



INFLUENCIA DEL USO DE FILTROS DE LUZ AZUL EN LA SENSIBILIDAD AL CONTRASTE



ANTONIO RÍDER VÁZQUEZ



FACULTAD DE FARMACIA

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

TRABAJO FIN DE GRADO

Doble grado en Farmacia y Óptica y Optometría

INFLUENCIA DEL USO DE FILTROS DE LUZ AZUL EN LA SENSIBILIDAD AL CONTRASTE

Trabajo de carácter experimental

Departamentos:

Física de la Materia condensada (Óptica)

Fisiología

Tutores:

María del Carmen Sánchez González

Pablo García Miranda

Autor: Antonio Ríder Vázquez

Lugar y fecha de presentación: Facultad de Farmacia, 2-6 julio de 2018.

RESUMEN

La revolución digital experimentada por nuestra sociedad en los últimos años ha modificado ciertos hábitos de vida, haciendo que el número de usuarios de pantallas de visualización de datos haya aumentado exponencialmente, con las consecuencias que ello tiene en el sistema visual. Estos dispositivos emiten una gran cantidad de luz azul, radiación muy energética capaz de alcanzar la retina casi en su totalidad. Si bien el cristalino, el pigmento macular y el escotoma central de visión azul nos protegen frente a dicha radiación, el excesivo tiempo de uso y la distancia tan cercana a la que son utilizados, han hecho que el sistema visual no sea capaz de aportar la suficiente protección, siendo necesaria la ayuda de una protección artificial basada en el uso de filtros. Parece que la luz azul puede tener efectos a corto plazo provocando síntomas astenópicos, así como riesgos a largo plazo pudiendo dar lugar a enfermedades retinianas como la Degeneración Macular asociada a la Edad (DMAE). Sin embargo, un filtro modifica el tipo de luz que llega a la corteza cerebral, de manera que dichos filtros podrían afectar al rendimiento visual. El objetivo de este estudio es examinar el rendimiento visual de los pacientes portando lentes de contacto con filtro (Lens55® CSR) y compararlo con una lente de contacto sin filtro (Lens55® Silicone) tras la exposición continuada de un dispositivo LED. Para ello, se ha examinado la sensibilidad al contraste (SC) en 4 niveles de frecuencia (3,6,12 y 18 ciclos por grado) y 2 condiciones de iluminación (fotópicas y mesópicas). Como conclusión, el filtro de bloqueo selectivo de luz azul utilizado en el estudio mantiene inalterado el rendimiento visual de sus pacientes en términos de SC, posiblemente debido al bajo porcentaje de luz azul que dichos filtros absorben.

PALABRAS CLAVE: luz azul, filtro selectivo, sensibilidad al contraste

ABSTRACT

Nowadays, digital devices are widely present in people's everyday lives, having led to some changes in their habits. Consequently, as the number of digital users has increased, there are new risks for our eyes and new challenges for vision care professionals. These digital devices emit blue light, an extremely energetic radiation able to reach the retina almost completely. Although the lens, the macular pigment and the foveal blue scotoma prevent us from the risks of blue light, its lasting use and the proximity to our eyes in which we usually use them have brought an increased need for an additional artificial protection based on the use of filters. Blue light seems to have short-term risks that might give rise to asthenopia symptoms, as well as long-term risks that could cause incurable eye diseases in the elderly, such as Age-Related Macular Degeneration (AMD). However, since light reaching cerebral cortex is modified by filters, visual performance can be affected by the use of specific light blocking filters. The main goal of this study is to assess visual performance of digital users while wearing blue light filtering contact lenses (Lens55® CSR) in comparison with non blue-blocking contact lenses (Lens55® Silicone) after 3 hours of exposure to a digital device. For that purpose, contrast sensitivity has been examined at 4 frequency levels (3, 6, 12, 18 cycles per degree) and in two lighting conditions (photopic and mesopic). In conclusion, the blue-light blocking filter used in this investigation seems not to change users' visual performance in terms of contrast sensitivity, possibly because of the low rate of blue light they are able to absorb.

KEY WORDS: blue light, selective filter, contrast sensitivity

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	5
1. CONCEPTO DE LUZ AZUL.....	5
2. FUENTES DE LUZ AZUL.....	5
3. RIESGOS DE LA LUZ AZUL.....	6
4. MECANISMOS DE PROTECCIÓN FISIOLÓGICOS FRENTE A LA LUZ AZUL.....	7
4.1. CRISTALINO.....	7
4.2. RETINA.....	7
4.2.1. EPITELIO PIGMENTARIO RETINIANO Y PIGMENTO MACULAR.....	8
4.2.2. FOTORRECEPTORES.....	10
5. SENSIBILIDAD AL CONTRASTE.....	12
5.1. IMPORTANCIA DE LA SENSIBILIDAD AL CONTRASTE.....	12
5.2. BASES NEUROFISIOLÓGICAS DE LA SENSIBILIDAD AL CONTRASTE.....	12
5.2.1. TEORÍA DE LOS CANALES.....	12
5.2.2. FOTOTRANSDUCCIÓN.....	13
5.2.3. PRIMERA SINAPSIS.....	14
5.2.4. SEGUNDA SINAPSIS.....	15
5.2.5. CENTROS SUPERIORES DE INTEGRACIÓN.....	16
6. ANTECEDENTES DEL EFECTO DE LOS FILTROS EN EL RENDIMIENTO VISUAL....	17
OBJETIVOS.....	19
METODOLOGÍA.....	20
1. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	20
1.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....	20
1.2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	20
1.3. VARIABLES.....	20

2. MATERIALES.....	21
2.1. LENTES DE CONTACTO.....	21
2.2. TEST CSV-1000E.....	22
2.3. OCLUSOR.....	23
2.4. LUXÓMETRO.....	23
2.5. OPTOTIPO.....	23
2.6. LÁMPARA DE HENDIDURA.....	23
3. METODOLOGÍA.....	23
DISCUSIÓN Y RESULTADOS.....	25
CONCLUSIONES.....	32
BIBLIOGRAFÍA.....	33
ANEXOS.....	39
1. HOJA DE RECOGIDA DE DATOS.....	39
2. CONSENTIMIENTO INFORMADO.....	40

INTRODUCCIÓN

1. CONCEPTO DE LUZ AZUL

Luz es toda radiación electromagnética que puede propagarse a través del vacío, susceptible de ser percibida por el sentido de la vista. El ojo está adaptado para vivir en un mundo de luz, la cual, además de permitirnos ver, desencadena funciones fisiológicas esenciales como la sincronización de los ritmos circadianos internos y el reflejo pupilar (Hattar et al., 2003).

Como podemos ver en la figura 1, la luz se puede dividir en diferentes longitudes de onda, formando el espectro electromagnético (EEM) (Sánchez-Ramos, 2010).

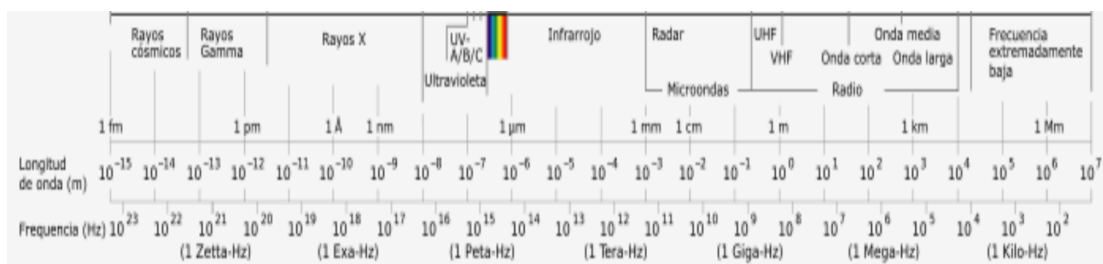


Figura 1.- Espectro electromagnético (Sánchez-Ramos, 2010)

De este EEM, las radiaciones más relevantes son la ultravioleta (UV), visible e infrarroja (IR). Sin embargo, el sistema visual solo es capaz de percibir una región concreta, conocida como el espectro visible (figura 2). Una de las partes de dicho espectro corresponde a la luz azul, radiación implicada en el estudio realizado, abarcando tanto la luz azul-violeta (380-450 nanómetros (nm)) como azul-turquesa (450-495 nm) (Sánchez-Ramos, 2010).



Figura 2.- Espectro visible (Sánchez-Ramos, 2010)

2. FUENTES DE LUZ AZUL

Como podemos observar en la figura 3, el sol es la principal fuente natural de luz azul. Sin embargo, las fuentes artificiales han aumentado debido a la irrupción de la tecnología LED (diodo emisor de luz) en la sociedad, elevando la preocupación en cuanto a esta radiación.

A diferencia de otras formas de iluminación más antiguas (incandescente, halógena, fluorescente), las pantallas LED incorporan una gran cantidad de luz azul. Este hecho, unido al excesivo tiempo que empleamos dichos dispositivos (Nielsen Holdings plc, 2016; The Vision Council, 2015) y la distancia tan corta a la que los utilizamos (Paillé, 2015), hacen que la preocupación sea aún mayor.

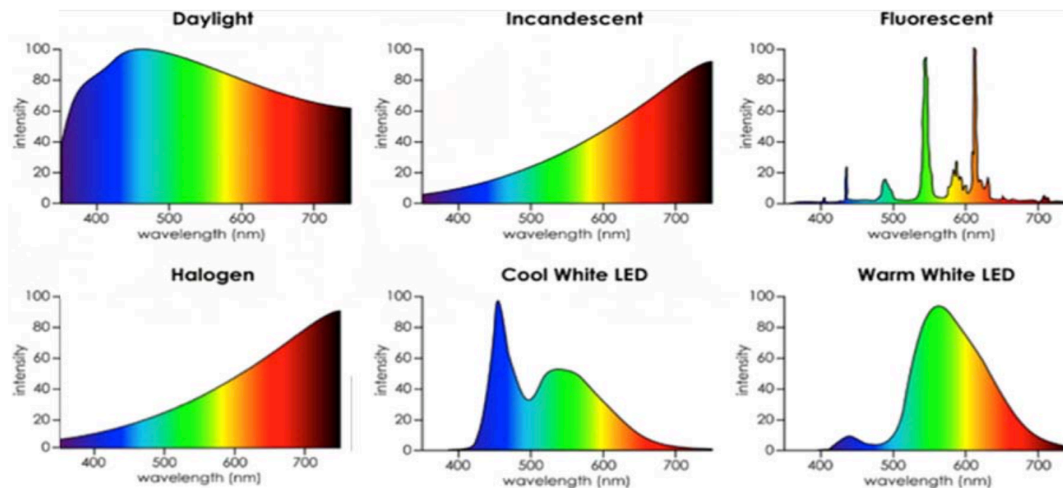


Figura 3.- Fuentes de luz azul (Mercola, 2017)

3. RIESGOS DE LA LUZ AZUL

Si bien los efectos nocivos de la radiación UV están bien documentados (Andre et al., 2011; National Toxicology Program, 2002; Sheedy J, 2004), no ocurre así con la luz azul. Debido a su elevada energía, a pesar de encontrarse dentro del espectro visible, puede ser perjudicial. El principal problema radica en que, en comparación con la radiación UV, el sistema visual posee menos mecanismos de protección naturales, de ahí la importancia de una protección artificial a través de filtros (Boulton et al., 2013).

Por un lado, experimenta una mayor dispersión al atravesar un sistema óptico que el resto de radiaciones del visible, fenómeno conocido como dispersión cromática. Esta dispersión varía en las diferentes superficies oculares, siendo más elevada en el cristalino, continuada por la córnea y, en menor medida, el humor acuoso y vítreo (Sivak y Mandelman, 1982). Como consecuencia, la imagen retiniana no es suficientemente nítida, suponiendo una fatiga adicional que, continuada en el tiempo, puede provocar un conjunto de síntomas conocido como síndrome visual informático (SVI) (The Vision Council, 2015).

Por otro lado, aunque existen controversias en cuanto a este aspecto, gran cantidad de estudios consideran a la luz azul como agente fototóxico (Boulton et al., 2013; Edwards y Gibson, 2010) causante, a largo plazo, de patologías visuales a nivel retiniano como la Degeneración Macular Asociada a la Edad (DMAE).

4. MECANISMOS DE PROTECCIÓN FISIOLÓGICOS FRENTE A LA LUZ AZUL

4.1. CRISTALINO

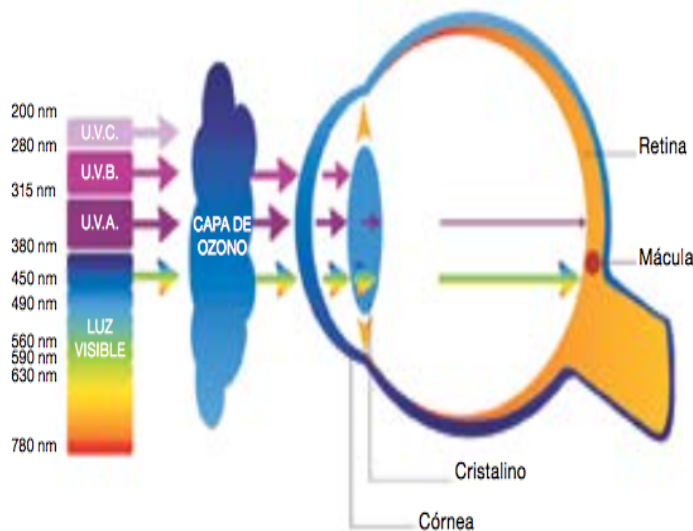


Figura 4.- Absorción y transmisión de la luz en las diferentes estructuras oculares (Boulton et al., 2013)

Como se observa en la figura 4, la capa de ozono nos protege de los UV más nocivos (UV-C) y disminuye los UV-A y UV-B (Andre et al., 2011). Una vez en el sistema visual, la luz experimenta una absorción parcial en la córnea y en el cristalino antes de llegar a la retina.

El cristalino, además de su función acomodativa, es

fundamental en la protección lumínica del ojo gracias a unos compuestos llamados cromóforos que absorben parte de la luz azul. Estos cromóforos aumentan con la edad (Hood et al., 1999; Lerman, 1980) y producen un cambio de color, desde un cristalino transparente en el ojo joven hasta un tono amarillo-naranja en el anciano (Artigas Verde et al., 2011).

Los ancianos, por tanto, son menos sensibles a las radiaciones que los jóvenes (Gaillard et al., 2000; Kessel et al., 2010). De hecho, un estudio reciente determina el porcentaje de luz azul que alcanza la retina de una persona joven (20% de la luz visible) en comparación con la retina de un anciano (10% de la luz visible) (Lund et al., 2012), ratificando este curioso hecho.

Además, por dicha razón, los pacientes operados de catarata, al carecer de estos cromóforos, son más sensibles a las radiaciones, de ahí los avances en lentes intraoculares (LIOs). De hecho, una LIO con filtro amarillo se asemeja a un cristalino de 40-50 años (Romano et al., 2011).

4.2. RETINA

La luz azul, tras atravesar el cristalino, alcanza la retina. Como pudimos ver en la figura 4, prácticamente solo llega a dicho tejido la parte correspondiente al espectro visible, de forma que la radiación más energética susceptible de dañar la retina corresponde a la luz azul.

Debido a los fotorpigmentos presentes en las células del epitelio pigmentario retiniano (EPR) y los fotorreceptores, éstas son especialmente sensibles a la fototoxicidad (Boulton et al., 2013), siendo necesaria la presencia de unos potentes sistemas antioxidantes.

