes que

habían sido sometidos a lasik con un año de anterioridad, que en condiciones fotópicas no había diferencias significativas entre los resultados obtenidos con y sin filtro amarillo en el grupo de lasik, así como entre el grupo lasik y el grupo control de deslumbramiento. Sin embargo, mientras la Sc en condiciones mesópicas y sin reflejos era peor en el grupo de lasik con un descenso de 0,14 unidades log, ésta aumentaba significativamente con el filtro amarillo 482 nm en 0,04 unidades log pasando del 70% a 78%. No aumentando significativamente en condiciones de deslumbramiento. Por lo que dedujo que el filtro amarillo 482 nm, tiene utilidad en condiciones mesópicas pero no en fotópicas.

5.6 Filtros ópticos: eficacia sobre el color

Los bordes de los objetos ayudan a definir los estímulos para que éstos sean identificados. En la figura 8 se muestra como al utilizar diferentes longitudes de onda (anillo azul y centro amarillo), el pigmento macular con su rango de absorción ayuda a crear un borde que favorece el reconocimiento del estímulo.

Estas diferencias en la composición de las longitudes de onda producen que los objetos parezcan más brillantes, indicando el uso de filtros amarillos como útiles para el reconocimiento de objetos, al actuar éstos como el pigmento natural amarillo macular del ojo.⁴

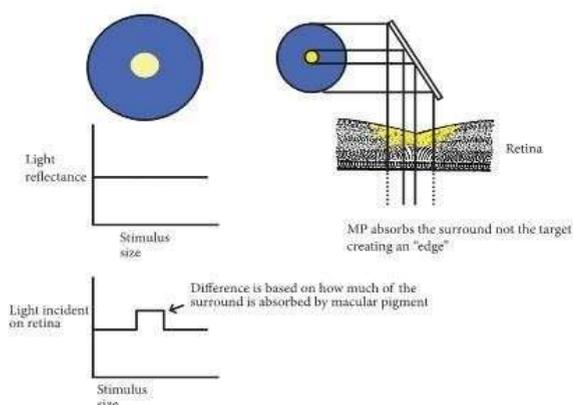


Figura 8. Representación de la creación de bordes para el reconocimiento de estímulos. Gráfico extraído de (Hindawi publishing corporation, Volume 2012, Article ID:424965).

Sin embargo, dado que el color es el resultado de la combinación de las longitudes de onda no absorbidas por los materiales, es evidente pensar que según los filtros de corte utilizados, éstos puedan alterar la percepción del color. Bailie et al ³², observó que al comparar un filtro de corte selectivo con otro de densidad neutra en pacientes con DMAE seca, las puntuaciones de error en la visión al color (test D 15) al introducir el filtro de densidad neutra aumentaban de (177,6±60,2 a 251,9±115,2), siendo este error más grande al utilizar el filtro de corte (275,1±50,8). Por otra parte, en ausencia de cualquier filtro las puntuaciones de error de visión al color aumentaban un 29,1±55,60 unidades en presencia de deslumbramiento. Destacando como curiosidad la aceptación subjetiva por parte de los sujetos frente los resultados objetivos. Y, aunque éstos cambiaban la percepción del color, no era un dato registrado subjetivamente por los sujetos. Más datos negativos en la percepción del color, habían sido obtenidos en otro estudio del pasado. Wollfsohn et al ²⁶, encontró un perjuicio sistemático para la visión del color a medida que aumentaba la longitud de onda de corte de las lentes de color amarillo, lo que se correlacionaba significativamente con las calificaciones subjetivas de colores. Lyan et al ³¹, también halló una pérdida de reconocimiento de color al usar el filtro CPF 550 nm cuando comparó las respuestas obtenidas con filtros con las obtenidas sin filtro en sujetos con y sin deficiencias al color. De hecho, los clínicos advertían de la alteración al color con el filtro 550 nm sobre todo en la gama de verdes y azules, provocando pérdidas del 50 por ciento. De igual modo, Silver et al ³⁷ corroboró la alteración en el color al utilizar filtros rojos en sujetos con retinosis pigmentaria, sin embargo, también encontró que tras semanas de uso los propios sujetos no daban importancia a la alteración del color en comparación con los beneficios obtenidos en la disminución del deslumbramiento. Opinión compartida igualmente por sujetos con distrofia de conos evaluados por Bremer et al ⁵⁰ y sujetos con retinosis pigmentaria.⁵¹