4.2.1. EPITELIO PIGMENTARIO DE LA RETINA (EPR) Y PIGMENTO MACULAR (PM)

El EPR desempeña un papel fundamental en el sistema visual, de forma que alteraciones en cualquiera de sus funciones pueden llegar incluso a la ceguera. De hecho, su alteración es la principal causa en la aparición de la DMAE, siendo la luz azul uno de los principales factores de riesgo (Cruickshanks et al., 2001; Tomany et al., 2004).

FISIOLOGÍA Y FUNCIÓN

El EPR es una monocapa de células pigmentadas que, como se observa en la figura 5, está situado entre los segmentos externos de los fotorreceptores (SEF) y la coroides, formando parte de la barrera hematorretiniana (BHR) (Strauss, 2005)

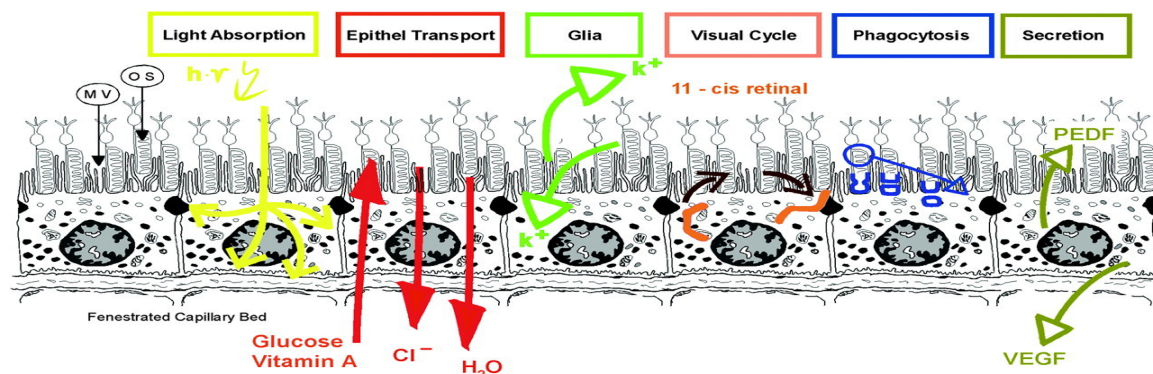


Figura 5.- Funciones del Epitelio Pigmentario Retiniano (Strauss, 2005)

Por un lado, el EPR es esencial en la integridad retiniana gracias al transporte de nutrientes, iones y agua a través de la BHR (Dornonville de la Cour, 1993; Hamann, 2002), así como evitando la entrada de moléculas tóxicas y componentes del plasma en la retina (Strauss, 2005). Además, interviene en el mantenimiento de la excitabilidad de los fotorreceptores (Bok, 1993; Finnemann, 2003) y en procesos inmunológicos (Streilein et al., 2002).

Por otro lado, su función es fundamental en el ciclo visual, ya que los fotorreceptores no son capaces de convertir a 11 cis retinal el all-trans retinal (vitamina A) formado tras la absorción de los fotones de luz por los fotorreceptores y acumulado en sus segmentos externos. Este proceso enzimático va a tener lugar en el EPR, para luego transportar la molécula formada de vuelta a los fotorreceptores (figura 6) (Lledó Riquelme et al., 2010; Rózanowska y Sarna, 2005). Esta regeneración de los pigmentos visuales va a ser mayor cuando la radiación corresponda a la luz azul (Kaylor et al., 2017).

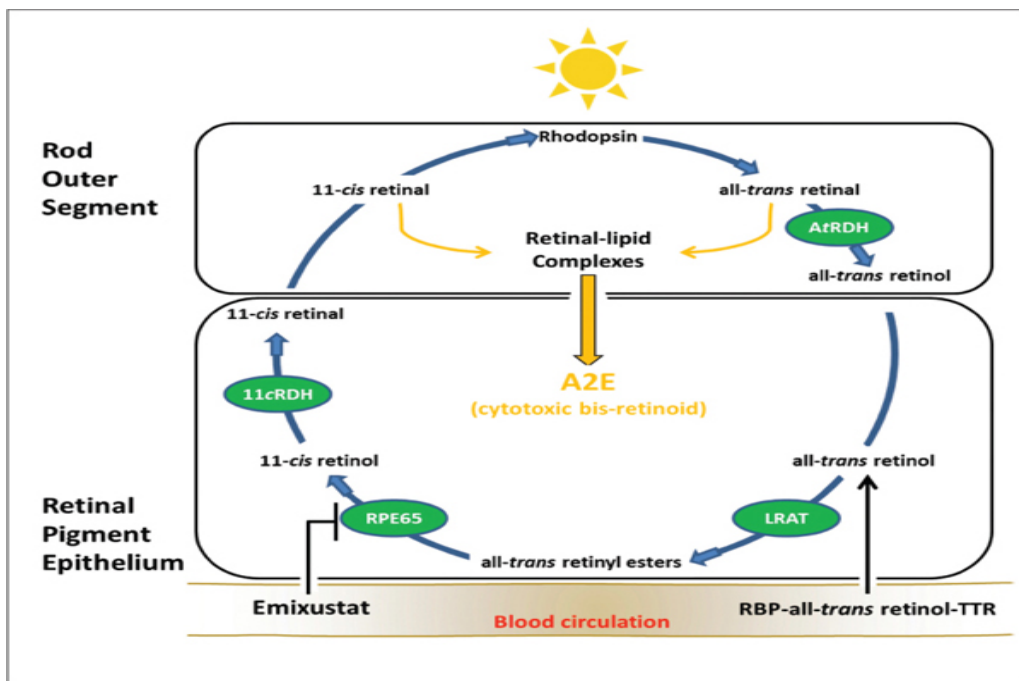


Figura 6.- Ciclo visual (Sánchez-Waisen, 2016)

Por último, es muy importante para contrarrestar el estrés oxidativo. Por un lado, absorbe las longitudes de alto riesgo gracias a pigmentos como la melanina y la lipofuscina (Girotti y Kriska, 2004), situados en la parte interna de la retina (Margrain et al., 2004). Por otro lado, produce moléculas antioxidantes situadas principalmente en los SEF (Margrain et al., 2004; Trieschmann et al., 2008), destacando la luteína y la zeaxantina (Thebault, 2011), que forman parte del pigmento macular (PM), cuya capacidad de absorción nos protege de la luz azul.

La distribución de estos pigmentos es asimétrica, estando más concentrados en el centro que en la periferia, localización estratégica para la protección macular (Arunkumar et al., 2018) y responsable del color amarillo de la retina. Sin embargo, este PM disminuye con la edad (Whitehead et al., 2006; Yu et al., 2012), de ahí que algunos estudios (Stringham et al., 2017) hayan investigado medidas dietéticas basadas en dichos carotenoides para reforzar la fotoprotección, tanto en personas jóvenes como en ancianos.

ALTERACIONES

La retina es el único tejido neuronal expuesto directa y frecuentemente a la luz, pudiendo provocar un efecto fototóxico debido a la producción de radicales libres de oxígeno (ROS), que va a depender de la intensidad de luz, del tiempo de exposición y de su longitud de onda. Este hecho, unido a la cantidad de oxígeno que consume (Villegas-Pérez, 2005), hacen de la retina un tejido idóneo para que proliferen procesos neurodegenerativos (Sánchez-Ramos, 2010).

Estos ROS favorecen la oxidación de los lípidos que se vuelven tóxicos para las células (Girotti y Kriska, 2004), provocando también rotura de lisosomas y del ADN celular y dando lugar, finalmente, a la pérdida de funcionalidad del EPR (Reme, 2005; Wenzel et al., 2005).

La luz azul es la que más ROS genera con la consiguiente mayor disfunción mitocondrial (Marie et al., 2018) que explica su toxicidad, provocando, en determinadas circunstancias, apoptosis de fotorreceptores y células del EPR e incluso ruptura de la BHR (Jaadane et al., 2017).

Conocida como el pigmento de la edad (Boulton et al., 2013), la lipofuscina parece implicada en la patogenia de la DMAE. Esta sustancia se encuentra en los lisosomas de las células del EPR y proviene de los productos de fagocitosis de los SEF (Villegas-Pérez, 2005). Se trata de un producto no degradable que aumenta con la edad (figura 7) y con el daño celular, de ahí que se considere un marcador de senilidad y/o enfermedad.

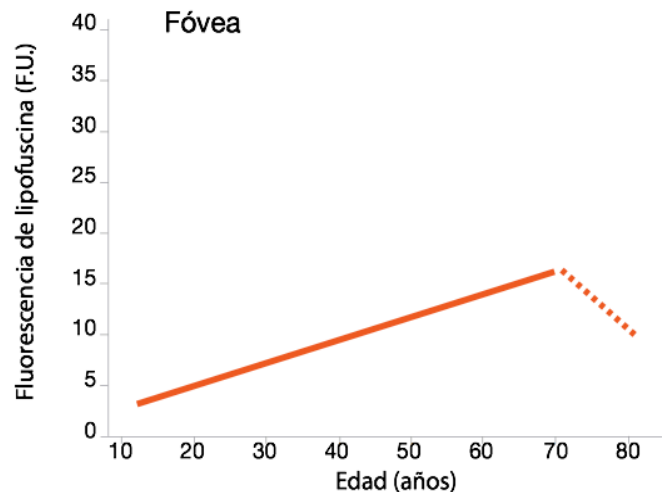


Figura 7- Los niveles de lipofuscina en la fóvea humana aumentan con la edad (Delori et al., 2001)

En concreto, se ha implicado especialmente a un fluoróforo de la lipofuscina, el N-retinilidén-N-retiniletanolamin o A2E (Lamb y Simon, 2004; Sparrow et al., 2003) (figura 6), cuyo máximo de absorción está en torno a 440nm (Rózanowska y Sarna, 2005)), pudiendo provocar efectos citotóxicos incluso en ausencia de luz (Reme, 2005). La longitud de onda más peligrosa coincide, por tanto, con el máximo de absorción del fluoróforo (415-450nm), siendo mayor el efecto fototóxico cuanto mayor concentración de A2E (Boulton et al., 2013).

Sin embargo, a pesar de que el papel fototóxico de la luz ha sido investigado por muchos autores, aún no hay evidencia clara de su implicación (Margrain et al., 2004).

4.2.2. FOTORRECEPTORES

Existen tres tipos de fotorreceptores y cada uno expresa un fotopigmento diferente (figura 8), formado a su vez por una opsina y un pigmento carotenoides (11-cis retinal) (Cuenca Navarro, 2009). Estos tres tipos son: bastones (rodopsina), conos (conopsina) y células ganglionares intrínsecamente fotosensibles o ipRGCs (melanopsina).

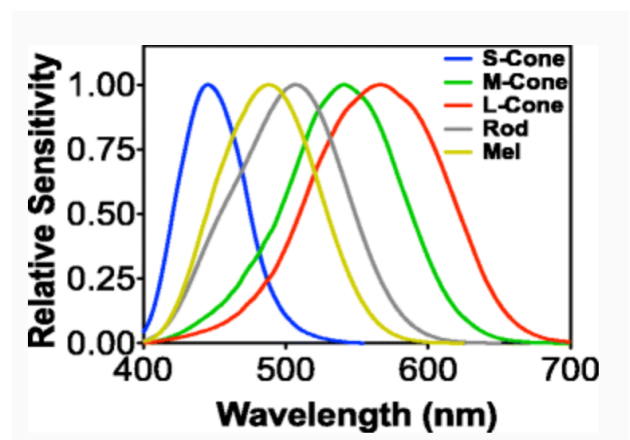


Figura 8.- Espectro de absorción de los fotorreceptores (Dingcai and Barrionuevo, 2015)

Por un lado, las ipRGCs (Dacey et al., 2005) están relacionadas con los ritmos circadianos y el reflejo pupilar (Dingcai y Barrionuevo, 2015; Graham y Wong, 2016) gracias a la melanopsina, fotopigmento cuyo máximo de absorción se encuentra en torno a 482nm (figura 8) y podría contribuir a la detección del contraste, demostrado en un estudio en ratones que, al carecer de melanopsina, tenían disminuida su sensibilidad al contraste (Kofuji et al., 2014).

Por otro lado, los conos (activados en condiciones de luz) y los bastones (activados en condiciones de oscuridad) se encargan de la formación de imágenes mediante el proceso de fototransducción. Este proceso tiene lugar en los discos membranosos del SEF (Cuenca Navarro, 2009; Lledó Riquelme et al., 2010), donde el fotopigmento correspondiente capta un fotón de luz activando la isomerización de 11-cis retinal a all-trans-retinal (figura 9) (Casiday y Frey, 2000).

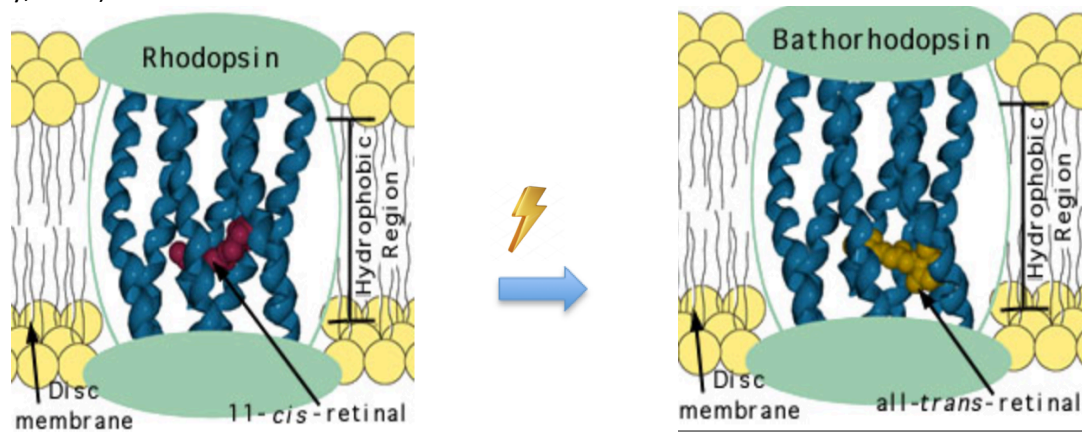


Figura 9.- Estructura de un fotopigmento y proceso de isomerización (Casiday and Frey, 2000)

Un aspecto a tener en cuenta en esta parte de la retina es la distribución de los conos, representando los de tipo L (onda larga) un 65% del total, los de tipo M (onda intermedia) un 33% y los de tipo S (onda corta) sólo un 2% (Roorda y Williams, 1999). De hecho, la foveola no presenta conos-S, generando un escotoma de visión central azul, que impide que se convierta esa luz en un estímulo nervioso (Chen et al., 2015).

Si bien el proceso de fototransducción se produce en el SEF, en su segmento interno podemos destacar estructuras importantes como el elipsoide (figura 10), caracterizado por su gran cantidad de mitocondrias, que le permiten satisfacer la enorme demanda energética y cuya disfunción estaría implicada en la patogénia de la DMAE (Marie et al., 2018).

Su complejidad, unida a sus regiones altamente especializadas, al gran número de proteínas que intervienen en su funcionamiento y a su alto consumo de energía, predisponen a estas células a padecer patologías (Cuenca Navarro, 2009).