5.7 Filtros ópticos: eficacia sobre la adaptación luz-oscuridad

Los bastones son las células de la retina encargadas de los cambios luz- oscuridad. El hecho de que estas disminuyan a 60 millones en torno a los 60 años, (cuando a la edad de 20 años rondan la cifra de 90 millones), justifica que con la edad el tiempo de adaptación luz-oscuridad aumente.⁵²

Los filtros pueden mejorar la adaptación al disminuir la cantidad de luz que llega a la retina. Hecho confirmado por Lynch et al ³¹ quien observó que tanto el filtro 550 como el Noir, lo conseguían. Más tarde, Van den Berg⁵¹ corroboró que el filtro 527 aceleraba el tiempo de adaptación a la luz en una deficiencia de conos.

5.8 Filtros ópticos: eficacia sobre el campo de visión.

Otras de las variables alterables en las deficiencias visuales es el campo visual. Adaptar filtros que lo mejoren con el fin de favorecer la deambulación en personas con deficiencias es muy interesante. Sin embargo, los resultados son variables y algunos negativos. Mientras que en sujetos con distrofia de conos (3 de 5), la utilización de filtros mejora la sensibilidad del campo central, a nivel de periferia no se hallan resultados positivos,⁵⁰. Por otra parte, sujetos con Rp empeoran al usarlos (principalmente si éstos tienen el campo visual conservado mientras que con pérdidas parece que ganan).⁵¹

6. PRESCRIPCION OBJETIVA VS SUBJETIVA

A la hora de estudiar la efectividad de un filtro, debería ser evaluada la Av con y sin deslumbramiento, la Sc el color, el campo visual y el tiempo de adaptación a la luz (como ha sido comentado en los apartados anteriores a lo largo de la revisión), sin embargo, en muchas ocasiones las respuestas subjetivas son difíciles de

cuantificar, algunos test como el test de Snellen tienen una baja sensibilidad o la discapacidad visual lo impide. Por ello, la información subjetiva probada en el mundo real se convierte en una buena guía a la hora de prescribir filtros en la práctica clínica. El testimonio en cuanto a eficacia en la prescripción debería incluir: mejora en la detección y descripción de formas que favorezca la deambulación y la evitación de obstáculos, mejora en la visualización de bordillos y pasos para facilitar la movilidad, niveles de fotosensibilidad reducidos, requerimientos de ciertas actividades de interior y exterior; (visualización de ordenadores, televisores, lectura de textos y conducción), además de otros datos, como la condición ocular del ojo y el entorno por el que se mueve la persona (luz natural vs artificial) ⁶.

En la práctica, los lentes de color amarillo y naranja son los colores más recurridos en las prescripciones para aumentar la Sc, este hecho es apoyado por calificaciones subjetivas en sujetos con DMAE, quienes afirman que el beneficio subjetivo de los filtros de color es debido a una mejora de la sensibilidad al contraste.⁵³

Los filtros de corte 527 nm y 540 nm son otros de los filtros bien valorados subjetivamente en sujetos con DMAE y Rp, aunque éstos no manifiestan cambios en la Av, notan confort al disminuir el deslumbramiento.⁵⁴

Uno de los puntos más importantes de los filtros de corte selectivo, es que al absorber la luz azul disminuyen la saturación de los conos favoreciendo su rendimiento en condiciones fotópicas. De hecho, en un estudio realizado en un grupo de sujetos con distrofia de conos, los filtros aportaban mayor confort e incluso subjetivamente los pacientes consideraban que la Av también mejoraba, asociándose a una disminución del deslumbramiento.⁵⁰