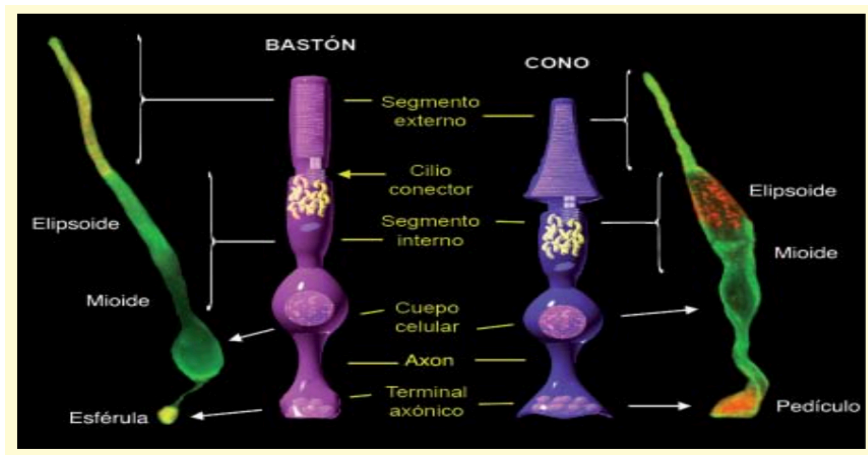


Figura 10.- Estructura de un fotorreceptor (Lledó Riquelme et al., 2010)

5. SENSIBILIDAD AL CONTRASTE (SC)

5.1. IMPORTANCIA DE LA SC

En un examen visual, la agudeza visual (AV) suele ser el valor más representativo, una medida tomada en condiciones artificiales (alto contraste) que puede pasar desapercibidas pérdidas visuales por enfermedad en la retina (López A, 2009; Ziehl Rosas y Mejía López, 2002).

Una medida que se asemeja más a la realidad es la sensibilidad al contraste (SC). Se define como la capacidad de discriminar diferencias de iluminación entre áreas adyacentes, cuyo umbral se establece como la menor cantidad de contraste que el sistema visual puede detectar (López A, 2009) y ha sido demostrado su gran valor diagnóstico (Woodhouse, 1983).

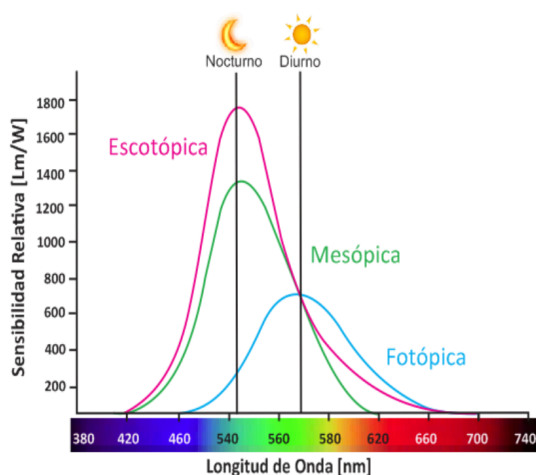


Figura 11.- Sensibilidad relativa e iluminación (Osorio, 2015)

El contraste, según Michelson, representa la diferencia de intensidad luminosa entre áreas vecinas (Kukkonen et al., 1993). Sin embargo, por la complejidad del proceso de percepción, van a influir factores como las condiciones de luz, de forma que a mayor iluminación menor va a ser la sensibilidad de la retina a la luz (figura 11) (Osorio, 2015), siendo necesario entender la forma en que el sistema visual percibe el contraste.

5.2. BASES NEUROFISIOLÓGICAS DEL CONTRASTE

5.2.1. TEORÍA DE LOS CANALES

La SC se basa en el análisis Fourier que plantea que el entorno visual está formado por una serie de piezas que conforman un todo.

Esta información se pasa en canales separados a la corteza, donde se reconstruye, de forma que cada uno de los canales se representa por su respectiva imagen (figura14) (López A, 2009). Existen de 4 a 6 canales de frecuencias espaciales caracterizados por umbrales de detección del contraste (figura 12) (Borish, 1975; López A, 2009).

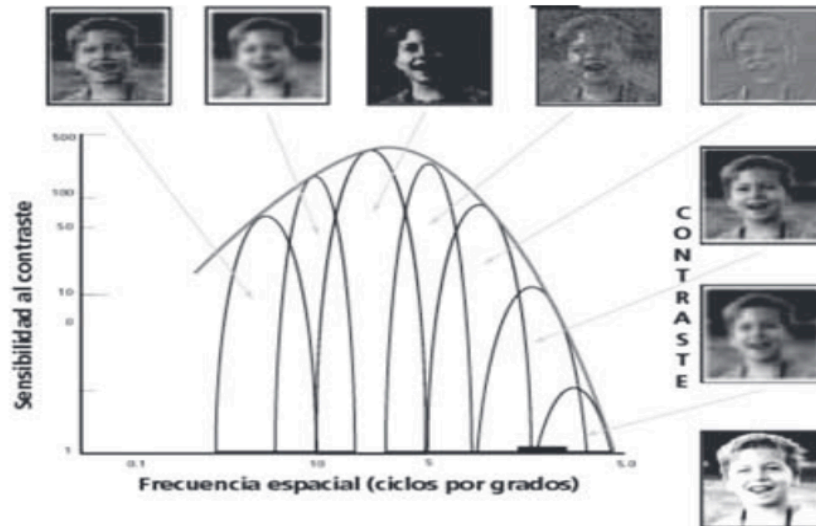


Figura 12.- Canales de visión y SC. En negro, la correspondiente a AV 1,0 (López A, 2009)

A nivel perceptivo, la mácula ocupa una superficie cortical unas diez mil veces mayor que la ocupada en la retina. De manera contraria, la periferia retiniana sólo ocupa una discreta representación cortical. Este fenómeno es conocido como magnificación de representación y demuestra la existencia de canales especiales de codificación, conocidos como magnocelulares y parvocelulares (Catalá y Castany, 2005). Las células parvocelulares tienen campos receptivos pequeños que se traducen en altas resoluciones espaciales (Derrington et al., 1984; Norton et al., 1988) mientras que las células magnocelulares tienen campos receptivos mayores que dan lugar a resoluciones espaciales inferiores (Enroth-Cugell y Robson, 1966).

5.2.2. FOTOTRANSDUCCIÓN

La vía principal de neurotransmisión en la retina de los vertebrados está formada por los fotorreceptores, las células bipolares y las ganglionares. Un hecho importante es que la mayor parte de las neuronas de la retina, a diferencia de otras neuronas, no genera potenciales de acción, sino potenciales graduales (Urtubia Vicario, 2004).

Los fotorreceptores tienen un nivel tónico de despolarización, por lo que el glutamato (Glu) se libera continuamente de los mismos en la oscuridad. La luz hiperpolariza a los fotorreceptores y detiene la liberación de Glu, debido al cierre de los canales de sodio involucrados en la fototransducción. Como consecuencia, la codificación de los estímulos visuales depende de la presencia o no de Glu en los espacios sinápticos de la retina (Baehr, 2014).

5.2.3. PRIMERA SINAPSIS

La primera sinapsis se establece entre los fotorreceptores y las células bipolares en la capa plexiforme externa (figura 13). En 1892, ya se describen dos tipos de células bipolares (Ramón y Cajal, 1892): de conos y de bastones, reforzando la teoría de la duplicidad retiniana. Hasta 11 tipos se han descrito para conos y una solo para bastones (Wässle et al., 2009).

Durante mucho tiempo, se pensó que, al ser mucho mayor el número de bastones, las células bipolares en la vía de los bastones superaban en número a las de los conos (Wässle y Boycott, 1991) demostrándose lo contrario en años posteriores (Strettoi y Masland, 1995).

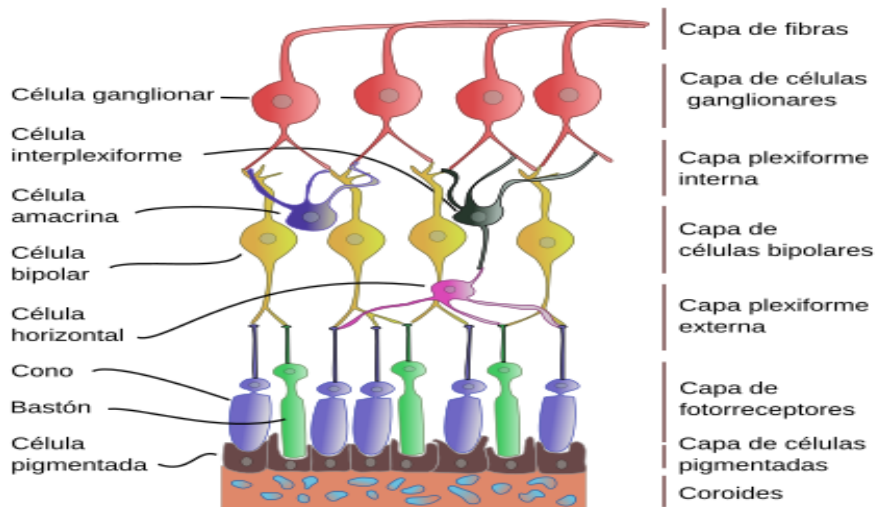


Figura 13.- Fisiología de la retina

Se confirma, por tanto, que la vía de los conos es una vía divergente, muy evidente en la retina del primate, donde cada cono conecta con 3-4 células bipolares de cono (Ahmad et al., 2003) mientras que, en el ratón, un solo cono establece sinapsis con, al menos, una célula bipolar de cono (Wässle et al., 2009). Esta divergencia permite una gran variedad de funciones.

Por otro lado, la vía de los bastones se trata de una vía convergente, pues muchos bastones conectan con una sola bipolar, contribuyendo a la extraordinaria sensibilidad a la luz de esta célula, permitiendo la visión escotópica (Pang et al., 2004).

En esta sinapsis, ocurre un hecho peculiar si nos basamos en el campo receptor de las células bipolares (zona de la retina donde tiene que incidir la luz para estimular esa neurona (Hartline, 1938)), pues los fotorreceptores de la retina central sinaptan directamente con las células bipolares, mientras que, en la periferia, lo hacen de forma indirecta a través de células horizontales (Kaneko, 1973; Nelson y Connaughton, 2007; Schwartz, 1973), responsables de la detección de los contrastes gracias a la división de los estímulos en dos vías celulares, "ON" y "OFF" (Urtubia Vicario, 2004).

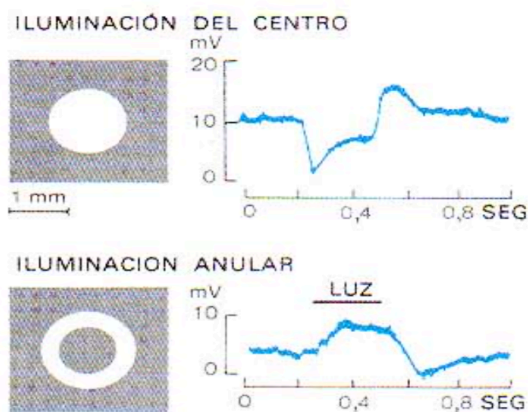


Figura 14.-Respuesta al iluminar el centro y la periferia de una bipolar de centro-off (Urtubia Vlcario, 2004)

Existen, por tanto, 2 tipos funcionales de células bipolares (Urtubia Vlcario, 2004):

1. centro-ON: se despolariza con estímulos puntuales en el centro del campo receptor y se hiperpolariza con estímulos anulares en la periferia.

2. centro-OFF (figura 14): se hiperpolariza con estímulos puntuales en el centro del campo receptor y se despolariza con estímulos anulares en la periferia.

Este mecanismo (antagonismo centro-periferia), además de permitir la adaptación a la intensidad luminosa, es la base de la discriminación del contraste y se repite sucesivamente en niveles superiores, (Urtubia Vlcario, 2004).

Se debe a la presencia, en las bipolares de cono, de diferentes tipos de receptores de Glu, produciendo respuestas opuestas (Lee-Rivera y López-Colomé, 2005). En el caso de las bipolares ON (70% entre bipolares de conos y bastones), tienen un receptor metabotrópico cuyo canal se activa en presencia de luz (Lee-Rivera y López-Colomé, 2005; Morgans et al., 2009; Snellman et al., 2008), mientras que las bipolares off (30% y sólo de conos) expresan un receptor de tipo ácido α -amino-3-hidroxi-5-metilo-4-isoxazolpropiónico/kainato (AMPA/KA), cuya respuesta es mayor al disminuir la luz (DeVries, 2000; Thoreson y Witkovsky, 1999).

5.2.4. SEGUNDA SINAPSIS

Tras la primera sinapsis, se alcanza la capa plexiforme interna (figura 13), donde sinaptan las células bipolares y ganglionares. Las células bipolares, como los fotorreceptores, van a liberar Glu, actuando sobre las células ganglionares, bien de forma directa (vía de conos) o a través de células amacrinas (vía de bastones) (Urtubia Vlcario, 2006).

Las células ganglionares, por su parte, se encuentran disparando potenciales de acción tónicamente, de manera que, según el estímulo, aumentan o disminuyen la frecuencia de disparo (Urtubia Vlcario, 2006). Existen tres tipos de células ganglionares (Plou Campo, 2007):

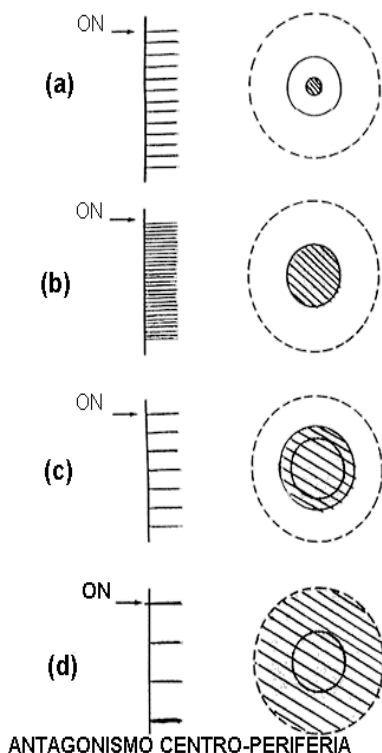
- **Células X:** también llamadas P por su conexión mayoritaria con las capas parvocelulares del núcleo geniculado lateral (NGL). Su concentración máxima se encuentra en la retina central y disminuye en la retina periférica. Son muy sensibles a los contrastes de alta intensidad y se cree que están especializadas en la capacidad de discriminación espacial y el color.

- **Células Y:** también llamadas M por su conexión posterior mayoritaria con las capas magnocelulares del NGL. Son muy sensibles a los contrastes de baja intensidad y se cree que están especializadas en las imágenes en movimiento. Su concentración es máxima en la retina periférica y disminuye en la retina central.

- **Células W:** posiblemente implicadas en el control del diámetro pupilar y en el control de los movimientos de los ojos y de la cabeza en respuesta a objetos en movimiento. Participan mayoritariamente en la vía secundaria de la retina (la vía retino-mesoencefálica).

Un papel fundamental en esta sinapsis lo desempeñan las células amacrin. Descubiertas en 1893 (Dogiel, 1893), se encargan de la comunicación lateral y la organización de los campos receptores de las ganglionares, divididas también en ganglionares de centro “ON” y “OFF”, de ahí su importancia en el contraste y la adaptación a la intensidad luminosa, al activar la vía “ON” en casos de elevada iluminación y la vía “OFF” en casos de baja iluminación (Cardinali, 2007). En concreto, las células interplexiformes van a ser fundamentales en la regulación del grado de contraste de la imagen visual (Urtubia Vicario, 2005).

5.2.5. CENTROS SUPERIORES DE INTEGRACIÓN



Al igual que en las células bipolares, Hartline (1938) y Kuffler (1953) hallaron campos receptivos en células ganglionares, así como Hubel y Wiesel (1962) en células del NGL, observando que también se divide en áreas “ON” y “OFF” en configuración centro-periferia. De Valois fue el primero en detectar este mecanismo que permite a la célula del NGL realizar un preprocesamiento del estímulo visual, demostrando que las dos áreas (“ON” y “OFF”) pueden influirse entre sí (figura 15) (De Valois, 1965).

Una vez que la luz llega a las células ganglionares, sus axones se reúnen para formar el nervio óptico, el cual escapa del globo ocular por el punto ciego (figura 16). Cada nervio óptico llega hasta el quiasma, lugar donde cruzan las fibras nasales de cada retina, de forma que cada hemisferio cerebral poseerá información visual de los dos ojos.

Figura 15.- Mecanismo de antagonismo centro-periferia (Aznar Casanova, 2017)

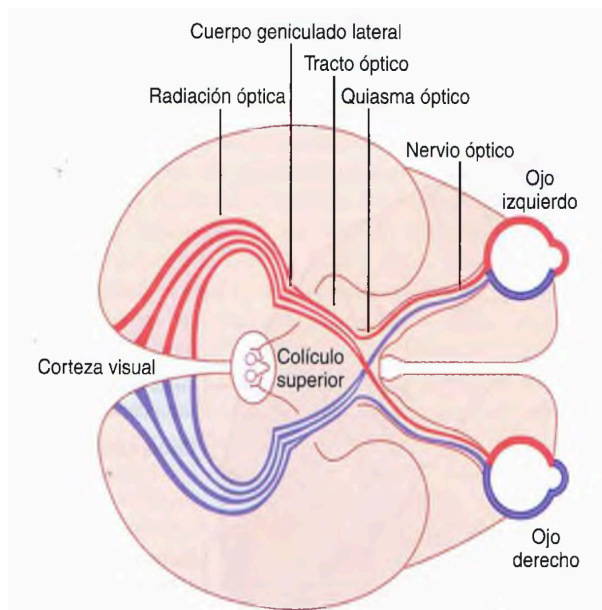


Figura 16.- Centros superiores de integración (Guyton and Hall, 2011)

Desde el quiasma, el 80% de fibras, tras recorrer la cintilla óptica, sinaptan con las células del NGL, núcleo visual primario situado en el tálamo y formado por neuronas de gran tamaño (magnocelulares) y neuronas más pequeñas (parvocelulares) (Plou Campo, 2007).

Del 20% restante, una parte se bifurca hacia el colículo superior, cuya función es guiar la atención visual y dirigir los movimientos oculares, y otra hacia el hipotálamo, núcleo cerebral que controla el SN vegetativo (Aznar Casanova, 2017).

Los axones de las neuronas del NGL forman las radiaciones ópticas, las cuales conducen el impulso nervioso hasta el área visual primaria (área 17 de Brodman o córtex estriado) y las áreas visuales de asociación (18 y 19 de Brodman) (Plou Campo, 2007).

El córtex visual está formado por unos 1500 bloques o módulos (De Valois, 1985), de forma que, en cada módulo, se analiza el patrón de luminancia de una región retiniana concreta (Aznar Casanova, 2017).

6. ANTECEDENTES DEL EFECTO DE LOS FILTROS EN EL RENDIMIENTO VISUAL

Gran cantidad de estudios se han centrado en analizar el efecto de los filtros en el rendimiento visual, ya que cualquier alteración en la luz que llega a la retina puede provocar deficiencias en la percepción (Viénot, 2013). Si bien la mayoría han sido realizados con LIOs en pacientes operados de cataratas, se pueden interpolar a lentes de contacto.

Muchos de estos estudios han analizado la SC y la visión del color, no encontrando en la mayoría de ellos diferencias significativas entre una LIO convencional y una con filtro selectivo (Kara-Junior et al., 2011; Kiser et al., 2008; Landers et al., 2007; Margrain et al., 2004; Muftuoglu et al., 2007; Schmidinger et al., 2008). Algunos, sin embargo, si encontraron una disminución de la SC respecto a la LIO convencional, sobre todo en condiciones mesópicas (Espíndola et al., 2012), frente a otros donde encontraron mejoras en la SC (Wolffsohn et al., 2002; Yap, 1984; Yuan et al., 2004).

En cuanto a la vision del color, se observaron mejoras en el eje azul-amarillo en el caso de pacientes diabéticos (Rodríguez-Galietero, Antonio Montés-Micó et al., 2005) y algunas desventajas en la percepción del color en pacientes sanos (Schmack et al., 2012).

Uno de los estudios diferenciaba entre los distintos estadios de catarata, observando que, en aquellos casos de catarata incipiente, los filtros azul y amarillo apenas influían sobre el rendimiento visual. Por el contrario, en aquellas personas con catarata más avanzada, la SC mejoraba en el caso del filtro azul (Ziehl Rosas y Mejía López, 2002).

Otro estudio demostraba la escasa influencia de la LIO con filtro en la SC, no encontrando grandes diferencias y aportando, a largo plazo, protección a la retina (Montes-Micó, 2006).

Recientemente, se resaltó la importancia de encontrar un balance entre fotoprotección y fotorrecepción, es decir, la necesidad de protegernos frente a la luz azul sin afectar a funciones tan importantes como la regulación de los ritmos circadianos (Tanito et al., 2018)

Por otro lado, también se ha investigado el efecto de estos filtros aplicado en lentes oftálmicas, observando en general mejoras en el rendimiento visual (Colombo et al., 2017) y, en el peor de los casos, sin afectarlo, además de no influir en la calidad del sueño (Wing Leung et al., 2017). Uno de los estudios más recientes (Wing Leung et al., 2017) concluye que los cambios en la SC no son significativos en aquellos casos en los que el espectro de transmitancia de la lente es mayor al 70% en lo referente a la luz azul. En este estudio, se analizaron 5 tipos de filtros en el mercado, cuyo espectro de transmitancia era similar en todos los casos, consiguiendo el balance hablado anteriormente (figura 17) (Tanito et al., 2018).

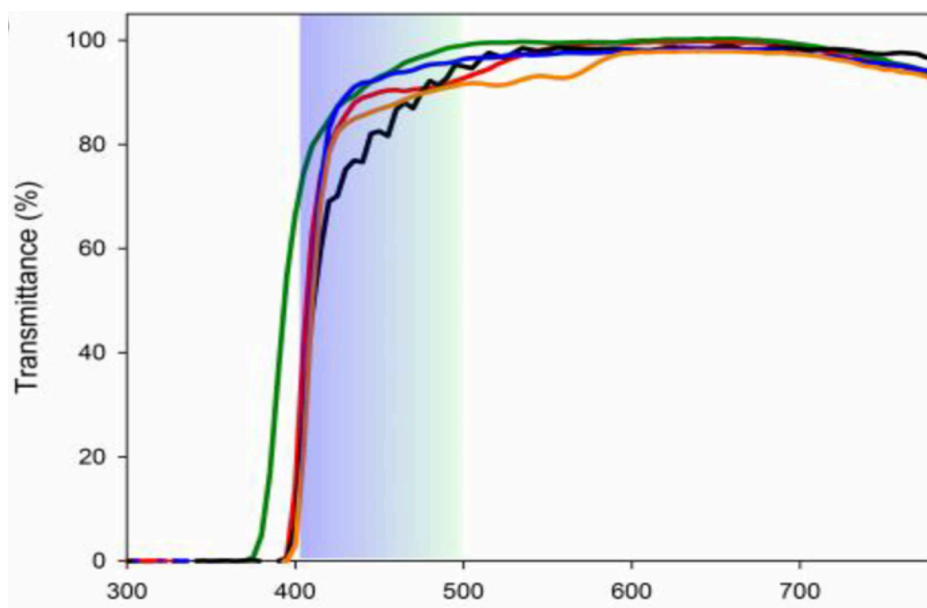


Figura 17.- Espectro de transmitancia de 5 filtros de luz azul comercializados (Wing Leung et al., 2017)

En contraste, otros estudios realizados a largo plazo (1 año), confirmaban una mejora de la SC en lo respectivo a bajas y medias frecuencias en personas jóvenes. Sin embargo, se utilizaron condiciones fotópicas con deslumbramiento. Asimismo, se observaron mejoras en los síntomas astenópicos de los pacientes en comparación con unas lentes ordinarias (Zhao et al., 2017).

La falta de evidencia a la hora de analizar la efectividad de los filtros en lentes oftálmicas parece clara, lo que da pie a la necesidad de futuras investigaciones (Lawrenson et al., 2017). En la mayoría de estudios, los filtros utilizados no absorben más del 30% de luz azul, si bien hay un estudio reciente que demostraba el efecto de un filtro de luz azul que incluía un 93% de absorción, si bien no incluyó un análisis del efecto de dicho filtro en el rendimiento visual y en los ritmos circadianos (Vicente-Tejedor et al., 2018).

En el caso de pacientes sanos, algunos estudios en lentes de contacto han valorado cómo una lente tintada podría afectar en la discriminación del color, pudiendo hacer pensar en una posible mejora en la discriminación del color en el caso de la lente de contacto con filtro (Schürer et al., 2015), frente a otros que nos hacen pensar en pérdidas en dicho aspecto, además de no provocar cambios en la SC (de Fez et al., 2002).

OBJETIVOS

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, dado que los filtros bloquean ciertas longitudes de ondas, pueden interferir en el mecanismo normal de la percepción de imágenes y, debido a la falta de estudios que relacionan los filtros selectivos de luz azul en lentes de contacto con la sensibilidad al contraste, el objetivo principal del estudio es:

- 1.- analizar la influencia de dichos filtros en el rendimiento visual de una persona sana en términos de sensibilidad al contraste, tanto en condiciones fotópicas como mesópicas.

METODOLOGÍA

Estudio experimental llevado a cabo en el gabinete optométrico de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Sevilla desde el 1 de octubre de 2017 hasta el 1 de abril de 2018.

1. POBLACIÓN Y MUESTRA

Se ha examinado la sensibilidad al contraste de 30 ojos de 15 pacientes emétopes (edad media $22,27 \pm 2,05$ años) tras haber leído y firmado la hoja de consentimiento informado realizada para tal propósito (anexo 2).

1.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

-Como requisito indispensable, los pacientes deben ser emétopes, considerando emetropía como una AV monocular mínima de 1,0, evitando que la SC esté alterada por no utilizar la corrección adecuada (López A, 2009).

-Edades comprendidas entre 20 y 30 años, eliminando la pérdida de SC en frecuencias medias y altas con la edad (López A, 2009), probablemente debido una afectación de los canales responsables de detectar este tipo de frecuencias (Sekuler and Hutman, 1980).

1.2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

-Presencia de alteraciones a nivel ocular (blefaritis, conjuntivitis, pinguécula, pterigium) que pueda influir a nivel del rendimiento visual con el uso de lentes de contacto (Susin, 2007).

-Presencia de patologías que afecten a la SC: glaucoma, retinitis pigmentosa, catarata (Carracedo Rodríguez et al.,2011; Pomerance y Evans,1994; Ziehl Rosas y Mejía López, 2002).

-Presencia de patologías sistémicas que pudieran afectar a nivel ocular: diabetes, hipertensión arterial (Andonegui, 2008).

- Haber sido sometido a cirugía refractiva.

1.3. VARIABLES

- Frecuencia espacial: número de ciclos por unidad de distancia (o por grado de ángulo visual). A mayor frecuencia espacial (mayor número de barras por unidad de longitud), los sujetos perciben menor contraste y viceversa (Aznar Casanova, 2017). Las medidas fueron tomadas en 4 frecuencias especiales: 3, 6, 12 y 18 ciclos por grado (cpg).

- Condiciones de iluminación: las medidas fueron tomadas en condiciones fotópicas y mesópicas, siguiendo las recomendaciones del fabricante (Vectorvision, 1991). La iluminación del test fue de 85 cd/m² y 3 cd/m² respectivamente, mientras que la iluminación ambiente fue menor a 3 cd/m² en todo momento.

2. MATERIALES

2.1. LENTES DE CONTACTO

Las características técnicas de las lentes de contacto utilizadas vienen reflejadas en la siguiente figura:

Lente de contacto	Material	Potencia/Rb Diám.	Hidratación	DK (cm ² /sec)	Módulo de elasticidad	Tinte de manipulación
Lens55® Silicone	Hidrogel Silicona Filcon V 3.	0,00/8,60 14,20	58%	60	0,5	No
Lens55® CSR	Hidrogel Silicona Filcon IV 1	-0,25/8,60 14,20	55%	19	0,3	Amarillo

Figura 18.- Características técnicas de las lentes de contacto utilizadas. Adaptada de (Servilens, 2018)



Figura 19.- Lentes de contacto usadas en el estudio (fuente propia)

En el caso de la Lens55® CSR, incorpora un filtro amarillo cuyo objetivo es prevenir la aparición de DMAE. Este filtro va a absorber el 82,4% de radiaciones UVA, 97,6% de radiaciones UVB, así como algo más del 5% de luz azul. Es, por tanto, de carácter selectivo y, a diferencia de los filtros de densidad neutra que reducirían la intensidad luminosa de igual forma en todas las longitudes de onda, tienen la finalidad de absorber solo un componente de la luz visible (Cantalejo, 2001).

2.2. TEST CSV 1000-E

Se trata de un test utilizado muy a menudo para medir la curva de sensibilidad al contraste de un paciente. Este test está estandarizado:

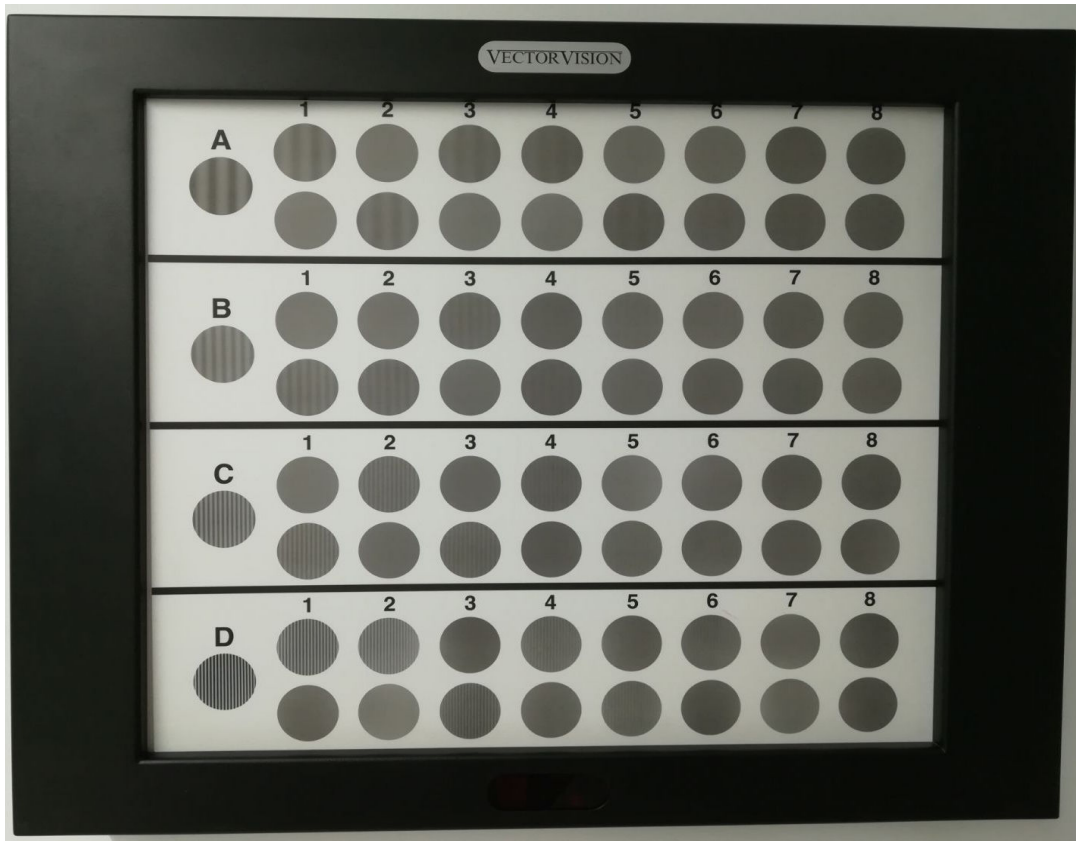


Figura 20.- Test CSV-1000E (fuente propia)

-Presenta una retroiluminación estándar que permite reproducir las condiciones de iluminación necesarias, teniendo en cuenta que, cuanto mayor iluminación, menor va a ser la sensibilidad de la retina a la luz (Osorio, 2015).