Bremer et al ⁵⁰ y Frith ⁵⁵, también hallaron resultados positivos en pacientes con Rp. El primero afirmó una mejora subjetiva en la Av y función motora al utilizar el filtro CPF 527, mientras que el segundo, confirmó una mejora subjetiva en la Av en un grupo de 13 sujetos de cuya muestra 5 confirmaron un aumento de la

visión periférica y de la capacidad de movilidad al utilizar el filtro NoiR ámbar (7% de transmitancia). Además Gawande et al ⁵⁶, vio en un grupo de sujetos con Rp una preferencia por la utilización de un filtro respecto ninguno, aunque sin especificar cuál, siendo elegidos los filtros claros para actividades de interior y la noche, y rechazados los oscuros por todos los sujetos con Rp y DMAE. Pacientes con retinopatía diabética eligen filtros comprendidos entre los cortes de onda (450-511nm), y los pacientes con retinosis pigmentaria (511-550 nm). Destacando como dato de interés que aquellos sujetos con peores agudezas visuales tienden a elegir filtros de absorción de longitudes largas entre los siguientes filtros; (CPF 450, 511, 527, 550 y 550XD) y en la siguiente proporción (52,80%, 28,57%, 11%, 4% y 3%).⁵⁷

Respecto a patologías como el glaucoma de ángulo abierto y la retinopatía diabética, Maino et al ⁵⁸, señaló la existencia de una preferencia por los filtros ámbar 101 de la familia Noir, frente al gris-verde y gris-verde suave. Difiriendo Hoeft et al ⁵⁹, al decir que personas diabéticas y con glaucoma prefieren el filtro gris-verde y ámbar respectivamente.

Los pacientes albinos prefieren el color ámbar y sujetos con cataratas confirman que los filtros Corning 511 y 527 mejoran la función visual. Takeshita et al ⁶⁰ halló en una muestra de 19 sujetos resultados positivos para el 68% de los pacientes con esta condición, quienes consideraban que los filtros habían mejorado su visión y tenían la intención de usarlos. Lo cual sugiere, que los filtros Corning ACB pueden proporcionar una mejora visual para el paciente de cataratas, mejorando el contraste subjetivo y el confort, al mismo tiempo que reducen el deslumbramiento.

Sin embargo, en ciertas patologías como la atrofia óptica o desprendimiento de retina, no se halla ninguna preferencia óptica (five Noir, ambar 101(10% T), gris-verde (18% T) ambar oscuro 107 (2%) verde 108 (2%) y el gris verde 109 2%T,)

Espectro electromagnético, filtros ópticos y patologías oculares

A modo de resumen, se adjunta una tabla especificando aquellos filtros que han producido diferencias significativas sobre las variables analizadas en diferentes patologías oculares.

Filtros	Condiciones oculares	Mejora de forma significativa
490, 480, CPF (511, 527 y 550 + lámina de acetato de color rojo)	Catarata	-Agudeza Visual
445	Afaquia	-Agudeza Visual
CPF 560	Albinismo	-Agudeza Visual
CPF 550	Retinosis pigmentaria	-Agudeza Visual
482	Post-Lasik	-Sensibilidad al contraste
480, CPF (527 y 540)	DMAE	-Sensibilidad al contraste
CPF 527	Distrofia de conos	-Funcionalidad motora -Mejora el tiempo de adaptación (luz-oscuridad)
CPF (511 – 550) CPF (450 – 511) Ámbar 101 (Noir)	-Retinosis pigmentaria -Retinopatía diabética -Glaucoma	-Deslumbramiento * (valoración subjetiva)

* Personas con peores agudezas visuales eligen filtros claros.

Según Pyzer ⁶ una guía práctica a la hora de prescribir podría ser la siguiente:

CONDICION OCULAR	TRANSMITANCIA	TRANSMITANCIA
DMAE	460 nm	527 nm
Retinosis pigmentaria	527 nm	540 nm
Catarata	527 nm	540 nm
Retinopatía diabética	527 nm	540 nm
Albinismo	540 nm	600 nm
Distrofia de conos	540 nm	600 nm

Figura 9. Prescripción de corte según patología. (Lan Pyzer 2005)

7. FILTROS Y LENTES INTRAOCULARES

Dentro de las patologías retinianas, la DMAE, una de las más comunes a partir de los 60 años, y con origen multifactorial (edad, herencia, tabaco, dieta), está también muy relacionada con la exposición a la luz ultravioleta. De hecho, la radiación de longitud de onda corta (espectro rodopsina) y la luz azul (pico de excitación 440 nm), han demostrado tener un gran impacto sobre los fotorreceptores y la función del epitelio pigmentario de la retina (EPR), induciendo daño fotoquímico y muerte celular por apoptosis. Este impacto, de especial relevancia después de la cirugía de cataratas, despierta el interés y la preocupación de muchos sobre el tipo de lente a implantar, dado que en los ojos afáquicos o pseudofáquicos con lentes intraoculares sin filtro, la radiación ultravioleta golpea fuertemente la retina. Por ello, la idea de implantar lentes intraoculares con filtros amarillos capaces de absorber la radiación azul puede ser en una buena alternativa profiláctica.