-Utiliza un enrejado estándar, evitando factores que pudieran variar la SC como el contraste simultáneo acromático (Hernández Lloreda, 2001), según el cual, dos áreas que reflejan el mismo porcentaje de luz parecen distintas en claridad, así como la presencia de un contorno nítido o difuso, que podría alterar la respuesta del sistema visual (Aznar Casanova, 2017).

-El fabricante aconseja utilizar una distancia de 2,5 m, evitando una percepción diferente del contraste, ocasionada por la distancia al test (Aznar Casanova, 2017).

-Este test evalúa 4 niveles de frecuencia espacial (3,6,12 y 18 cpg) a 8 niveles diferentes de contraste (figura 20).

2.3. OCLUSOR

Se usó un oclusor opaco para llevar a cabo la prueba de forma monocular.

2.4. LUXÓMETRO

Se utilizó un luxómetro para medir la iluminación ambiente en todo momento, asegurando que no era superior a 3 cd/m^2

2.5. OPTOTIPO

Se utilizó un optotipo para confirmar la emetropía de los pacientes examinados.

2.6. LÁMPARA DE HENDIDURA

Se utilizó una lámpara de hendidura para descartar alteraciones significativas en la superficie ocular, de acuerdo a los criterios de exclusión.

3. METODOLOGÍA

Antes de comenzar el estudio, se realizó la toma de la AV monocular y se revisó con lámpara de hendidura a cada uno de los pacientes, cumpliendo los requisitos 20 de ellos, de los cuales 19 comenzarían el estudio y 15 de ellos lo finalizarían (figura 21).

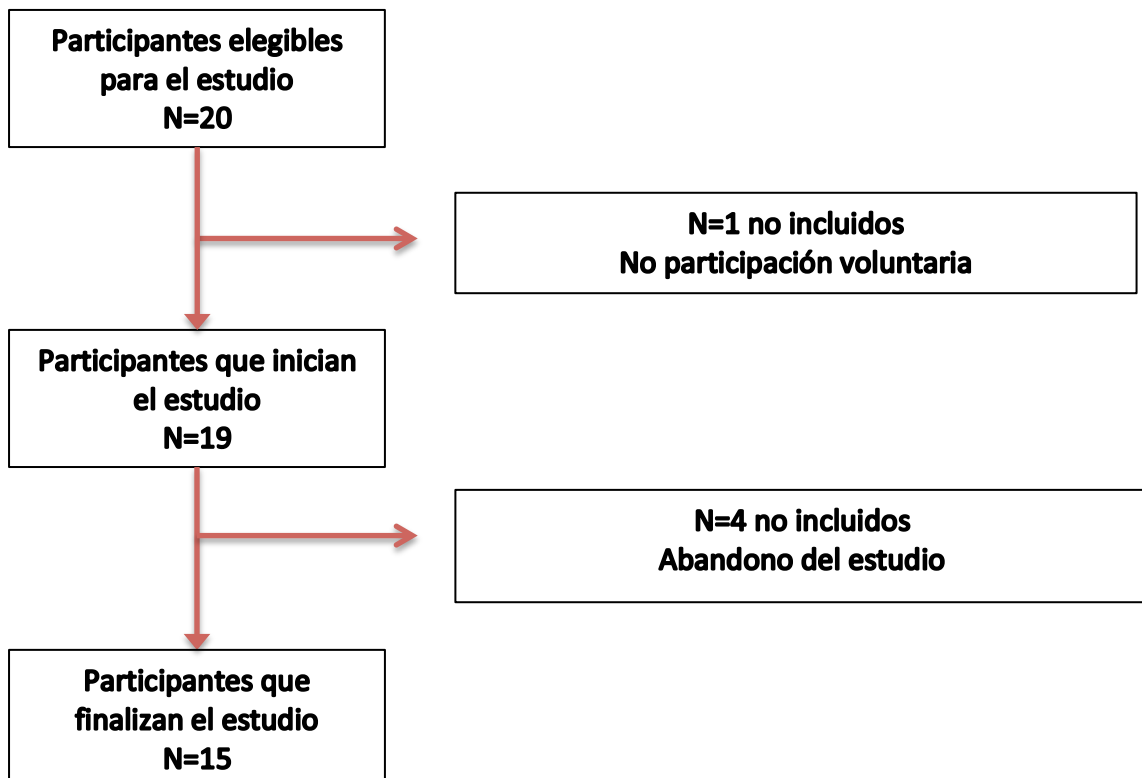


Figura 21.- Diagrama de flujo de la muestra (fuente propia)

Se evaluó a todos los pacientes en tres condiciones diferentes:

- I. Paciente con ambos ojos descansados (grupo 1), entendiendo por descanso no haber usado dispositivos LED durante un tiempo continuado en las horas previas al examen, sin uso de lentes de contacto (LC).
- II. Paciente expuesto a 3 horas de luz LED de forma continuada, sin uso de LC (grupo 2).
- III. Paciente expuesto a 3 horas de luz LED usando LC de hidrogel de silicona, diferenciando LC con filtro en ojo derecho (grupo 3) y LC sin filtro en ojo izquierdo (grupo 4).

Con el fin de evaluar la función visual de estos pacientes, se llevó a cabo la medida de la función de sensibilidad al contraste (FSC) con el test CSV 1000-E.

FUNCIÓN DE SENSIBILIDAD AL CONTRASTE (FSC)

La FSC se evaluó con el CSV 1000-E contrast test (Vector Vision). En cada una de las medidas, se situó al paciente a una distancia de 2,50 metros y se le explicó brevemente la prueba. Se utilizó un ocluser opaco para realizar la prueba de forma monocular y, a continuación, el paciente debía responder de acuerdo al contraste que era capaz de observar (enrejado). Cada frecuencia presenta 8 niveles de contraste, en cada uno de los cuales existe un enrejado de dos opciones posibles, de forma que, en cada nivel, la alternativa de elección forzada (número de respuestas que el examinado puede tomar) es de 3: arriba, abajo o no se aprecia en ninguno de los dos.

Esta prueba se realizó primero en condiciones fotópicas y, a continuación, en condiciones mesópicas, siempre con la misma iluminación ambiente.

Los resultados se tomaron por el mismo examinador en una hoja de recogida de datos proporcionada por el fabricante (Anexo 1), de forma que quedaría reflejado en cada nivel el máximo contraste que el paciente fue capaz de ver, formando la curva de SC (cpg vs. log₁₀SC). En dicha hoja, vienen reflejados los valores estándar para condiciones fotópicas en adultos.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó el análisis estadístico de la muestra con el programa de Excel®. Los valores absolutos de log₁₀SC fueron obtenidos para cada combinación de ojo y frecuencia espacial, y los resultados fueron expresados como la media con el error estándar de la media (EEM). Se realizó comparación de medias en muestras independientes con la prueba de t de Student.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Tras analizar la función de sensibilidad al contraste en cada una de las condiciones del estudio, los resultados promedio obtenidos fueron los expresados en las figuras 22-29, donde se representa la frecuencia espacial en el eje de abscisas frente al logaritmo de la SC en el eje de ordenadas. Las figuras 22-25 corresponden a La FSC en condiciones fotópicas, mientras que las figuras 26-29 corresponden a condiciones mesópicas.

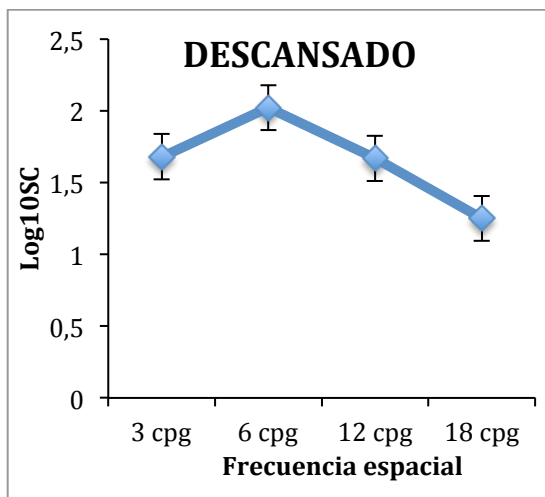


Figura 22.- FSC del grupo 1 (fuente propia)

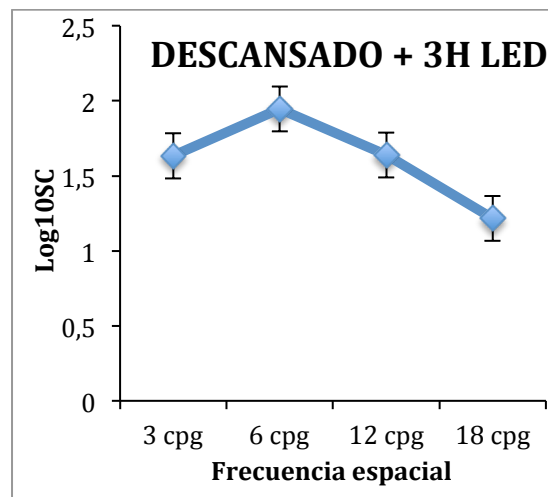


Figura23.- FSC del grupo 2 (fuente propia)

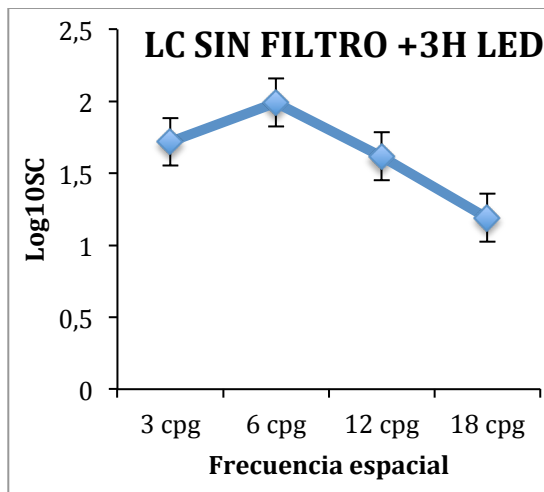


Figura24.- FSC del grupo 3(fuente propia)

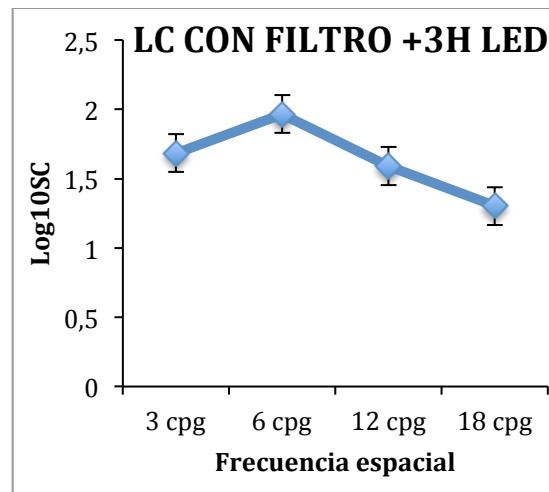


Figura25.- FSC del grupo 4 (fuente propia)

No se observaron diferencias estadísticamente significativas en la FSC entre los grupos en estudio medidas en condiciones fotópicas (figuras 22-25). Estos valores se encuentran dentro de los valores normales de SC para adultos según (León Álvarez et al., 2010; Pomerance y Evans, 1994).

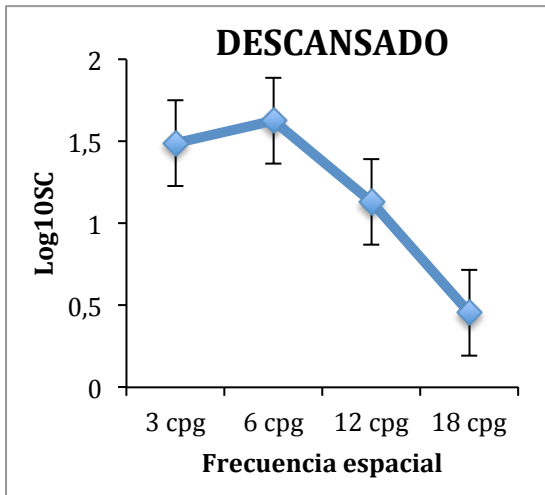


Figura26.- FSC del grupo 1 (fuente propia)

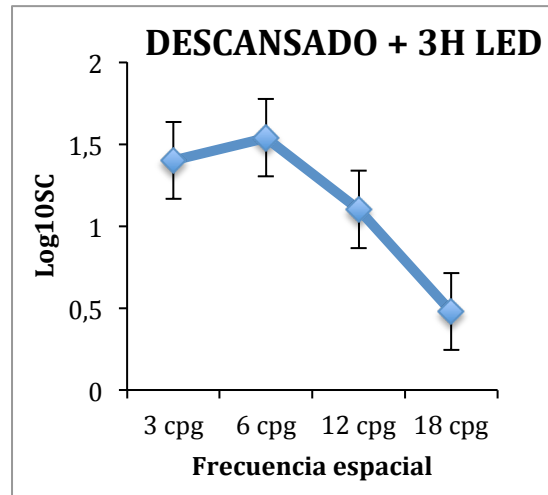


Figura27.-FSC del grupo 2 (fuente propia)

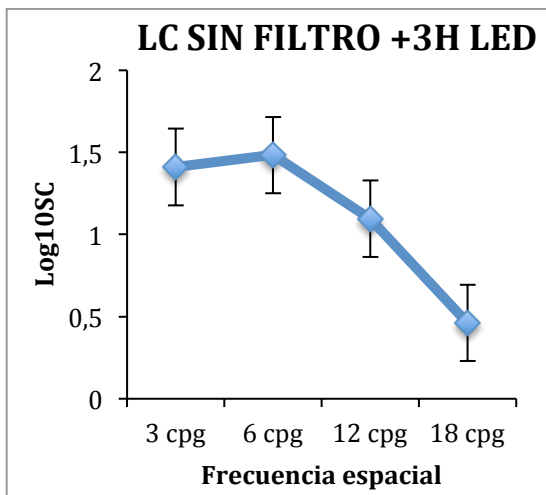


Figura28.- FSC del grupo 3 (fuente propia)

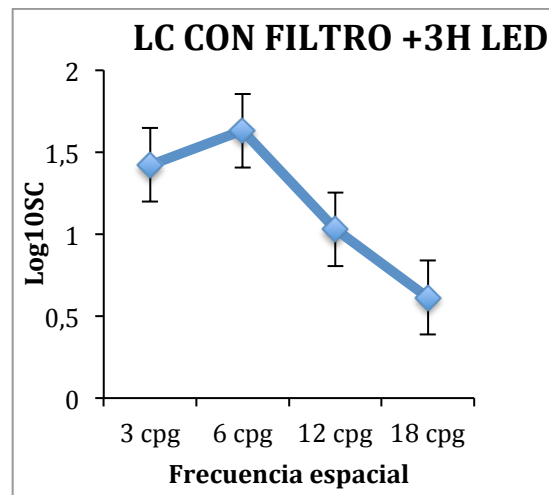


Figura29.- FSC del grupo 4 (fuente propia)

En cuanto a las condiciones mesópicas (figuras 26-29), la SC disminuye respecto a las condiciones fotópicas, especialmente en las frecuencias más altas, sin encontrar ninguna diferencia estadísticamente significativa en ninguno de los grupos.

La causa de este hecho parece girar en torno a la poca absorción de luz azul que produce el filtro utilizado, en la línea de lo que reflejaba uno de los últimos estudios en lentes oftálmicas, concluyendo que no se producen variaciones significativas de SC en casos de una absorbanza de luz azul menor al 30% (Wing Leung et al., 2017).

El motivo por el que la herramienta a utilizar haya sido la SC es que, si bien la AV es la herramienta más utilizada hoy en día en el gabinete para valorar el rendimiento visual, puede pasar por alto la presencia de alteraciones oculares, inclusive en aquellos casos donde la persona alcanza una AV 1,0. De hecho, si prestamos atención a la definición de AV, no es más que la medida de la capacidad del sistema visual para detectar, reconocer o resolver detalles espaciales, en un test de alto contraste y con un buen nivel de iluminación (Martin y Vecilla, 2011). Teniendo en cuenta esto, la vida real sólo en contadas ocasiones expone imágenes con alto contraste y un buen nivel de iluminación.

Estas dos variables que la AV obvia, las tiene en cuenta la SC, una gran olvidada en los exámenes visuales cuya definición dice lo siguiente: "capacidad de discriminar diferencias de iluminación entre áreas adyacentes, cuyo umbral se establece como la menor cantidad de contraste necesaria para lograr esta distinción" (López A, 2009).

Una persona con una mala AV, por tanto, no suele tener una buena SC. Sin embargo, una persona con una buena AV podría tener alterada la SC, de ahí que suponga una información muy valiosa, permitiendo incluso el diagnóstico y seguimiento de patologías tan frecuentes como una catarata o un glaucoma.

Para entender la importancia de este concepto a la hora de valorar el rendimiento visual, podemos aplicar estos dos conceptos a una tarea cotidiana como la conducción. Según el Real Decreto 1598/2004 del Reglamento General de Conductores, uno de los requisitos para ser apto para conducir es superar el examen visual, cuyo principal requisito es presentar una AV binocular de 0.5. Sin embargo, en cuanto a la SC, se habla de no presentar "alteraciones significativas". Ello hace que, en la práctica, se toman normalmente los valores de la AV fotópica como referencia del estado de la función visual, sin considerar que la conducción es una tarea habitual nocturna y diurna (Sánchez-Ramos, 2012).

De esta forma, una persona capaz de ver la matrícula de un coche (buena AV) pasaría el examen sin problema, pues se trata de una condición de alto contraste. Sin embargo, si esta persona presenta una alteración en la SC, podría no apreciar de forma adecuada una señal por deslumbramientos o no apreciar un peatón cruzando un paso de cebra, lo que podría llevarnos a un accidente. Por tanto, estamos valorando el rendimiento visual de una persona bajo condiciones artificiales, teniendo esto mayor repercusión de la que pensamos. En las dos siguientes figuras, podemos hacernos una idea de la visión de un conductor con la SC alterada (figura 31) respecto a una SC dentro de la normalidad (figura 30).



Figura 30.- Visión de un conductor con SC normal (fuente propia)

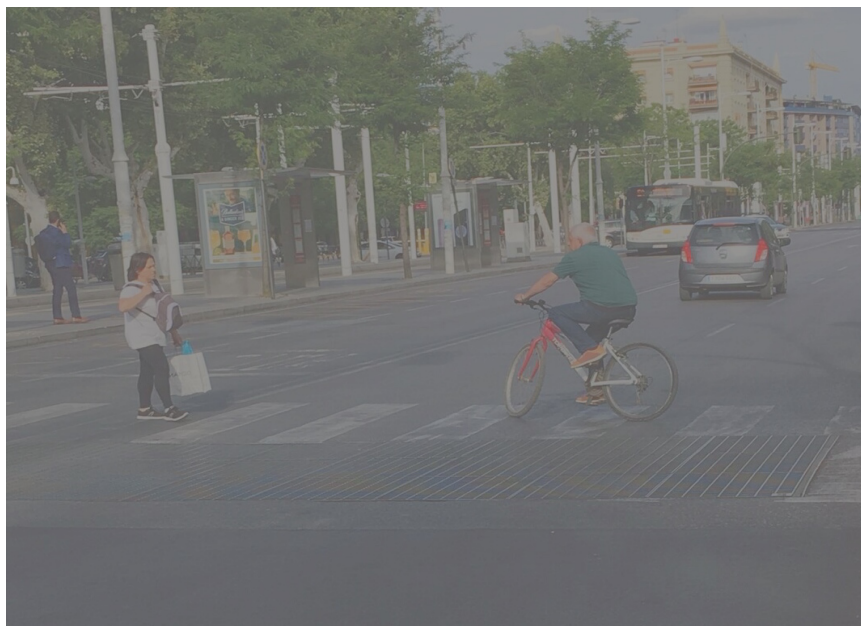


Figura 31.- Visión de un conducto con SC alterada (fuente propia)

El test utilizado para la medida de la SC (test CSV 1000-E) es muy útil a la hora de detectar grandes cambios en la SC pero, como consecuencia de la influencia del azar por el bajo número de posibles respuestas y la posibilidad de memorizar el test al ser algo repetitivo, su eficacia disminuye a la hora de detectar pequeñas variaciones, siendo importante de cara a futuras investigaciones el uso de test más calibrados como el de Pelli-Robson, que mide la AV del paciente utilizando diferentes niveles de contraste (Elliott et al., 1990).

En cuanto a los beneficios del uso de filtros, como hemos visto anteriormente, por el simple hecho de su alta radiación, la dispersión cromática hace que la imagen retiniana formada por la luz azul sea menos nítida que el resto de radiaciones del visible, generando los síntomas astenópicos asociados al síndrome visual informático (The Vision Council, 2015). Es, por dicha razón, que los filtros de luz azul van a eliminar parte de dichos síntomas, por lo que se deben recomendar en usuarios habituales de pantallas de visualización de datos, cuyo número está incrementando.

Si bien los beneficios a corto plazo de los filtros parecen obvios, no ocurre así con sus ventajas a largo plazo, ya que los efectos fototóxicos provocados por la luz azul han generado mucha controversia entre diferentes estudios. Si bien la gran mayoría (con algunas limitaciones (Arnault y Picaud, 2013)) tienen argumentos para demostrarlo, otros niegan la existencia de estudios de peso que confirmen dicha fototoxicidad (Martinsons, 2013). Esta controversia sugiere que la luz no es el factor más importante en el desarrollo de enfermedades como la DMAE, aunque pudiera participar en dicha fototoxicidad, de forma aislada o asociada a otros factores.

Los estudios que avalan el uso de estos filtros como consecuencia al uso creciente de dispositivos LED que acumulan gran cantidad de luz azul (Behar-Cohen et al., 2011) demostrarían la disminución de la muerte celular en el EPR gracias a dicha fotoprotección (Sparrow et al., 2003) y sus efectos principales en la fisiología retiniana incluirían, además de la apoptosis celular, elevada producción de ROS respecto a radiaciones de menor energía (Marie et al., 2018). Estos efectos parece que estarían mediados por la presencia del fluoróforo A2E, sin el cual la fototoxicidad sería de menor escala (Boulton et al., 2013). Este último estudio es el de mayor peso realizado hasta la fecha, siendo el único que ha sido capaz de dividir la luz en tramos de 10 nm, con el objetivo de identificar el tramo más peligroso para la retina. Sin embargo, este estudio fue realizado in vitro y obviando los mecanismos fisiológicos que protegen a nuestras células retinianas, por lo que sigue siendo necesaria una evidencia científica de mayor calidad. Además, ningún estudio ha sido realizado en humanos, lo que hace ser prudente respecto a afirmar que la luz azul es responsable de patologías retinianas.

Con lo expuesto anteriormente, independientemente de la mayor o menor relevancia de la luz azul en la patogenia de enfermedades retinianas, parece que debe de ser, al menos, un factor de riesgo, por lo que una ayuda visual de este tipo va a ser relevante.

A la hora de adaptar un filtro, el factor clave parece estar en el porcentaje de luz azul del que debemos protegernos y el máximo de absorción de los filtros a utilizar.

Como se puede observar en la figura 32, parece ser que la luz azul-violeta (410-450 nm) sería la responsable de los efectos fototóxicos, por lo que sería importante investigar qué porcentaje de dicha luz sería conveniente eliminar de la radiación que alcanza la retina.

Por otro lado, es importante que la absorción de dicha radiación no sea completa ya que podríamos influir sobre algunos beneficios de dicha radiación (en concreto, del tramo de luz azul-turquesa), que no solo está implicada en los ritmos circadianos biológicos mediados por la melanopsina (máximo de absorción de 485nm) (Hattar et al., 2003; Lawrenson et al., 2017; Tanito et al., 2018), sino también es muy importante en la visión escotópica (Girard, 2013) el estado de ánimo y de alerta así como en la función cognitiva (Tosini et al., 2016) e incluso se ha llegado a estudiar su implicación en la prevención de la miopía (Torii et al., 2016). Además, podría afectar a propiedades tan importantes como la visión del color, si se bloquea una longitud de onda mayor a 450 nm (Viénot, 2013).

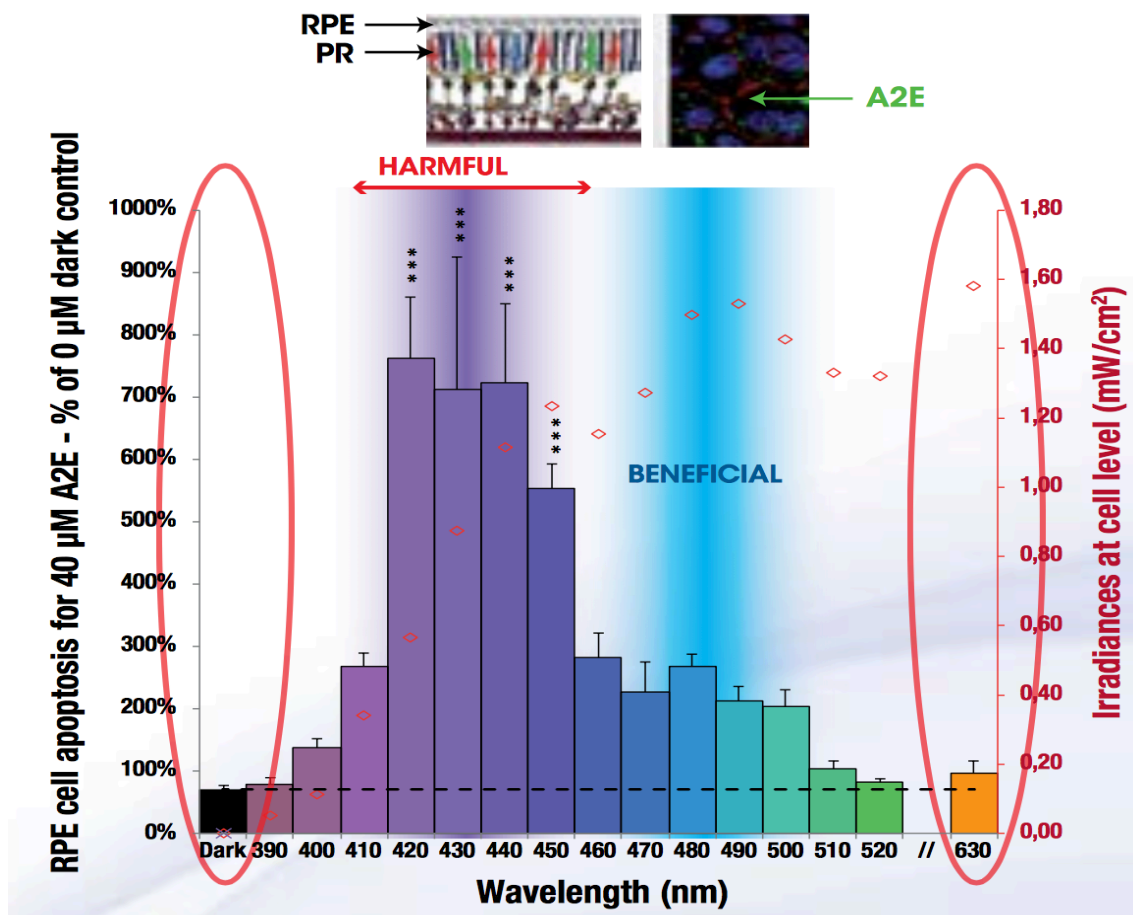


Figura32.- Apoptosis celular mediada por el fluoróforo A2E en función de la longitud de onda (Boulton et al., 2013)

De acuerdo a la figura anterior, un filtro ideal podría ser aquel cuyo espectro de transmitancia incluya un porcentaje alto de radiación por encima de 450 nm y excluya un elevado porcentaje de radiación por debajo de 450nm, en la línea de los filtros estudiados por (Wing Leung et al., 2017). Se trata de encontrar el equilibrio entre fototoxicidad y fotorrecepción, es decir, eliminar la parte suficiente de la luz que está siendo nociva para la retina, sin alterar funciones fisiológicas esenciales.

Por otro lado, es cierto que nuestro sistema visual se protege frente a las radiaciones ultravioletas y, con el envejecimiento, la protección va a ser mayor. De hecho, las estructuras oculares de una persona evolucionan con el objetivo de protegernos de dichas radiaciones, como es el claro ejemplo del amarilleamiento del cristalino. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la mayor parte de la exposición de radiaciones UV que recibe el sistema visual de una persona se produce antes de los 18 años (OMS, 2003).

Sin embargo, si bien hemos demostrado que hay mecanismos fisiológicos que nos protegen de la luz azul, se ha visto que gran parte de dicha radiación alcanza la retina, de forma que los filtros van a ser una gran ayuda. Un aspecto importante a tener en cuenta son los tres mecanismos fisiológicos de los que hemos hablado: el cristalino (mayor protección a mayor edad), pigmento macular (menor protección a mayor edad) y la distribución de los conos S en la retina. En la siguiente figura, se puede observar el tramo de luz azul capaz de ser absorbido por las dos primeras estructuras.

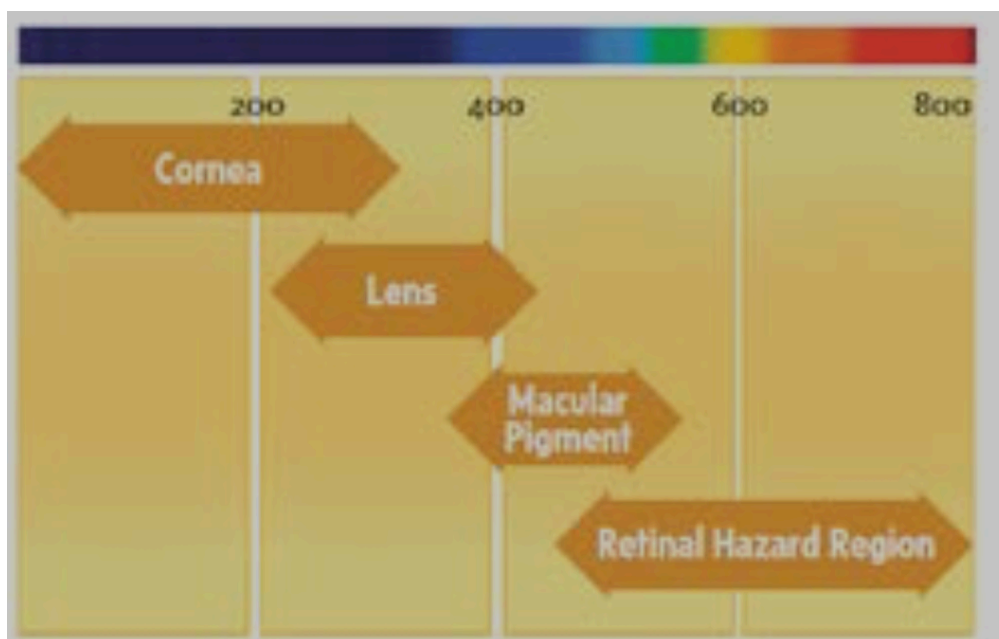


Figura33.- Capacidad de absorción de las diferentes estructuras oculares (Andre et al., 2011)

Otras medidas artificiales más novedosas serían las dietéticas en relación a aumentar el pigmento macular (Stringham et al., 2017) y los filtros adaptados a los dispositivos LED, cuya eficacia está aún por demostrar (OCU, 2014).