Con la edad las células del EPR acumulan subproductos tóxicos relacionados con los retinoides, como es el caso del A2E, principal componente de la lipofuscina. Esta última es conocida por su toxicidad para las neuronas de la retina y por activar un factor del complemento (inmunológico), el cual se cree que juega un papel significativo en la patogénesis de la DMAE.

Las lentes amarillas no solo podrían proteger las células del EPR del daño de la luz azul (pico de 430 nm), sino que también podrían atenuar los efectos perjudiciales de la luz verde (pico de 550 nm) y la luz blanca.⁶¹ Además Burnier et al ⁶² comunicó la importancia de usar lentes intraoculares con filtro amarillo como dispositivo óptico protector en el desarrollo del melanoma uveal, al observar como en aquellos sujetos que habían llevado estas lentes, la proliferación de células malignas se encontraba disminuida respecto al grupo que había estado expuesto a luz ultravioleta llevando lentes sin filtro⁶².

De hecho, evaluando la importancia de implantar estas lentes intraoculares capaces de modificar la transmisión espectral que bloquean hasta 450 nm frente las LIOs convencionales que lo hacen hasta 380 nm, se encontró en un grupo de sujetos con drusas serosas una disminución en la aparición de DMAE exudativa. Representando ésta un porcentaje del 12% en el grupo de transmisión modificado, frente el 34% en el grupo de transmisión convencional después de 9 años de seguimiento. Encontrando además, la mejora de una línea o más en la agudeza visual del grupo con la lente modificada.

En cuanto a la mejora de la función visual por parte de las lentes intraoculares de color (Av, Sc, visión cromática,) su mejoría podría despertar un gran interés clínico a la hora de replantearse el implantar estas lentes en lugar de las claras convencionales. Sin embargo, al igual que ocurre con la valoración de la función visual en filtros externos, los resultados obtenidos en la mayoría de los estudios no son estadísticamente significativos. Muñoz et al ⁵³, después de analizar 56 ojos operados de cataratas y comparar la Sc y la discriminación cromática en condiciones fotópicas y mesópicas con tres LIOs diferentes; lente naranja (PC440Y Orange, Ophtec), amarillo teñido (AcrySof Natural SN60AT, Alcon) y la clara (AcrySof SA60AT, Alcon), no obtuvo datos clínicamente significativos. Datos similares fueron obtenidos por *Hayashi* ⁶⁴, quien señaló como dato de especial relevancia la eliminación de la cianopsia a las dos semanas de implantación en los sujetos que llevaban la LIO amarilla (HOYA YA60BB) aunque su relevancia clínica era insignificante, pues a los tres meses la cianopsia desaparecía también en el grupo control que llevaba la LIO blanca no polarizada (VA60BB).

8. CONCLUSIONES

El uso de filtros de corte selectivo para mejorar la función visual en determinadas patologías y actividades, ha despertado un gran interés desde hace más de 75 años. Sin embargo, y a pesar de que existen multitud de estudios realizados a lo largo de todo este tiempo, son muchas las discrepancias y contradicciones encontradas. Esto puede deberse por una parte a la ineficiente caracterización de los filtros utilizados en los estudios, al no encontrarse éstos definidos por el corte de longitud de onda, sino por el color, cuando ante un color similar el filtrado puede ser muy diferente.

Otra razón podría estar relacionada con la utilización de test poco caracterizados. Así por ejemplo el test de Snellen utilizado en varios estudios, es poco preciso: cada nivel de agudeza visual suele tener un número diferente de caracteres, los caracteres no están espaciados de la misma manera y la separación entre líneas no sigue una relación con respecto al tamaño del símbolo, provocando que el reconocimiento de los caracteres esté condicionado por el fenómeno de amontonamiento infravalorando los resultados. Además, cuando la luz entra en el ojo patológico a través del filtro, parte de la luz causante del desenfoque es absorbida, llegando a la retina un cantidad de luz insuficiente como para mejorar la imagen o empeorarla, lo cual explicaría porque hay personas que no mejoran líneas de visión aunque experimenten sensación de confort en exteriores.

La falta de un baremo establecido en los criterios de inclusión; agudezas visuales, patologías oculares, podría ser otro de los motivos que expliquen las contradicciones encontradas y algunos de los resultados estadísticamente no significativos. Dado que no es lo mismo una DMAE con una AV $<0,05$ que una DMAE con AV 0,3, ni tampoco el comportamiento óptico hacia la luz de un ojo afáquico con DMAE respecto a un ojo fájico. Además, en la mayoría de los estudios encontrados, las muestras son muy pequeñas, factor bastante decisivo a la hora de obtener resultados clínicamente significativos y extrapolables a la población general.

No obstante, no solo se encuentran limitaciones en la realización de los estudios, existe una gran variabilidad inter-individual que podría explicar las discrepancias encontradas, asociándose ésta a condiciones anatómicas; diámetro pupilar, pigmento macular y densidad de células ganglionares de la retina con melanopsina (ipRGC). Respecto a la primera variable, la pupila del ojo humano al ser relativamente más sensible a las longitudes de onda corta, con un diámetro dependiente del filtro utilizado ante condiciones de luminancia equivalentes, (encontrándose más dilatada con un filtro CPF 550 nm frente a otros de densidad neutra (0,5 y 0,1))³⁰ podría justificar algunas de las variaciones encontradas en los estudios. En cuanto a la segunda y tercera variable, el pigmento macular y las células ipRGC, cuya densidad varía en función de la persona y de la patología ocular, justificaría parte de la variabilidad encontrada en las respuestas. De hecho, los ojos con pigmentación más ligera sufren mayor dispersión de la luz en todas las longitudes de onda. Sin embargo, y a pesar de todas las discrepancias encontradas en los estudios con pocos resultados estadísticamente significativos, la mayoría de los sujetos experimentan confort en el uso de filtros, por lo que es importante recomendarlos siempre, no solo por este hecho, sino también, por su función protectora. Destacando el uso de filtros de menor absorción en aquellos casos en los que las agudezas visuales sean peores.

Por otra parte, aunque se pueda pensar más en la prescripción de filtros en gafa, a la hora de hablar de opciones, es interesante no olvidar a las lentes intraoculares con filtro. Aunque los estudios no indican grandes mejoras funcionales, sí que tienen una gran relevancia como factores de protección frente al daño que la luz azul puede ocasionar en la retina, como es el caso del melanoma.

Y, para finalizar, una vez analizado todo lo comentado a lo largo de esta revisión bibliográfica, indicar que, la combinación de respuestas subjetivas proporcionadas por los pacientes en diferentes escenarios (interiores/exteriores) y las guías de prescripción recomendadas como la de Lan Pyzer[®], son la base de prescripción.

Se sugiere de cara a un futuro, la realización de estudios con test estandarizados como el test “Early Treatment Diabetic Retinopathy Study” (ETDRS), muestras más grandes y criterios de inclusión más homogéneos.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Marshall J. Thermal, mechanical mechanisms and laser damage to the retina. Invest Ophth 1970; 9:97-115.
2. Celia Sánchez-Ramos Roda. "Filtros ópticos contra el efecto fototóxico del espectro visible en la retina" Tesis doctoral 2010, Experimentación animal. Disponible: <http://www.celiasanchezramos.com/archivos/investigacion/segunda.Celia.SanchezRamos.pdf>.
3. D.M. Snodderly, P.K. Brown, F.C. Delori, and J. D. Auran "The macular pigment. I. Absorbance spectra, localization, and discrimination from other yellow pigments in primate retinas," Investigative Ophthalmology and Visual Science, 1984 vol. 25, no. 6, pp. 660–673.
4. Hammond BR Jr1, Fletcher LM, Elliott JG. "Glare disability, photostress recovery, and chromatic contrast: relation to macular pigment and serum lutein and zeaxanthin. Invest. Ophthalmol" Vis. Sci. 2013 January 17, vol. 54 no. 1 476-481
5. B.R.Wooten and B. R. Hammond Jr., "Macular pigment: influences on visual acuity and visibility," Progress in Retinal and Eye Research, 2002 vol.21, no. 2, pp. 225–240.
6. IanPyzer. "The use of selective contrast colour filters for eye disease" Optician 2005, 2010 Jun, vol 229 No 2005.
7. B. R. Hammond Jr. and M. Caruso-Avery, "Macular pigment optical density in a southwestern sample, "Investigative Ophthalmology and Visual Science" 2000 vol.41, no. 6, pp. 1492–1497.

8. B. R. Wooten, B. R. Hammond Jr., and B. Smollon, "Assessment of the validity of heterochromatic flicker photometry for measuring macular pigment optical density in normal subjects," *Optometry and Vision Science* 2005 vol. 82, no.5, pp. 378–386.
9. Cruickshanks KJ, Klein R, Klein BE and Nondahl DM. "Sunlight and the five-year incidence of early age-related maculopathy: the Beaver Dam Eye Study". *Arch Ophthalmol*, 2001; 119 246-250.
10. Suter M, Remé C, Grimm C, Wenzel A, Jaattela M, Esser P, Kociok N, Leist M and Richter C. "Age-related macular degeneration. The Lipofuscin component N-Retinyl-N-Retinylidene Ethanolamine detaches proapoptotic proteins from mitochondria and induces apoptosis in mammalian retinal pigment epithelial cells". *J Biol Chem*, 2000; 275 39625-39630.
11. Klein et al. *Arch Ophthalmology*, 1998; 116: p506-513.
12. Zaidi FH1, Hull JT, Peirson SN, Wulff K, Aeschbach D, Gooley JJ, Brainard GC, Gregory-Evans K, Rizzo JF 3rd, Czeisler CA, Foster RG, Moseley MJ, Lockley SW "Short-wavelength light sensitivity of circadian, pupillary, and visual awareness in humans lacking an outer retina". *Curr Biol*. 2007, Dec18; 17(24):2122-8
13. Berson, D.M., Dunn, F.A., and Takao, M. "Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock". *Science* 2002, 295, 1070–1073.
14. Billy R. Hammond Jr. "The Visual Effects of Intraocular Colored Filters" *Scientifica* 2012, Volume Article ID 424965, 18 pages.
15. J.J.Nussbaum, R.C. Pruett, and F. C. Delori, "Historic perspectives. Macular yellow pigment. The first 200 years," *Retina*, 1981 vol. 1, no. 4, pp. 296–31.
16. G. L. Walls and H.D. Judd, "Intra-ocular color filters of vertebrates", *British Journal of Ophthalmology* 1933, vol. 17, pp. 641–725.

17. Brody BL1, Gamst AC, Williams RA, Smith AR, Lau PW, Dolnak D, Rapaport MH, Kaplan RM, Brown SI. "Depression, visual acuity, comorbidity, and disability associated with age-related macular degeneration". *Ophthalmology*. 2001,Oct; 108 (10):1893-900; discussion 1900-1.
18. Leat, S., North, R. V. and Bryson, H. "Do long wavelength pass filters improve low vision performance?" *Ophthal. Physiol. Opt.* 1990, 10, 219±224.
19. Rosenblum YZ1, Zak PP, Ostrovsky MA, Smolyaninova IL, Bora EV Dyadina UV, Trofimova NN, Aliyev AG. "Spectral filters in low-vision correction" *Ophthalmic Physiol Opt.* 2000, Jul; 20(4):335-41.
20. Zigman, S "Vision enhancement using a short wave-length light- absorbing filter". *Optom. Vision Sci* 1990, 67, 100±104.
21. Tupper, B., Miller, D. and Miller, R. "The effect of a 550 nm cut of filter on the vision of cataract patients". *Ann. Ophthal.*1985, 17, 67±72.
22. Eperjesi F1, Agelis LE. "Effects of yellow filters on visual acuity, contrast sensitivity and reading under conditions of forward light scatter". *Journal: Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology - GRAEF ARCH CLIN EXP OPHTHAL* ,2011, vol. 249, no. 5, pp. 709-714.
23. Bailey, I.,Kelty, K.,Pittler,G., Raasch,T.andRoberts, G. "Typoscopes and yellow filters for cataract patients. *Low Vision*" 1978, Abstr. 4, 2±6
24. Cohen, J. M. and Waiss, B. "An evaluation of horizontally louvered black sun wear for glare reduction in a glare sensitive low vision population". *J. Vis. Rehab* 1991, 5, 61±68.

25. Nguyen,T.V.andHoeft,W.W. “A study of blue blocker filters and related pathologies. J. Vis. Rehab 1994, 8, 15±21
26. Wolffsohn JS1, Cochrane AL, Khoo H, Yoshimitsu Y, Wu S. “Contrast is enhanced by yellow lenses because of selective reduction of short- wavelength light”. Optom Vis Sci. 2000, Feb; 77(2):73-81
27. Naidu S1, Lee JE, Holopigian K, Seiple WH, Greenstein VC, Stenson “The effect of variably tinted spectacle lenses on visual performance in cataract subjects”.SM Eye Contact Lens. 2003, Jan; 29 (1):17-20.
28. Zigman, S. “Light filters to improve vision”.Optom. Vision Sci. 1 9 9 2 , 69,325±328.
29. Gooley JJ1, Ho Mien I, St Hilaire MA, Yeo SC, Chua EC, van Reen E Hanley CJ, Hull JT, Czeisler CA, Lockley SW . “Melanopsin and rod-cone photoreceptors play different roles in mediating pupillary light responses during exposure to continuous light in humans” Neurosci. 2012, Oct10;32(41):14242-53 doi: 10.1523/JNEUROSCI.132.
30. Chung ST1, Pease PL “ Effect of yellow filters on pupil size”. Optom Vis Sci. 1999, Jan;76(1):59-62.
31. Lynch,D .and Brilliant, R.“ An evaluation of the Corning CPF 550 lens”. Optometric Monthly 1984, 75, 36±42.
32. Bailie M1, Wolffsohn JS, Stevenson M, Jackson AJ. “Functional and perceived benefits of wearing colored filters by patients with age-related macular degeneration”. Clin Exp Optom. 2013, Sep; 96(5):450-4 doi: 10.1111/cxo.12031.

33. Valentincic NV1, Berendschot TT, Hawlina M, Kraut A, Rothova A. "Effect of tinted optical filters on visual acuity and contrast sensitivity in patients with inflammatory cystoid macular edema". *Retina*. 2007, Apr- May;27(4):483-9.
34. Rohrschneider K1, Stritzke M, Ziese D, Bayer "Influence of cut off filters on reading behavior in age-related macular degeneration". *Ophthalmologe*. 2005 Jul;102(7):692-7.
35. Langagergaard U1, Ganer HJ, Baggesen K. " Age-related macular degeneration: filter lenses help in certain situations". *Acta Ophthalmol Scand*. 2003, Oct;81(5):455-8.
36. Bremer et al "Photochromic filter lenses for cone dystrophy". *Contemporary Ophthalmic Forum*, 1987; 5, 157-162.
37. Silver, J.H. and Lyness, A. L. "Do retinitis pigmentosa patients prefer red photochromic lenses?" *Ophthal. Physiol.Opt*. 1985, 5, 87±89.
38. Barron C, W aiss B. W "An evaluation of visual acuity with the Corning CPF 527 lens" *J Am Optom Assoc*. 1987, Jan;58(1):50-4 528
39. Gawande, A., Rolo L. W.and Marmor, M. F. W "The specificity of colored lenses as visual aids in retinal disease". *J. Vis. Impairment Blin* 1992, 86, 255±257.
40. Lawton TB. "Image enhancement filters significantly improvereadng performance for low vision observers". *Ophthalmic Physiol Opt*, 1993; Apr, 12(2):193-200
41. Leguire, L. E. and Suh, S. "Effect of light filters on contrast sensitivity function in normal and retinal degeneration subjects". *Ophthal. Physiol.Opt*.1993,13, 124±128.

42. Pieh, H. W eghaupt, and C. Skorpik, "Contrast sensitivity and glare of Cataract and Refractive Surgery" 1998, vol. 24, no. 5, pp. 659–662.
43. Renzi LM1, Hammond BR. "The effect of macular pigment on heterochromatic luminance contrast". *Exp Eye Res.* 2010, Dec; 91(6):896-900. doi: 10.1016/j.exer.2010.09.015.
44. M. A. Sandberg and A. R. Gaudio, "Slow photostress recovery and disease severity in age-related macular degeneration," *Retina* 1995, vol. 15, no. 5, pp. 407–412.
45. M. Collins and B. Brown, "Glare recovery and its relation to other clinical findings in age related maculopathy," *Clinical Vision Sciences* 1989, vol. 4, no. 2, pp. 155–163.
46. M. Collins and B. Brown, "Glare recovery and age related maculopathy," *Clinical Vision Sciences* , 1989, vol. 4, no. 2, pp. 145–153.
47. Lacherez P1, Saeri AK, Wood JM, Atchison DA, Horwill MS. "A yellow filter improves response times to low-contrast targets and traffic hazards". *Optom Vis Sci.* 2013 Mar; 90(3):242-8. doi: 10.1097/OPX.0b013e3182815783.
48. Pérez-Carrasco MJ1, Puell MC, Sánchez-Ramos C, López-Castro A, Langa A "Effect of a yellow filter on contrast sensitivity and disability glare after laser in situ keratomileusis under mesopic and photopic conditions". *J Refract Surg.* 2005 Mar-Apr;21(2):158-65.
49. T. Hansen and K. R. Gegenfurtner, "Independence of color and luminance edges in natural scenes," *Visual Neuroscience* 2009, vol. 26, no.1, pp. 35–49.

50. Bremer,D.L., Rogers, G. L., Leguire, L.E. and Figgs,L. “Photochromic filter lenses for cone dystrophy” Contemporary Ophthalmic Forum 1987, 5, 157±16

51. VandenBerg, T.J.T.P. “Red glasses and visual function in retinitis pigmentosa”. Doc. Ophthalmol. 190, 73, 255±274

52. B. R. Hammond Jr., A. J. Wenzel, M. S. Luther, R. O. Rivera, S. J. King, and M L. Choate, “Scotopic sensitivity: relation to age, dietary patterns, and smoking status,” Optometry and Vision Science , 1998, vol. 75, no. 12, pp. 867–872.

53. Muñoz G1, Belda-Salmerón L, Albarrán-Diego C, Ferrer-Blasco T, Fernández Porrero A. “Contrast sensitivity and color perception with orange and yellow intraocular lenses”. Eur J Ophthalmol. 2012, Sep-Oct;22(5):769-75. doi 10.5301/ejo.5000112.

54. Wolffsohn JS1, Dinardo C, Vingrys AJ. “Benefit of colored lenses for age-related macular degeneration”. Ophthalmic Physiol Opt. 2002, Jul; 22(4):300-11.

55. Ian Pyzer .”The use of selective contrast colour filters for eye disease” Optician 2005, 2010 Jun, vol 229 No 2005.

56. Frith, M. J. “The use of low transmission lenses for patients with pigmentary degeneration of the retina”. Aust.J. Optom.1980, 63, 80±82.

57. Gawande, W. and Marmor, M. F. “The specificity of colored lenses as visual aids in retinal disease”. J.Vis. Impairment. Blind. 1992, 86, 255-257.

58. Nguyen,T.V.andHoeft,W.W. “A study of blue blocker filters and related pathologies”. J. Vis. Rehab 1993 8, 15±21.

59. Maino, J. H. and McMahon, T. T. "NoIRs and low vision". J. Am. Opt.1986 Assoc. 57, 532±535
60. Hoefft, W.W.and Hughes, M.K. "A comparative study of low vision patients: their ocular disease and preference for one specific series of light transmissions filters". Am. J.Optom. Phys. Opt.1986, 58, 841±845
61. Takeshita B1, Wing V, Gallarini L.Corning CPF "filters for the preoperative cataract patient." J Am Optom Assoc. 1988 Oct; 59(10):793-7.
62. Algvere PV1, Marshall J, Seregard S. "Age- related maculopathy and the impact of blue light hazard". Acta Ophthalmol Scand. 2006 Feb; 84(1):4-15.
63. Marshall JC, Gordon KD,M cCauley CS, de Souza Filho JP, Burnier MN.Melanoma. "The effect of blue light exposure and use of intraocular lenses on human uveal melanoma cell lines". Res. 2006 Dec; 16 (6):537-41.
64. Hayashi K1, Hayashi H. Br J Visual function in patients with yellow tinted intraocular lenses compared with vision in patients with non-tinted intraocular lenses." Ophthalmol. 2006 Aug; 90(8):1019-23.