Nuestra sociedad va dirigida a una vida rodeada de luz azul, por lo que futuras Investigaciones se hacen necesarias, no solo en LIOs, donde evidentemente la importancia es mayor dada la ausencia de la principal protección: el cristalino, sino también en lentes oftálmicas y LC, principalmente en edades jóvenes en las que se recibe el mayor porcentaje de radiaciones nocivas. Es un aspecto sobre el que se debe investigar, dado el posible efecto de la luz azul sobre la aparición de patologías de enorme importancia como la DMAE, cuya prevalencia ha aumentado considerablemente y que parece que aumentarán en nuestro día a día de manera exponencial, dadas las mejoras sanitarias que han llevado a un aumento en la esperanza de vida media.

Por lo que sabemos, este es un estudio con escasos precedentes hasta la fecha en lentes de contacto en pacientes sanos, donde solo se han realizado algunos estudios de poco peso en lentes tintadas. Por ello, este debe ser un punto de inflexión de cara a futuras investigaciones, con el objetivo de mejorar la efectividad de los filtros en lentes de contacto y lentes oftálmicas, donde la escasez de investigaciones en referencia a su influencia sobre el rendimiento visual de personas sanas es obvia. Los beneficios de los filtros, a falta de estudios de mayor peso, parecen bien encaminados pero las posibles pérdidas visuales como consecuencia de su uso, siguen siendo una incógnita.

CONCLUSIONES

Los filtros selectivos de luz azul usados en LC parece que no alteran el rendimiento visual en términos de SC, tanto en condiciones fotópicas como mesópicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad KM, Klug K, Herr S, Sterling P, Schein S. Cell density ratios in a foveal patch in macaque retina. *Vis Neurosci*. 2003;20:189–209.
- Andonegui J. Ocular manifestations of systemic diseases. *An Sist Sanit Navar*. 2008;31(2).
- Andre B, Bergmanson J, Butler JJ, Chou BR, Coroneo MT, Crowley E, et al. The eye and solar ultraviolet radiation: new understandings of the hazards, costs and prevention of morbidity. Report of a roundtable. Salt Lake City: Essilor; 2011.
- Arnault E, Picaud S. New discoveries and therapies in retinal phototoxicity. *Points Vue - Int Rev Ophthalmic Opt*. 2013;68.
- Artigas Verde JM, Felipe Marcet A, Navea A, Fandino A, Artigas C, Diez-ajenjo A. Age-induced change in the color of the human crystalline lens. *Acta Ophthalmol*. 2011;89(248).
- Arunkumar R, Calvo CM, Conrady CD, Bernstein PS. What do we know about the macular pigment in AMD: the past, the present, and the future. *Eye* 2018;32(5):992–1004.
- Aznar Casanova JA. La consciencia: la interfaz polinómica de la subjetividad. *Psicología de la percepción Visual*. 1a ed. Madrid: Pirámide; 2017.
- Baehr W. Membrane Protein Transport in Photoreceptors: The Function of PDE δ . *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2014;55(5):8653–66.
- Behar-Cohen F, Martinsons C, Viénot F, Zissis G, Barlier-Salsi A, Cesarini JP, et al. Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye? *Prog Retin Eye Res*. 2011;30(4):239–57.
- Bok D. The retinal pigment epithelium: a versatile partner in vision. *J Cell Sci Suppl* 1993;17:189–95.
- Borish I. *Nutrición y desarrollo visual*. 3ª ed. Oxford: Butterworth-Heinemann; 1975.
- Boulton ME, Brainard GC, Jones Wi, Karpecki P, Melton R, Thomas R. Blue Light Hazard: New Knowledge, New Approaches to Maintaining Ocular Health. Report of a roundtable. New York City: Essilor; 2013.
- Cantalejo JJ. Prescripción de filtros: procedimientos de observación sistemática y proceso de toma de decisiones. Integración. *Rev Sobre Ceguera y Defic Vis*. 2001;37:26–34.
- Cardinali DP. *Neurociencia aplicada: sus fundamentos*. 1ª ed. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2007.
- Carracedo Rodríguez JG, Carballo Álvarez J, Loma Serrano E, Felipe Márquez G, Cacho I. Contrast sensitivity evaluation with filter contact lenses in patients with retinitis pigmentosa: a pilot study. *Journal of Optometry*. 2011;4(4): 134-9.
- Casiday R, Frey R. “I Have Seen the Light!” Vision and Light-Induced Molecular. Changes Spectroscopy and Quantum Chemistry Experiment. Department of Chemistry, Washington University, St. Louis, Missouri :2000. [Consultado en abril 2018]. Disponible en: <http://www.chemistry.wustl.edu/~edudev/LabTutorials/Vision/Vision.html>
- Catalá M, Castany A. Pruebas electrofisiológicas: qué, cuándo, cómo y porqué. *Ann d’Oftalmologia*. 2005;13(1): 8–29.
- Chen Y, Lan W, Schaeffel F. Size of the foveal blue scotoma related to the shape of the foveal pit but not to macular pigment. *Vision Res*. 2015;106(1):81–9.
- Colombo L, Melardi E, Ferri P, Montesano G, Samir Attaalla S, Patelli F, et al. Visual function improvement using photocromic and selective blue-violet light filtering spectacle lenses in patients affected by retinal diseases. *BMC Ophthalmol*. 2017;17(1): 149.
- Cruickshanks KJ, Klein R, Klein BE. Sunlight and the 5-year incidence of early age-related maculopathy: the Beaver Dam Eye Study. *Arch Ophthalmol*. 2001;119:246–50.

- Cuenca Navarro N. Los fotorreceptores, esas fascinantes células. Departamento de Fisiología, Genética y Microbiología, Universidad de Alicante:2009. [Consultado en abril 2018]. Disponible en: <http://www.sebbm.es/web/es/divulgacion/rincon-profesor-ciencias/articulos-divulgacion-cientifica/157-los-fotorreceptores-esas-fascinantes-celulas>
- Dacey DM, Liao H, Peterson B, Robinson F, Smith VC, Pokorny J. Melanopsin-expressing ganglion cells in primate retina signal color and irradiance and project to the LGN. *Nature*. 2005;433:749–754.
- Delori FC, Goger DG, Dorey CK. Age-related accumulation and spatial distribution of lipofuscin in RPE of normal subjects. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2001;42(8):1855–66.
- Derrington AM, Krauskopf J, Lennie P. Chromatic mechanisms in lateral geniculate nucleus of macaque. *J Physiol*. 1984;375:241–65.
- Devries SH. Bipolar cells use kainate and AMPA receptors to filter visual information into separate channels. *Neuron*. 2000;28:843–56.
- Dingcai C, Barrionuevo PA. The importance of intrinsically photosensitive retinal ganglion cells and implications for lighting design. *J Solid State Light*. 2015;2:10
- Dogiel AS. Die Neuroglia in der Retina des Menschen. *Arch f Mikrosk Anat*. 1893;41(1):612–23.
- Dornonville de la Cour M. Ion transport in the retinal pigment epithelium. A study with double barrelled ion-selective microelectrodes. *Acta Ophthalmol Suppl*. 1993;(209): 1–32.
- Edwards KH, Gibson GA. Intraocular lens short wavelength light filtering. *Clin Exp Optom*. 2010;93(6):390–9.
- Elliott DB, Sanderson K, Conkey A. The reliability of the Pelli-Robson contrast sensitivity chart. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1990;10 (1):21–4.
- Enroth-Cugell C, Robson J. The contrast sensitivity of retinal ganglion cells of the cat. *The Journal Physiol*. 1966;187 (3):517–52.
- Espíndola RF, Santhiago MR, Kara-Júnior N. Effect of aspherical and yellow tinted intraocular lens on blue-on-yellow perimetry. *Arq Bras Oftalmol*. 2012;74(5):316–9.
- de Fez MD, Luque MJ, Viqueira V. Enhancement of contrast sensitivity and losses of chromatic discrimination with tinted lenses. *Optom Vis Sci*. 2002;79(9):590–7.
- Finnemann SC. Focal adhesion kinase signaling promotes phagocytosis of integrin-bound photoreceptors. *EMBO J*. 2003;22:4143–54.
- Gaillard ER, Zheng L, Merriam JC. Age-related changes in the absorption characteristics of the primate lens. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2000;41(6):1454–9.
- Girard B. Photosensitivity and blue light. *Points Vue - Int Rev Ophthalmic Opt* 2013;68.
- Girotti AW, Kriska T. Role of lipid hydroperoxides in photo-oxidative stress signaling. *Antioxid Redox Signal*. 2004;6 (2):301–10.
- Graham DM, Wong KY. Melanopsin-expressing, Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells (ipRGCs). En: Kolb H, Fernandez E, Nelson R, editores. *Webvision: The Organization of the Retina and Visual System [Internet];2008*.
- Guyton A, Hall JE. *Tratado de Fisiología Médica*. 12ªed. España: Elsevier;2011.
- Hamann S. Molecular mechanisms of water transport in the eye. *Int Rev Cytol*. 2002;2215:395–431.
- Hartline HK. The response of single optic nerve fibers of the vertebrate eye to illumination of the retina. *Am J Physiol*. 1938;121:400–15.
- Hattar S, Lucas RJ, Mrosovsky N. Melanopsin and rod-cone photoreceptive systems account for all major accessory visual functions in mice. *Nature*. 2003;424:76–81.
- Hernández Lloreda MJ. Mecanismos de detección del contraste cromático y de luminancia en el sistema visual humano. *An Psicol*. 2001;17:219–33.
- Hood BD, Garner B, Truscott RJW. Human lens coloration and aging. *J Biol Chem*. 1999;274(46):32547–50.
- Hubel DH, Wiesel TN. Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *J Physiol*. 1962;160(1):106–54.

- Jaadane I, Villalpando Rodriguez GE, Boulenguez P, Chahory S, Carré S, Savoldelli M, et al. Effects of white light-emitting diode (LED) exposure on retinal pigment epithelium in vivo. *J Cell Mol Med*. 2017;21(12):3453–66.
- Kaneko A. Receptive field organization of bipolar and amacrine cells in the goldfish retina. *J Physiol*. 1973;235:133–153.
- Kara-Junior N, Espindola RF, Gomes BA, Ventura B, Smadja D, Santhiago MR. Effects of blue light-filtering intraocular lenses on the macula, contrast sensitivity, and color vision after a long-term follow-up. *J Cataract Refract Surg*. 2011;37(12):2115–9.
- Kaylor JJ, Xu T, Ingram NT, Tsan A, Hakobyan H, Fain G, et al. Blue light regenerates functional visual pigments in mammals through a retinyl-phospholipid intermediate. *Nat Commun*. 2017;8(1):16.
- Kessel L, Lundeman JH, Herbst K. Age-related changes in the transmission properties of the human lens and their relevance to circadian entrainment. *J Cataract Refract Surg*. 2010;36(2):308–12.
- Kiser AK, Deschler EK, Dagnelie G. Visual function and performance with blue-light blocking filters in age-related macular degeneration. *Clin Exp Ophthalmol* 2008;36:514–20.
- Kofuji P, Li W, Prusky GT, Hattar S. A role for melanopsin in alpha retinal ganglion cells and contrast detection. *Neuron* 2014;82(4):781–8.
- Kuffler SW. Discharge patterns and functional organization of mammalian retina. *J Neurophysiol*. 1953;16:37–8.
- Kukkonen H, Rovamo J, Tiippana K, Näsänen R. Michelson contrast, RMS contrast and energy of various spatial stimuli at threshold. *Vis Res*. 1993;33(10):1431–6.
- Lamb LE, Simon JD. A2E: a component of ocular lipofuscin. *Photochem Photobiol*. 2004;79(2):127–36.
- Landers J, Tan TH, Yuen J, Liu H. Comparison of visual function following implantation of Acrysof Natural intraocular lenses with conventional intraocular lenses. *Clin Exp Ophthalmol*. 2007;35(2):152–159.
- Lawrenson JG, Hull CC, Downie L. The effect of blue-light blocking spectacle lenses on visual performance, macular health and the sleep-wake cycle: a systematic review of the literature. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2017;37(6):644–54.
- Lee-Rivera I, López-Colomé AM. Relación de la estructura de los receptores NMDA con su función en la retina. *Rev Espec En Ciencias Químico-Biológicas*. 2005;8(2):71–81.
- León Álvarez A, Estrada Álvarez, Jorge Mario del Pilar Quiroz DQ, Marcela Bedoya D. Fiabilidad del CSV 1000 para evaluar la función de sensibilidad al contraste en infantes entre los siete y diez años. *Cienc Tecnol Para La Salud Vis y Ocul*. 2010;8(1):19–28.
- Lerman S. *Radiant Energy and the Eye*. 1ª ed. Michigan: Macmillan; 1980.
- Lledó Riquelme M, Campos Mollo E, Cuenca N. La transducción visual. *Ann d'Oftalmologia*. 2010;18(3):130–6.
- López Y. Importancia de la valoración de sensibilidad al contraste en la práctica optométrica. *Cienc y Tecnol Para La Salud Vis y Ocul*. 2009;7(2):99–114.
- Lund DJ, Marshal J, Melleri J. A computerized approach to transmission and absorption characteristics of the human eye. CIE 203, 2012. [Consultado en mayo 2018]. Disponible en: <http://www.cie.co.at/publications/computerized-approach-transmission-and-absorption-characteristics-human-eye>
- Margrain TH, Boulton M, Marshall J, Sliney DH. Do blue light filters confer protection against age-related macular degeneration? *Prog Retin Eye Res*. 2004;23:523–31.
- Marie M, Bigot K, Angebault C, Barrau C, Gondouin P, Pagan D, et al. Light action spectrum on oxidative stress and mitochondrial damage in A2E-loaded retinal pigment epithelium cells. *Cell Death Dis* 2018;9(3):287.
- Martin R, Vecilla G. *Manual de Optometría*. 1ª ed. Madrid: Médica Panamericana; 2011.

- Martinsons C. Light Emitting Diodes (LEDs) and the Blue Light Risk. *Points Vue - Int Rev Ophthalmic Opt* 2013;68.
- Mercola J. ¿Cómo las Luces LED Podrían Poner en Riesgo Su Salud? 2017. [Consultado en mayo 2018]. Disponible en: articulos.mercola.com/sitios/articulos/archivo/2017/04/20/luz-infrarroja-cercana.aspx
- Montes-Micó R. Comparación de la sensibilidad al contraste y la visión del color en pacientes implantados con lentes intraoculares con y sin filtro amarillo. *La Gac Óptica*. 2006;405:10–3.
- Morgans CW, Zhang J, Jeffrey BG, Nelson SM, Burke NS, Duvoisin RM, et al. TRPM1 is required for the depolarizing light response in retinal ON-bipolar cells. *Proc Natl Acad Sci*. 2009;106(45):19174–8.
- Muftuoglu O, Karel F, Duman R. Effect of a yellow intraocular lens on scotopic vision, glare disability, and blue color perception. *J Cataract Refract Surg*. 2007;33(4):658–66.
- Nelson R, Connaughton V. Bipolar Cell Pathways in the Vertebrate Retina. *Webvision-Organ Retin. Vis. Syst.* [Internet]; 2007.
- Nielsen Holdings plc. *The Nielsen Total Audience Report*. New York City: Nielsen; 2016.
- Norton TT, Casagrande VA, Irvin GE, Sesma MA, Petry HM. Contrast sensitivity function of W-, X- e Ylike relay cells in lateral geniculate nucleus of bush baby (*Galago crassicaudatus*). *J Neurophysiol*. 1988;59:1639–56.
- OCU. Filtros Reticare, no hay nada demostrado. 2014. [Consultado en mayo 2018]. Disponible en: <https://www.ocu.org/salud/bienestar-prevencion/informe/reticare>
- Organización Mundial de la Salud. *Los niños son quienes más sufren los efectos del agotamiento de la capa de ozono*. Ginebra y París: OMS;2003.
- Osorio CM. Análisis comparativo de pre-factibilidad técnica y económica del LED en el alumbrado público conforme a RETILAP. Universidad Pontificia Bolivariana: 2015. [Consultado en mayo 2018]. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/2451/Trabajo%20de%20Grado-Mishelle%20Osorio%20Rodr%C3%ADguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Paillé D. Impact of new digital technologies on posture. *Science*. 2015;72.
- Pang JJ, Gao F, Wu SM. Light-evoked current responses in rod bipolar cells, cone depolarizing bipolar cells and All amacrine cells in dark-adapted mouse retina. *J Physiol*. 2004;559:123–135.
- Plou Campo P. Bases fisiológicas del entrenamiento visual. *Visión y Deporte*. *Apunts*. 2007;88:62–74.
- Pomerance GN, Evans DW. Test-retest reliability of the CSV-1000 contrast test and its relationship to glaucoma therapy. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1994;35(9):3357–61.
- Ramón y Cajal S. *La retina de los vertebrados*. La cellule. 1892;9
- Reme CE. The dark side of light: rhodopsin and the silent death of vision the proctor lecture. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2005;46:2671–82.
- National Toxicology Program. *Review of UV Radiation, Broad Spectrum and UVA, UVB, and UVC*. Durham: NTP; 2002.
- Rodríguez-Galietero, Antonio Montés-Micó R, Muñoz G, Albarrán-Diego C. Blue-light filtering intraocular lens in patients with diabetes: Contrast sensitivity and chromatic discrimination. *J Cataract Refract Surg*. 2005;31(11):2088–92.
- Romano G, Mercatelli L, Fusi F, Guasti A, Favuzza E, Monici M, et al. Colorimetric comparison of light-filtering intraocular lenses and human crystalline lenses at various ages. *J Cataract Refract Surg* 2011;37(4):758–62.
- Roorda A, Williams DR. The arrangement of the three cone classes in the living human eye. *Nature* 1999;397(6719):520–2.
- Rózanowska M, Sarna T. Light-induced damage to the retina: role of rhodopsin chromophore revisited. *Photochem Photobiol*. 2005;81(6):1305-30.

- Sánchez-Ramos C. Correlación entre las agudezas visuales fotópica y mesópica en función del contraste de los optotipos, en el ámbito de la exploración de conductores. Madrid: Alta Eficacia Tecnológica;2012.
- Sánchez-Ramos C. Filtros ópticos contra el efecto fototóxico del espectro visible en la retina: experimentación animal. Universidad Europea de Madrid:2010. [Consultado en febrero 2018]. Disponible en: <http://www.celiasanchezramos.com/archivos/investigacion/segunda-tesis-CeliaSanchezRamosRoda.pdf>
- Sánchez-Waisen F. Desarrollos terapéuticos actuales para la Degeneración macular seca. 2016. [Consultado en mayo 2018]. Disponible en: <http://www.qvision.es/blogs/francisco-sanchez-waisen/2016/01/11/desarrollos-terapeuticos-actuales-para-la-degeneracion-macular-seca-1/>
- Schmack I, Schimpf M, Stolzenberg A, Conrad-Hengerer I, Hengerer FH, Dick HB. Visual quality assessment in patients with orange-tinted blue light-filtering and clear ultraviolet light-filtering intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg.* 2012;38 (5):823–32.
- Schmidinger G, Menapace R, Pieh S. Intraindividual comparison of color contrast sensitivity in patients with clear and blue-light-filtering intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34 (5):769–73.
- Schürer M, Walter A, Brünner H, Langenbucher A. Effect of transparent yellow and orange colored contact lenses on color discrimination in the yellow color range. *Ophthalmologe.* 2015;112 (8):670–8.
- Schwartz EA. Responses of single rods in the retina of the turtle. *J Physiol.* 1973;232:503–14.
- Sekuler R, Hutman L. Spatial vision and aging: contrast sensitivity. *J Gerontol.* 1980;35:692–9.
- Servilens. Lens 55 servilens: lentes de contacto. Granada: 2018 [Consultado en mayo 2018]. Disponible en: <https://www.lens55.com>.
- Sheedy J ERF. Ultraviolet eye radiation: the problem and solutions. *J Long Term Eff Med Implant.* 2004;14(1):67–71.
- Sivak JG, Mandelman T. Chromatic dispersion of the ocular media. *Vision Res.* 1982;22(8):997–1003.
- Snellman J, Kaur T, Shen Y, Nawy S. Regulation of ON Bipolar Cell Activity. *Prog Retin Eye Res.* 2008;27(4):450–63.
- Sparrow JR, Fishkin N, Zhou J. A2E, a byproduct of the visual cycle. *Vis Res.* 2003;43(28):2983–90.
- Strauss O. The Retinal Pigment Epithelium in Visual Function. *Physiol Rev.* 2005;85(3):845–81.
- Streilein JW, Ma N, Wenkel H, Ng TF, Zamiri P. Immunobiology and privilege of neuronal retina and pigment epithelium transplants. *Vis Res* 2002;42:487–95.
- Strettoi E, Masland RH. The organization of the inner nuclear layer of the rabbit retina. *J Neurosci.* 1995;1(2):875–88.
- Stringham JM, Stringham NT, O'Brien KJ. Macular Carotenoid Supplementation Improves Visual Performance, Sleep Quality, and Adverse Physical Symptoms in Those with High Screen Time Exposure. *Foods* 2017;6(7):47.
- Susin D. Lentes de contacto. 2007. [Consultado en junio2018]. Diponible en: <http://www.doctorsusin.com/lentescontacto.htm>.
- Tanito M, Sano I, Okuno T, Ishiba Y, Ohira A. Estimations of Retinal Blue-Light Irradiance Values and Melatonin Suppression Indices Through Clear and Yellow-Tinted Intraocular Lenses. *Adv Exp Med Biol.* 2018;1074:53–60.
- The Vision Council. Digital Eye Strain Report. Alexandria: The Vision Council; 2015.
- Thebault S. El Epitelio pigmentario retiniano como componente de la barrera hemato-retiniana: implicación en la retinopatía diabética. *Rev Digit Univ.* 2011;12 (3):1067–6079.
- Thoreson WB, Witkovsky P. Glutamate receptors and circuits in the vertebrate retina. *Prog Retin Eye Res.* 1999;18:765–810.
- Tomany SC, Cruickshanks KJ, Klein R. Sunlight and the 10-year incidence of age-related maculopathy: the Beaver Dam Eye Study. *Arch Ophthalmol.* 2004;122:750–7.

- Torii H, Kurihara T, Seko Y, Negishi K, Ohnuma K, Inaba T, et al. Violet Light Exposure Can Be a Preventive Strategy Against Myopia Progression. *Ebiomedicine*. 2016;15:210–9.
- Tosini G, Ferguson I, Tsubota K. Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. *Mol Vis*. 2016;22:61–72.
- Trieschmann M, van Kuijk FJ, Alexande R, Hermans P, Luthert P, Bird AC, et al. Macular pigment in the human retina: histological evaluation of localization and distribution. *Eye*. 2008;22:132–7.
- Urtubia Vlcario C. Fisiología de la retina III. Mensaje visual en la segunda sinapsis: las células ganglionares. *Ver y oír*. 2006; 23 (207): 357–64.
- Urtubia Vlcario C. Fisiología de la retina II. Mensaje visual en la segunda sinapsis: células amacrinas. *Ver y oír*. 2005; 22 (194): 172–82.
- Urtubia Vlcario C. Fisiología de la retina(I). El mensaje visual en la primera sinapsis. *Ver y oír*. 2004; 21 (186): 286-95
- De Valois R. Behavioral and electrophysiological studies of primate vision. *Contrib to Sens Percept*. 1965;1:137–78.
- Vectorvision. CSV-1000 Trials. Greenville: 1991. [Consultado en enero 2018]. Disponible en:<http://www.vectorvision.com/clinical-trials-csv1000/>.
- Vicente-Tejedor J, Marchena M, Ramírez L, García-Ayuso D, Gómez-Vicente V, Sánchez-Ramos C, et al. Removal of the blue component of light significantly decreases retinal damage after high intensity exposure. *PLoS One*. 2018; 13(3): e0194218
- Viénot F. Perception of blue and spectral filtering. *Points Vue - Int Rev Ophthalmic Opt* 2013;68.
- Villegas-Pérez MP. Light exposure, lipofuscin and age-related macular degeneration. *Arch Soc Esp Oftalmol* 2005;80(10).
- Wässle H, Boycott BB. Functional architecture of the mammalian retina. *Physiol Rev* 1991;71(2):447–80.
- Wässle H, Puller C, Müller F, Haverkamp S. Cone contacts, mosaics, and territories of bipolar cells in the mouse retina. *J Neurosci* 2009;29(1):106–17.
- Wenzel A, Grimm C, Samardzija M, Remé CE. Molecular mechanisms of light-induced photoreceptor apoptosis and neuroprotection for retinal degeneration. *Prog Retin Eye Res* 2005;24:275–306.
- Whitehead AJ, Mares JA, Danis R. Macular pigment: a review of current knowledge. *Arch Ophthalmol* 2006;124 (7):1038–45.
- Wing Leung T, Wing-hong Li R, Kee C. Blue-Light Filtering Spectacle Lenses: Optical and Clinical Performances. *PLoS One* 2017;2 (1): e0169114.
- Wolffsohn JS, Dinardo C, Vingrys AJ. Benefit of coloured lenses for age-related macular degeneration. *Ophthalmic Physiol Opt* 2002;22 (4):300–11.
- Woodhouse J. Practical applications of contrast sensitivity function. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1983;3 (3):311–4.
- Yap M. The effect of a yellow filter on contrast sensitivity. *Ophthal Physiol Opt* 1984;4:227–32.
- Yu J, Johnson EJ, Shang F. Measurement of macular pigment optical density in a healthy Chinese population sample. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53 (4):2106–11.
- Yuan Z, Reinach P, Yuan J. Contrast sensitivity and color vision with a yellow intraocular lens. *Am J Ophtalmol* 2004;138:138–40.
- Zhao H, Jiang J, Yu J, Xu H. Role of short-wavelength filtering lenses in delaying myopia progression and amelioration of asthenopia in juveniles. *Int J Ophthalmol* 2017;18 (10):8.
- Ziehl Rosas M, Mejía López U. EFECTO DE LOS FILTROS EN LA SENSIBILIDAD AL CONTRASTE EN PERSONAS SENILES CON CATARATA, EN LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES. Universidad Autónoma de Aguascalientes: 2002. [Consultado en mayo 2018]. Disponible en: <http://www.imagenoptica.com.mx/pdf/revista46/efecto.htm>

ANEXOS

1. HOJA DE RECOGIDA DE DATOS

CSV-1000 E
Contrast Sensitivity (ages 20 - 75)

VECTORVISION

8 ⊕
7 ⊕
6 ⊕
5 ⊕
4 ⊕
3 ⊕
2 ⊕
1 ⊕

8 ⊕
7 ⊕
6 ⊕
5 ⊕
4 ⊕
3 ⊕ } 20/40
2 ⊕ } 20/50
1 ⊕ } 20/70
⊕ } 20/100

X-OD
O-OS

⊕ Ages 20 - 55
⊕ Ages 56 - 75

Spatial Frequency (Cycles per Degree) ⊕

3 6 12 18

8 ⊕
7 ⊕
6 ⊕
5 ⊕
4 ⊕
3 ⊕
2 ⊕
1 ⊕

8 ⊕
7 ⊕
6 ⊕
5 ⊕
4 ⊕
3 ⊕
2 ⊕
1 ⊕

⊕

Patient Name _____ Age _____ Date _____

Functional Acuity OD _____ OS _____

Standard Acuity OD _____ OS _____

Comments _____

Form 1000E • © Copyright Vector Vision, Inc., 2010

2. CONSENTIMIENTO INFORMADO

Consentimiento informado para Lentes de Contacto



Establecimiento UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Óptico-optometrista

Paciente

INFORMACIÓN

Realizado el examen optométrico, se detecta:

MIOPÍA HIPERMETROPÍA ASTIGMATISMO OTROS

Para compensar mi defecto visual se me informa de que puedo utilizar lentes de contacto. También he sido informado de otras alternativas.

Se han realizado las pruebas oportunas para comprobar si mi estado ocular en este momento es satisfactorio para la adaptación de lentes de contacto.

Se me informa de que el uso de lentes de contacto, en general, tiene muchos beneficios pero no está exento de riesgos. Algunos usuarios, por un uso inadecuado, pueden desarrollar complicaciones que afecten a la calidad de la visión.

En el proceso de adaptación, es normal un ligero disconfort y ocasional la aparición de ojo rojo o las molestias a la luz. Estas sensaciones van desapareciendo a lo largo del proceso de adaptación.

La cooperación es imprescindible para el éxito de la adaptación. Para ello, recibiré toda la información precisa para una correcta manipulación y mantenimiento de las lentes de contacto.

Las revisiones periódicas son necesarias para la salud ocular. Su óptico-optometrista le indicará cuándo debe realizarlas según su caso particular pero, al menos, se realizará una vez al año.

Alargar el periodo de uso de las lentes de contacto más allá del recomendado por su óptico-optometrista puede ocasionarle problemas que afecten su calidad de visión.

En caso de interrumpir el uso de las lentes de contacto por más de seis meses, deberá iniciar de nuevo el proceso de adaptación bajo la supervisión de su óptico-optometrista.

Para conocer la sensibilidad al contraste mi óptico-optometrista me ha informado de que tengo que hacer una prueba que consiste en diferenciar determinados patrones de franjas. Esta prueba no conlleva ningún riesgo pero necesita cooperación por parte del paciente.

Mi óptico-optometrista, como profesional sanitario, me ha informado de forma satisfactoria sobre la naturaleza, ventajas, inconvenientes y posibles complicaciones de la adaptación de lentes de contacto. También he sido informado sobre otras alternativas para la compensación de mi alteración visual.

Mi óptico optometrista me ha informado de forma satisfactoria de los pasos que tengo que seguir para realizar el test de sensibilidad al contraste y me ha informado sobre la colaboración necesaria para hacer la prueba.

He comprendido toda la información que me ha proporcionado mi óptico-optometrista y he realizado todas las preguntas que consideraba oportunas.

Asumo la responsabilidad de asistir a las revisiones, así como de realizar el sistema de mantenimiento que mi óptico-optometrista me indique. Doy mi consentimiento de forma libre y voluntaria para que me realicen la adaptación de las lentes de contacto.

En _____ a _____ de _____ de 201

Paciente o responsable

Nombre:

Óptico-optometrista

DNI: