

Nuevos lentes solares con certificado de seguridad retiniana: análisis de la función visual mediante la valoración de agudeza visual y estereoscópica, discriminación del color y sensibilidad al contraste

New Sunglasses with Certification of Retinal Safety: Analysis of Visual Function by Assessing Visual and Stereoscopic Acuity, Color Discrimination and Contrast Sensitivity

CRISTINA BONNIN ARIAS^{*}
VICTORIA AGUIRRE VILACORO^{*}
EVA CHAMORRO GUTIÉRREZ^{*}
CELIA SÁNCHEZ RAMOS^{**}

RESUMEN

Objetivo: comparar el efecto sobre la función visual de los nuevos lentes solares con certificado de seguridad retiniana (CSR) y los lentes solares tradicionales. *Material y métodos:* fueron valoradas 36 personas (44 ± 14 años) de forma binocular y con la compensación óptica habitual. La diferencia fundamental entre los nuevos lentes CSR y los lentes solares tradicionales estriba en la absorbancia selectiva de las longitudes de onda corta. Los aspectos de la función visual evaluados fueron la agudeza visual logMAR (AV), la estereoagudeza (EA), la percepción del color y la función de sensibilidad al contraste (FSC). *Resultados:* los valores de AV logMAR y de EA con el filtro solar CSR son similares a los obtenidos sin filtro; sin embargo, con el filtro solar tradicional, ambas variables disminuyen significativamente. La discriminación del color disminuye con ambos filtros, pérdida que es muy superior con el filtro tradicional (45%) en comparación con el filtro CSR (5%). El filtro tradicional produce una drástica disminución de la FSC para todas las frecuencias espaciales en comparación con el nuevo filtro CSR. *Conclusiones:* en la actualidad resulta imprescindible proteger el sistema visual mediante filtros ópticos solares; por ello, se ha diseñado y desarrollado un nuevo filtro óptico que, manteniendo la protección solar, mejora la visibilidad y el confort, a la vez que optimiza la AV, la EA y la FSC y mantiene la percepción del color.

Palabras clave: filtros solares, sensibilidad al contraste, agudeza visual, estereoagudeza, percepción del color.

* Doctora en Ciencias de la Visión por la Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.

** Doctora en Medicina Preventiva y Salud Pública y doctora en Ciencias de la Visión por la Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.

Cómo citar este artículo: Bonnin Arias, C., Aguirre Vilacoro, V., Chamorro Gutiérrez, E. y Sánchez Ramos, C. (2015). Nuevos lentes solares con certificación de seguridad retiniana: análisis de la función visual mediante la valoración de agudeza visual y estereoscópica, discriminación del color y sensibilidad al contraste. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 13(1), 123-136.

ABSTRACT

Objective: To compare the effect of the new sunglasses with certification of retinal safety (RSC) and the traditional sunglasses on visual function. **Materials and methods:** Thirty-six (36) people were assessed (44 ± 14 years) by means of binocular assessment and the usual optical compensation. The sunglasses were characterized by means of the Humphrey spectrophotometer (Zeiss). The main difference between the new RSC sunglasses and traditional sunglasses is in the selective absorbance of short wavelengths, which reduces attenuation of the other bands to achieve a better sight and which maintains the protective effect. The visual function aspects assessed were logMAR visual acuity (VA), stereoacuity (SA), color perception and contrast sensitivity function (CSF). **Results:** The logMAR VA and SA values with the RSC solar filter are similar to those obtained without the filter; however, with the traditional sun filter, both variables decrease significantly. Color discrimination decreases with both filters, which is a far superior loss with the traditional filter (45%) compared to the RSC filter (5%). **Conclusions:** Due to the high level of light exposure, it is essential to protect the sight through solar optical filters; for this purpose, lenses that provide comfort, good visibility and protection for ocular tissues are necessary. Accordingly, a new optical filter has been designed and developed, which improves visibility and comfort while maintaining sun protection, and at the same time optimizes VA, SA and CSF and maintains color perception.

Keywords: solar filters, contrast sensitivity, visual acuity, stereoacuity, color perception.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se pone en evidencia la importancia de la calidad de los lentes solares en su doble vertiente: como elemento atenuador de la intensidad luminosa y como elemento selectivo del tipo de luz que filtran, en función de la incidencia en el sistema ocular y, en consecuencia, la formación de la imagen.

En la primera parte de este artículo se recuerdan de manera elemental tanto la composición espectral de la luz como los tipos de daños fototóxicos que pueden ser evitados con el uso adecuado de lentes ópticos solares con protección selectiva y atenuadora, como es el caso de los lentes con certificado de seguridad retiniana (CSR). Estos son utilizados aquí para demostrar que un lente adecuado puede proteger de forma óptica el sistema visual y mejorar de manera notable la visión en muchos de sus aspectos (agudeza visual, visión binocular, percepción del color y sensibilidad al contraste).

Como es sabido, se denomina *espectro electromagnético* a la distribución energética del conjunto de las ondas que se extienden desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma

y los rayos X, pasando por el ultravioleta, la luz “visible” y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como las ondas de radio. Concretamente, se denomina *luz visible* a la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir, que corresponde al rango de longitudes de onda comprendido entre 380 nm (longitud de onda corta) y 780 nm (longitud de onda larga). Cercanas al extremo de 380 nm se encuentran las radiaciones *ultravioleta*, y próximas a los 780 nm están las radiaciones *infrarrojas* (figura 1).

La energía electromagnética de una onda con determinada longitud de onda λ (en el vacío) tiene una frecuencia y una energía asociadas. Por lo tanto, las ondas electromagnéticas de alta frecuencia tienen una longitud de onda corta y mucha energía, mientras que las ondas de baja frecuencia tienen longitudes de onda larga y poca energía (figuras 2 y 3).

Noell (1966) demostró que la luz ultravioleta y azul (longitudes de onda corta del espectro visible) afecta negativamente a los ojos (retina), debido a que estas radiaciones poseen mayor energía que las de mayor longitud de onda. Así, clásicamente se han diferenciado tres tipos de lesiones producidas



FIGURA 1. Bandas del espectro visible

Fuente: Plataformas Educación Aragonesa (s. f.).

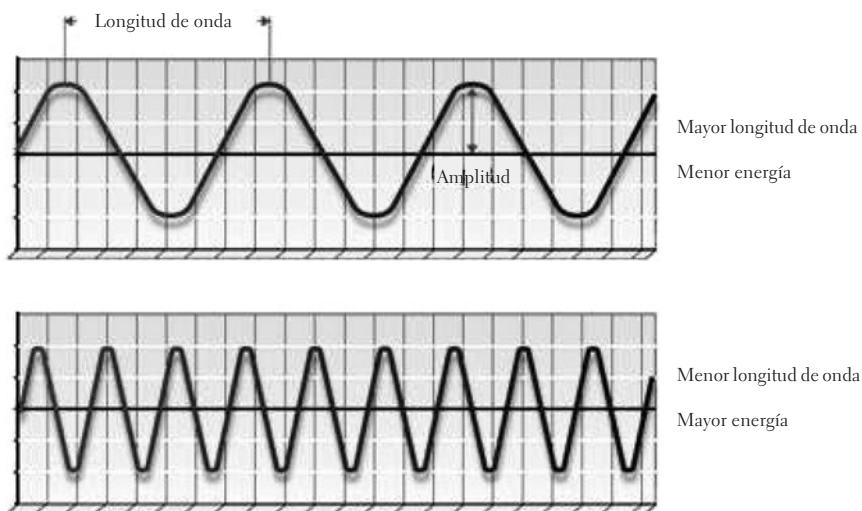


FIGURA 2. Diferencia entre radiaciones con longitudes de onda larga y corta, respectivamente

Fuente: Vila-Coro (2013).

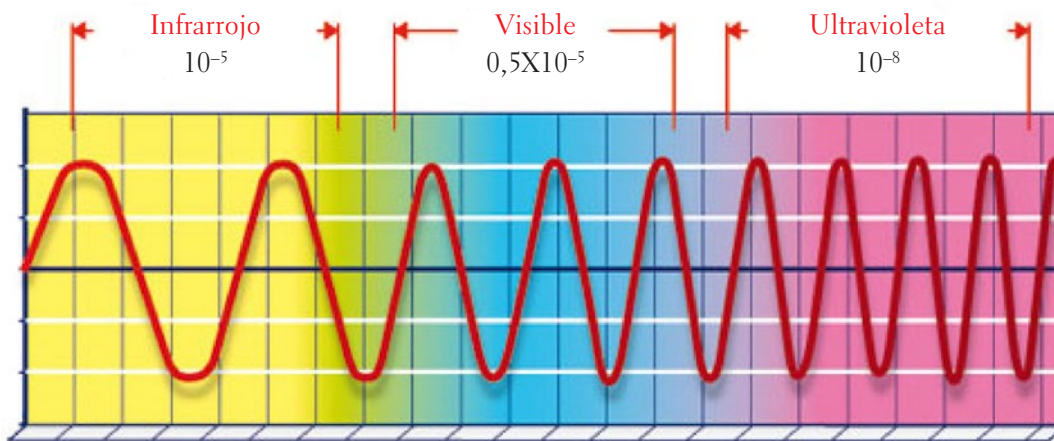


FIGURA 3. Longitudes de onda de radiaciones infrarrojas, visibles y ultravioletas

Fuente: Vila-Coro (2011).

por la luz: las fotomecánicas (efectos de choque de las ondas luminosas), las fototérmicas (calor local producido por las ondas) y las fotoquímicas (cambios en las macromoléculas).

Actualmente se conocen con bastante precisión los cambios en la retina inducidos por la luz (Wenzel, 2005a, 2005b; Wu *et al.*, 2006). La porción de energía absorbida en cualquier tejido depende de la transparencia de este para la radiación incidente; es también un factor importante para determinar el tipo de efectos fotobiológicos que produce, ya sea para la formación de la imagen retiniana como para otras actividades relativas al ciclo circadiano, la variación del diámetro pupilar y la relación sueño-vigilia. Por tanto, de todo lo anterior se deduce que la luz, si bien es necesaria para la visión, puede dañar partes del sistema visual, al ser absorbida por sus tejidos. Así, pueden clasificarse, de forma genérica, los efectos nocivos de la luz en tres tipos: daños fotomecánicos, daños fototérmicos y daños fotoquímicos.

La acción mecánica subyace básicamente en el impacto rápido de energía en los melanosomas del epitelio pigmentario de la retina, que genera ondas de choque. Estas causan un daño irreparable en los fotorreceptores y en el epitelio pigmentario, denominado *daño fotomecánico*. El efecto nocivo en el tejido puede resultar de unas fuerzas mecánicas compresoras o tensoras, que conducen a la formación de burbujas que son letales tanto para el epitelio pigmentario como para otras células oculares. El daño es causado por altas irradiaciones (en el rango de MW/cm²) y cortos periodos de exposición (en el rango de nanosegundos a picosegundos), durante los cuales la energía es absorbida tan rápidamente por los gránulos de melanina en el epitelio pigmentario que la dispersión de calor no puede tener lugar.

Por otro lado, conviene definir el daño fototérmico. Un cuántum de energía radiante (un fotón) puede ser absorbido por una molécula solo si la energía del fotón se equipara a la diferencia entre el nivel energético normal de una molécula y el máximo nivel de energía permitido. Los estados rotacionales y vibracionales de los cuántum de las moléculas predominan sobre los estados de excitación por las longitudes de onda más largas en el espectro visible y el infrarrojo cercano (700-1400 nm). La vibración de energía ganada por la molécula es rá-

pidamente disipada mediante colisiones con otras moléculas, lo cual aumenta momentáneamente la energía cinética en el nivel local, a la vez que produce un incremento de la temperatura. Las lesiones térmicas no son producidas por el incremento de energía cinética hasta que la irradiancia de la radiación es suficientemente alta como para aumentar la temperatura en, al menos 10°C, por encima del nivel ambiental de la retina. Consecuentemente, la reacción térmica depende de los umbrales de irradiancia. El daño térmico es mucho mayor en el centro de la lesión donde el aumento de la temperatura es mucho más elevado.

Por último, es importante reseñar que el riesgo del daño fotoquímico, como una forma diferente de interacción entre la energía radiante y las moléculas biológicas, tiene lugar cuando la radiación incidente tiene una longitud de onda en la porción de alta energía del espectro visible. Un electrón en estado excitado puede volver al estado inhibido al disipar la energía extra y al romper una unión en otra molécula mediante un intercambio directo de electrones o un intercambio directo de hidrógeno, lo cual produce especies reactivas de oxígeno. El proceso también puede producir otros radicales libres importantes en la producción de tejido dañado (Margrain *et al.*, 2004). Ningún daño agudo tiene lugar por debajo de un cierto umbral de nivel de irradiancia.

La radiación solar emite una amplia serie de ondas electromagnéticas (ultravioleta, longitudes de onda corta del espectro visible e infrarrojas), que por la energía que transmiten pueden producir daños oculares (Choi *et al.*, 2006) (figura 4).

Las radiaciones ultravioleta B (UVB) y ultravioleta C (UVC) pueden producir fotoqueratitis y fotoconjuntivitis, que se caracterizan por dolor intenso, lagrimeo, sensación de arena en los ojos, fotofobia, etc. Estos efectos son agudos pero reversibles. La luz o radiación visible pueden producir lesiones térmicas o fotoquímicas en la retina, con pérdida de visión total o parcial (efectos agudos que pueden ser irreversibles). La exposición repetida a radia-

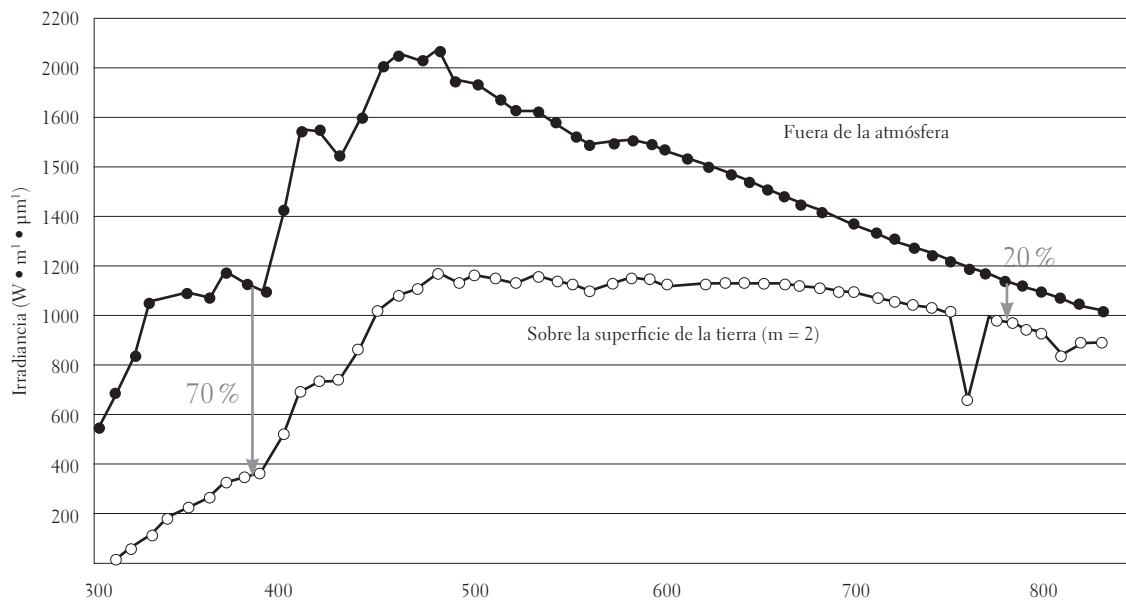


FIGURA 4. Curvas de irradiancia espectral en la atmósfera, a dos metros de la superficie terrestre

Fuente: Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA, 1982).

ciones infrarrojas (IR) puede producir cataratas de origen térmico, por las altas temperaturas (efectos crónicos e irreversibles).

Ahora bien, según lo anterior y dentro del marco de los riesgos oculares producidos por incidencia de la luz del sol, es importante reseñar que estos son muy cambiantes en función de las variables de persona, las horas de insolación, la altitud y latitud de la zona donde se viva habitualmente y el tipo de actividad laboral. A modo de ejemplo, en un estudio realizado en Murcia, España, pudo comprobarse la importante variación de irradiancia en función de las condiciones ambientales (nublado/soleado) y las horas del día en las que se realizaron las mediciones (figura 5).

Así, y como se ha descrito a lo largo de esta introducción, debido al daño que la intensidad y el tiempo de exposición a la luz solar puede producir en los ojos, se considera imprescindible no solo implementar elementos atenuadores que pueden producir rechazo y, en consecuencia, la no utilización de gafas con filtro solar. La ausencia de usos de gafas de sol (de calidad óptica) podría dar lugar a daños retinianos irreversibles. La Universidad

Complutense de Madrid se propuso diseñar un tipo de lente solar, denominada CSR (certificado de seguridad retiniana), que cumpliera de la mejor manera posible una doble función: proteger debidamente las diferentes estructuras oculares (conjuntiva, córnea, cristalino y retina), evitando los efectos nocivos que la intensidad o el exceso de luz pueden producir; y permitir que la interposición de los lentes solares posibilitara la correcta realización de tareas tan delicadas como la conducción de vehículos manteniendo la sensibilidad al contraste, la agudeza visual, la estereoagudeza y la discriminación del color en valores suficientes para la realización de tales actividades.

El nuevo filtro CSR propuesto, a diferencia de los filtros solares convencionales, absorbe totalmente las longitudes de onda más energéticas y, por tanto, agresivas para el sistema ocular, a la vez que mantiene proporciones de transmitancia elevadas del resto de las bandas; se consigue así una adecuada y confortable visión. Con el diseño y la implementación de las nuevas lentes, se persigue una mejora significativa de toda la función visual y, en consecuencia, se induce al usuario a utilizar gafas de protección solar.

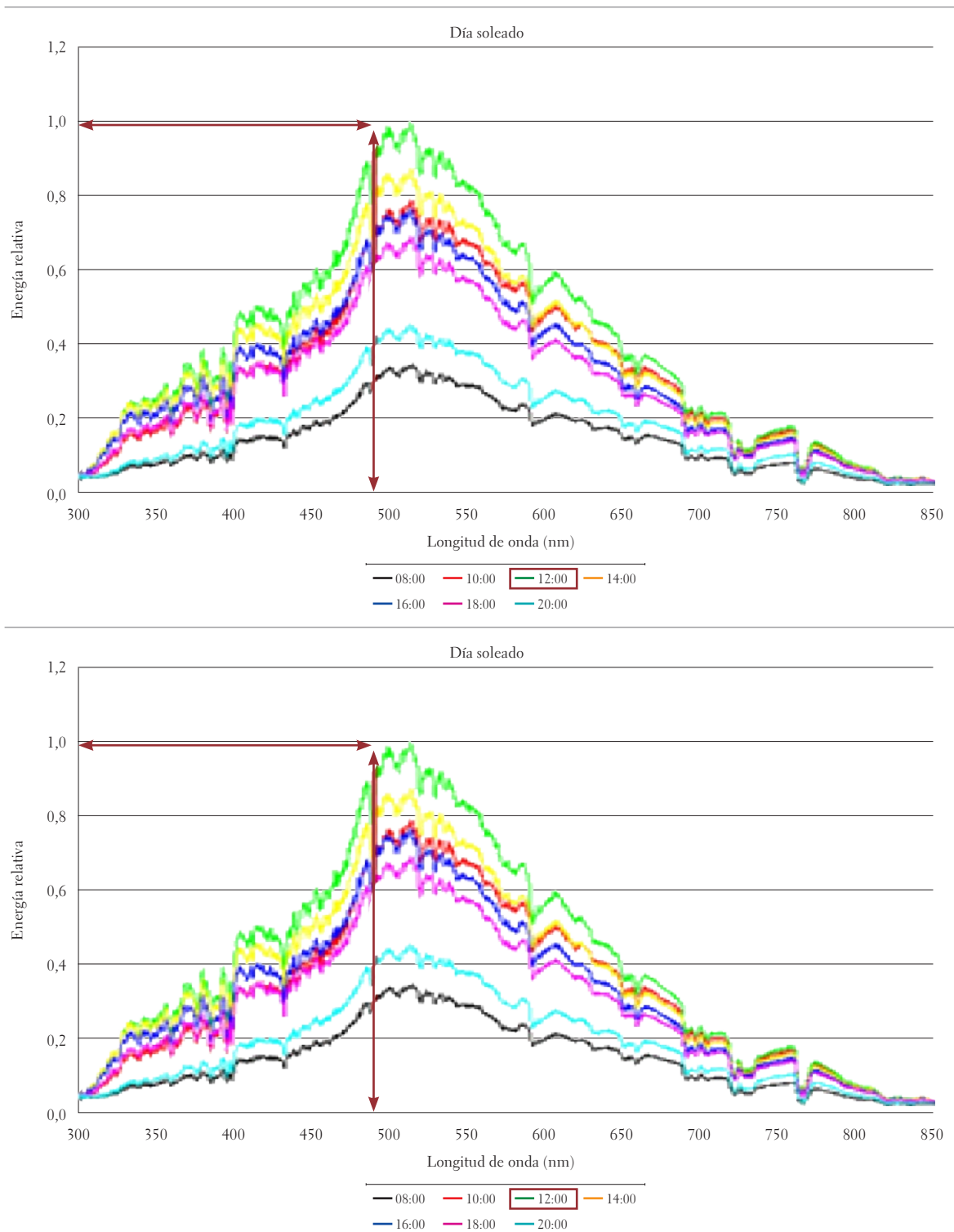


FIGURA 5. Curvas de energía relativa en función de las condiciones ambientales (día soleado/nublado), según las horas centrales del día

Fuente: Universidad Complutense de Madrid (s.f.).

Este trabajo tiene como objetivo comparar el efecto sobre la función visual de los nuevos lentes solares CSR y los lentes solares tradicionales. Se considera

importante evaluar la agudeza visual, la estereoa-gudeza, la percepción del color y la sensibilidad al contraste en un análisis comparativo.

MATERIAL Y MÉTODO

Es un estudio observacional prospectivo y transversal. Fueron evaluadas 36 personas de ambos sexos, 22 hombres y 14 mujeres, en edad laboral. La media de edad de la muestra fue de 44 ± 14 años. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado, siguiendo las directrices de la Declaración de Helsinki (Asamblea Médica Mundial, 1964). Este estudio fue aprobado por el comité de ética del Hospital Clínico San Carlos de Madrid. El único criterio de exclusión fue la negativa a otorgar el consentimiento informado. Las medidas de absorbancia se realizaron con el espectrofotómetro Humphey Lens Analyzer 350 (Zeiss Humphey Systems) para la caracterización de los filtros solares analizados.

Para la valoración de los distintos aspectos de la función visual, se utilizaron tests habitualmente empleados para realizar estas evaluaciones, según las indicaciones del fabricante. Todos los parámetros se registraron binocularmente, en condiciones de iluminación fotópica, con la compensación

óptica habitual y en tres situaciones: sin interposición de filtro, con la interposición de un filtro solar convencional y con la interposición de un filtro solar CSR de banda selectiva y atenuador (figura 6).

En concreto, para valorar la agudeza visual, se empleó el test Traditional Runge (Precision Vision, Estados Unidos), formado por 16 tamaños de letra que miden agudezas visuales de entre 20/500 y 20/16 (figura 7). El método empleado para la valoración de la agudeza visual fue el siguiente: se indicó al participante que leyera de izquierda a derecha los optotipos de agudeza visual, comenzando por la primera línea, la de mayor tamaño. En caso de dudas, se le pedía que se decidiera por una sola letra, aunque no estuviera seguro (paradigma de elección forzada). La prueba continuó hasta que resultara evidente que el participante no era capaz de identificar cuatro o más letras de una línea, o hasta que hubiera identificado correctamente todas las letras. La última fila identificada fue considerada como el valor correspondiente de agudeza visual.

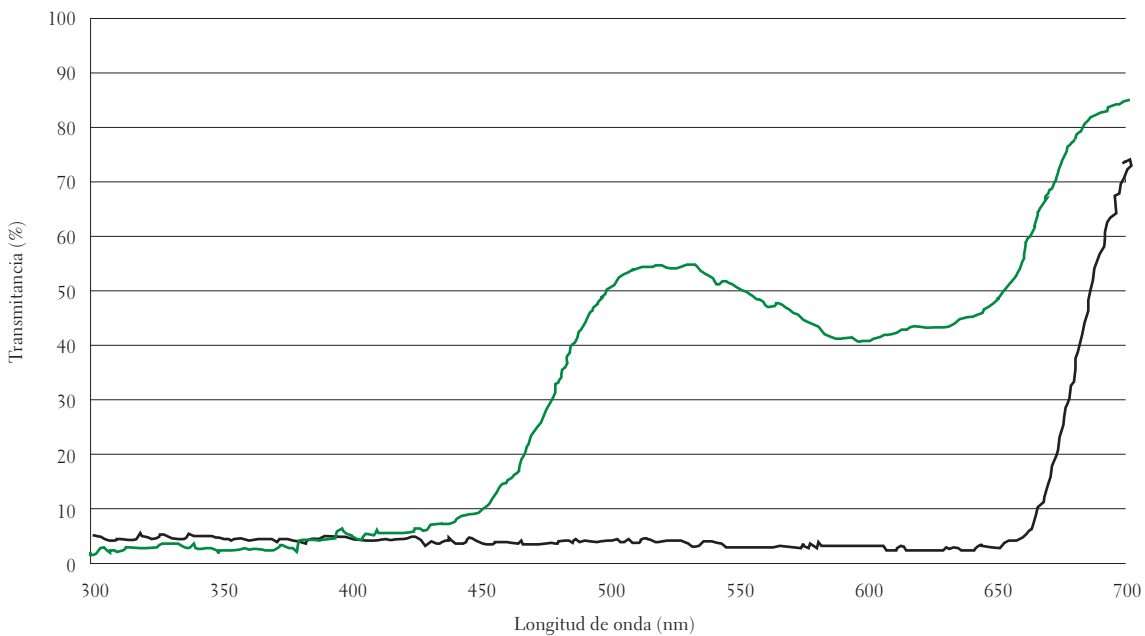


FIGURA 6. Curvas de transmittancia espectral de los filtros utilizados en el trabajo

Nota: línea negra, filtro convencional; línea verde, filtro CSR propuesto por la Universidad Complutense de Madrid.

Fuente: Universidad Complutense de Madrid (s. f.).

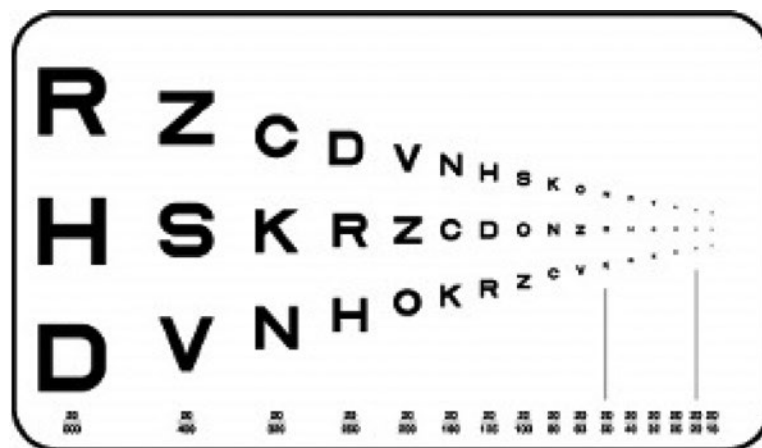


FIGURA 7. Test Tradicional Runge para medir la agudeza visual

Fuente: elaboración propia.

Para evaluar la sensibilidad al contraste, se utilizó el test Vistech Consultants (VCTS [1988, Stereo Optical Company]) (figura 8). Este test presenta discos circulares dispuestos en cinco filas (A-E) y nueve columnas (1-9), que contienen una red sinusoidal sobre el fondo constante. Cada una de las filas contiene una frecuencia espacial diferente (1,5; 3,0; 6,0; 12,0 y 18,0 ciclos/grado), de contraste decreciente, de izquierda a derecha, en 0,15 unidades logarítmicas. Para la valoración de esta capacidad visual, en primer lugar se mostraron al participante los tres discos que figuran en la parte inferior del test de sensibilidad al contraste, a fin de que viera las tres posibles orientaciones de las franjas (15° de inclinación a la izquierda, vertical, y 15° de inclinación a la derecha).

A continuación se pidió al participante que indicara la orientación de las franjas de los discos de la primera fila (fila A), de izquierda a derecha, hasta que no pudiera identificar un disco, o hasta que proporcionara una respuesta incorrecta. En esta situación, se solicitó al participante que retrocediera al disco de esa misma fila, a la izquierda del no identificado, y, luego que volviera a indicar la orientación de los discos hacia la derecha de este, hasta que proporcionara una respuesta incorrecta (elección forzada). Se repitió este procedimiento para resto de las filas y se anotó en cada caso la última respuesta correcta de cada fila.



FIGURA 8. Test VCTS para sensibilidad al contraste

Fuente: elaboración propia.

La discriminación del color fue evaluada con el test Farnsworth-Munsell D-28 HUE (figura 9). Este test es una versión reducida de la prueba de discriminación cromática Farnsworth D-100 HUE. Está formado por 28 cápsulas, una de referencia y 27 para ser manipuladas, coloreadas en función de la escala Munsell, de modo que entre los colores vecinos existe una variación prácticamente constante del tono y en los que se mantiene la luminancia y saturación en un valor Munsell dado. Los tonos de las cápsulas se distribuyen a lo largo de una circunferencia en el diagrama cromático uniforme de Farnsworth, de ahí su denominación. El observador debe ordenar consecutivamente las cápsulas, atendiendo a su semejanza de tono. El

perfil de ordenación obtenido permite detectar el tipo y grado de deficiencia, en función de una puntuación de errores específica.



FIGURA 9. Test Farnsworth-Munsell D-28 para evaluar la percepción del color

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, para valorar la estereoagudeza, se utilizó el test de Titmus (figura 10). Este test consta de anaglifos, es decir, dos imágenes ligeramente distintas que estimulan cada una de las retinas por medio de filtros polarizados. Cada ojo selecciona la imagen correspondiente a su filtro, y al fusionarlas el sistema percibe la profundidad simulada. El test presenta distintos estereogramas que permiten detectar el umbral de profundidad. Cuanto más bajo sea este, mayor será la estereoagudeza.



FIGURA 10. Test de Titmus para valorar la estereoagudeza

Fuente: elaboración propia.

Todas las valoraciones fueron realizadas de forma binocular. Los sujetos fueron examinados en las condiciones habituales, es decir, con la graduación óptica que utilizaran en su vida cotidiana, con independencia de que dicha graduación fuera o no la óptima. Cada uno de los parámetros de función visual se evaluaron desde tres condiciones: 1) sin la interposición de filtros de protección, 2) con la

interposición de un filtro protector solar tradicional y 3) con la interposición del nuevo filtro CSR de protección solar, propuesto por la Universidad Complutense de Madrid. El orden de las pruebas y la interposición o no de los filtros se realizaron de forma aleatoria.

Además, se utilizó el programa Statgraphics Plus 5.0 Professional Edition, con el que se realizó una estadística comparativa para evaluar los efectos de los filtros interpuestos en las diferentes medidas de función visual. Todas las comparaciones fueron realizadas asumiendo un error de alfa de 0,05.

RESULTADOS

RESULTADOS DESCRIPTIVOS Y COMPARATIVOS DE LA AGUDEZA VISUAL

Luego de interponer los diferentes filtros de protección, observamos que el nuevo filtro propuesto CSR no inducía cambios significativos en los valores de agudeza visual (figura 11).

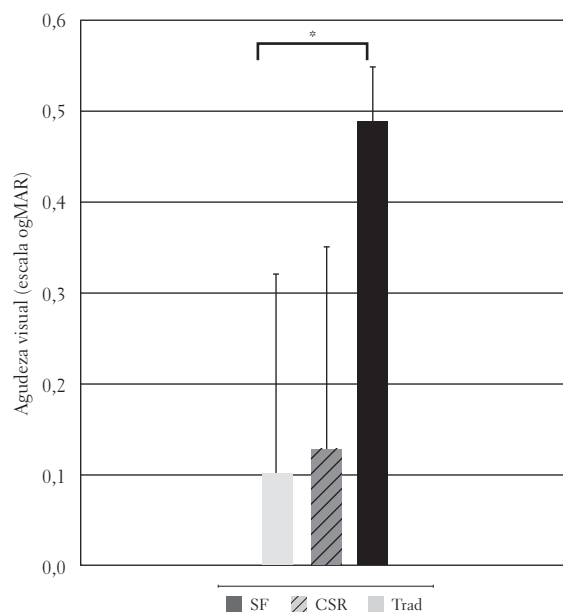


FIGURA 11. Valores de agudeza visual (escala logMAR) con y sin la interposición de filtros protectores solares

Nota: SF, sin filtro; CSR, filtro propuesto por la Universidad Complutense de Madrid; TRAD: filtro tradicional.

Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, con el filtro protector tradicional se observó una importante disminución en los valores de agudeza visual.

RESULTADOS DESCRIPTIVOS Y COMPARATIVOS DE LA ESTEREOAGUDEZA

No se observaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de estereopsis luego de interponer el filtro solar propuesto CSR y al comparar con los valores obtenidos de estereoa-gudeza sin filtro; sin embargo, al comparar la capacidad de percibir la profundidad sin filtro con el filtro tradicional, los resultados mostraron baja capacidad de discriminación de profundidad, con diferencias estadísticamente significativas, lo que indica una importante mejora en la percepción del relieve con el filtro solar CSR en relación con filtros tradicionales (tabla 1).

TABLA 1. Valores de estereoa-gudeza con y sin la interposición de filtros protectores solares

FILTRO	SIN FILTRO (DE ARCO)	FILTRO (DE ARCO)	DIFERENCIAS (DE ARCO)	VALOR DE P
CSR	97 ± 95	89 ± 78	8,5 ± 40	0,999994
Tradicional	97 ± 95	279 ± 531	-184 ± 470	2,11E-05*

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS DESCRIPTIVOS Y COMPARATIVOS DE LA DISCRIMINACIÓN DEL COLOR

Para la determinación de este aspecto de la función visual se ha utilizado el número de errores de orden en la disposición del test FM. La interposición de los dos filtros reduce la discriminación del color. Al comparar estos valores con los obtenidos en la valoración sin filtro, las diferencias son estadística-mente significativas. Para una mejor visualización de los resultados, se han transformado los datos en porcentaje de errores (figura 12).

Como puede comprobarse en la columna relativa a las diferencias, el porcentaje de errores con la interposición del filtro tradicional es muy elevado: cerca del 43%; sin embargo, con el nuevo filtro solar propuesto CSR, la pérdida de discriminación

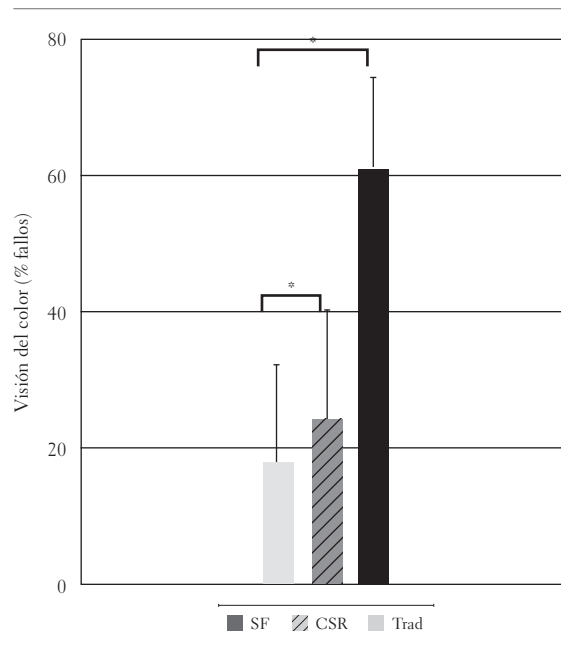


FIGURA 12. Porcentaje de fallos en el test de visión de color con y sin la interposición de filtros protectores solares

Fuente: elaboración propia.

del color es solo del 5%. Una de las características importantes de reseñar en este apartado es la necesidad de una explicación exhaustiva de la metodología para la realización correcta de la prueba. Se quiere aclarar que siempre se realizó en primer lugar la valoración sin filtro, como fase de aprendizaje; en cambio, las dos pruebas posteriores con la interposición del filtro fueron realizadas en orden aleatorio.

RESULTADOS DESCRIPTIVOS Y COMPARATIVOS DE LA FUNCIÓN DE SENSIBILIDAD AL CONTRASTE

Luego de interponer el nuevo filtro solar propuesto CSR, se observó una disminución estadística-mente significativa de los valores de sensibilidad al contraste para las frecuencias espaciales 6 cpv y 18 cpv. Por otro lado, al interponer el filtro protector tradicional, se observó una mayor pérdida de los valores de sensibilidad al contraste para todas las frecuencias espaciales. Las diferencias entre el nuevo filtro solar propuesto CSR y el filtro tradicional fueron significativas para todas las frecuencias espaciales (tabla 2).

TABLA 2. Significancia estadística de la comparativa de los valores de sensibilidad al contraste en visión con y sin la interposición del filtro solar CSR vs. filtro tradicional

FRECUENCIA ESPACIAL (CPG)	VALOR DE P SIN FILTRO VS. FILTRO CSR	VALOR DE P SIN FILTRO VS. FILTRO TRADICIONAL	VALOR DE P FILTRO CSR VS. FILTRO TRADICIONAL
1,5	0,9990	0,000*	0,000*
3	0,4170	0,000*	0,000*
6	0,0280*	0,000*	0,000*
12	0,3160	0,000*	0,000*
18	0,0220*	0,000*	0,000*

*Disminución estadísticamente significativa de los valores de sensibilidad al contraste para las frecuencias espaciales 6 cpg y 18 cpg.

Fuente: elaboración propia.

Al comparar los valores obtenidos por el nuevo filtro solar propuesto CSR y el filtro protector tradicional, se observan diferencias significativas en todas las frecuencias espaciales. Los valores del filtro CSR son sensiblemente más próximos a los obtenidos sin filtro que los obtenidos con el filtro tradicional (figura 13).

DISCUSIÓN

El daño fotoquímico retinal fue descubierto por Noell (1965), quien evidenció accidentalmente que las retinas de las ratas albinas podían ser dañadas de forma irreversible mediante exposiciones de varias horas o días a luz ambiental, dentro del rango de intensidad de la luz natural. Este mismo daño también se produce en ratas pigmentadas cuando las pupilas son dilatadas. Otros trabajos, como el de Wu *et al.* (2006), demuestran que el daño fotoquímico retiniano ocurre con diferentes tipos de morfología en distintos animales, con las consecuentes alteraciones de la función visual.

Con el fin de analizar los efectos fototóxicos de la luz en la retina, se han utilizado a menudo animales a los que se expone a luz intensa de forma aguda. Estos estudios han documentado que la luz es capaz, en determinadas circunstancias, de producir muerte de los fotorreceptores y de las células del epitelio pigmentario por apoptosis y por un mecanismo en el que está implicada la rodopsina

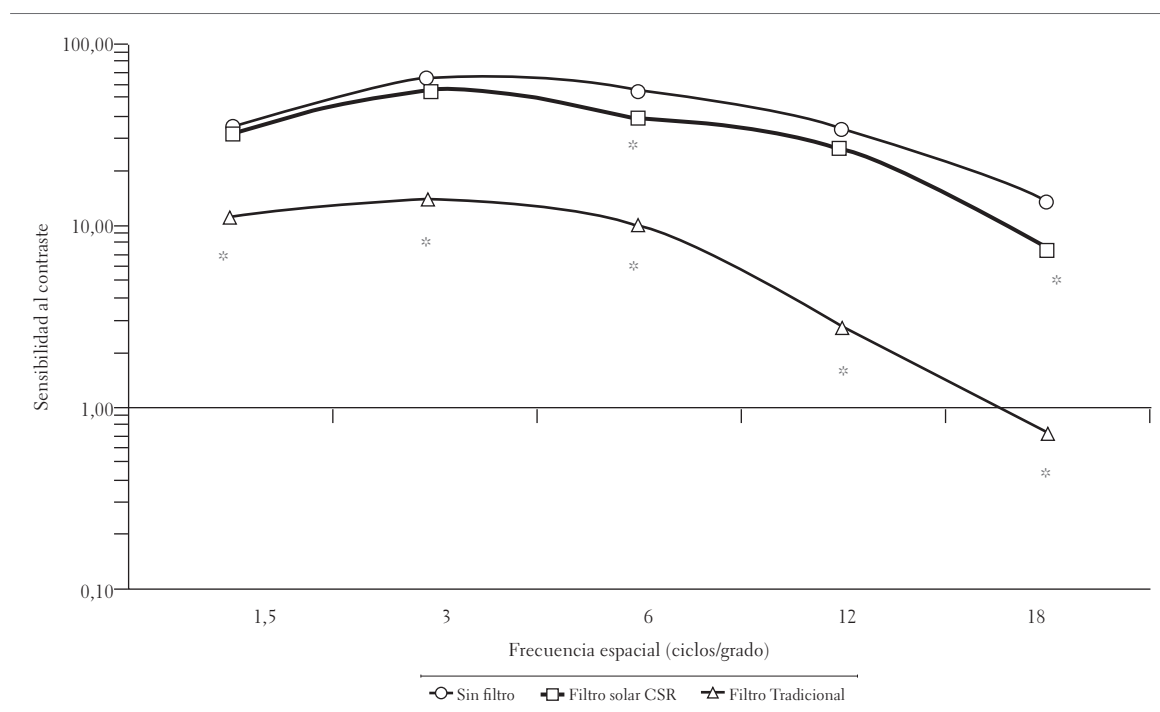


FIGURA 13. Valores de sensibilidad al contraste en visión con y sin la interposición de filtros protectores solares

Nota: hay una significancia de $p < 0,05$ entre los valores de SC sin filtro vs. filtro analizado.

Fuente: elaboración propia.

(Reme *et al.*, 2005; Wenze *et al.*, 2005). Por otro lado, la exposición a luz permanente (Noell *et al.*, 1966; Lawwill, 1973; Tso *et al.*, 1973; Tso y Woodford, 1983; Dureau *et al.*, 1999) produce un adelgazamiento de la capa nuclear externa, indicativo de la disminución de los receptores. El mecanismo exacto por el que se producen estos cambios no se conoce, aunque es probable que la lesión inicial se localice en los segmentos externos de los fotorreceptores (Organisciak *et al.*, 1994).

Según la revisión bibliográfica de Wu *et al.* (2006), los factores que refuerzan la susceptibilidad del daño por luz, identificados hasta ahora en estudios animales, son: la longitud de onda (Grimm *et al.*, 2000a, 2000b), la intensidad de luz y duración de la exposición (O'Steen *et al.*, 1979; Sánchez-Ramos, 2010), los efectos acumulativos de la luz (Noell *et al.*, 1966; Organisciak *et al.*, 2010), el ritmo circadiano (Duncan *et al.*, 2002; Organisciak *et al.*, 2010), el estado adaptativo (Noell *et al.*, 1966), la edad (O'Steen *et al.*, 1982a, 1982b) y la genética (Noell *et al.*, 1971). Como es sabido, estos efectos dañinos producen cambios sobre capacidades visuales, tales como la agudeza visual, la estereoagudeza, la percepción del color y la sensibilidad al contraste.

Respecto a la identificación de las bandas de longitud de onda del espectro visible más energéticas y que, en consecuencia, son en gran medida las responsables de los daños retinianos, estas se inician con el trabajo de Noell *et al.* (1966), en el que se demostró que el tejido retiniano se deterioraba cuando era expuesto a longitudes de onda corta. Otros trabajos, como el de Okuno *et al.* (2002), afirman este mismo planteamiento y concluyen que el sol (observación directa) y otras fuentes luminosas presentan radiancias efectivas muy altas, con tiempos de exposición permisibles de solo 0,6 a 40 s, lo que sugiere que la visualización de estas fuentes de luz es muy peligrosa para la retina.

Con el objetivo de proteger las estructuras oculares de los posibles daños producidos por la radiación UV, visible e IR, se utilizan diferentes filtros de

protección ocular, los cuales presentan distintos grados de absorción. Allí, este parámetro es inversamente proporcional a la transmitancia del filtro. En este estudio se han valorado distintos aspectos de la función visual, como se discute a continuación.

En relación con los resultados obtenidos sin y con la interposición de ambos filtros, se ha observado que la agudeza visual se ve apenas afectada por el filtro solar propuesto CSR, mientras que con el filtro solar tradicional las pérdidas son elevadas. Los test de agudeza visual que se han utilizado son del tipo Snellen. Según Cuiña *et al.* (2003), los optotipos de letras o números (tipo Snellen y ETDRS) ofrecen una mejor estimación de la función visual que los optotipos con texto, ya que la lectura implica funciones cerebrales más complejas. Los valores de agudeza visual obtenidos fueron transformados a escala logMAR, ya que, como refieren Shah *et al.* (2011), esta escala es el *gold standard* (patrón de referencia) para investigaciones clínicas. Los resultados obtenidos fueron concordantes con los de otros autores, como Hiraoka *et al.* (2008) y Haughom *et al.* (2011).

Los valores de sensibilidad al contraste obtenidos sin la interposición de filtro y con el filtro solar CSR son concordantes con los de Puell *et al.* (2004), donde se determinan los valores normales de sensibilidad al contraste en condiciones fotópicas de más de 290 personas; no así al interponer el filtro solar convencional, donde el deterioro de esta capacidad fue importante, con significancia clínica.

Respecto a la valoración de la estereoagudeza, Vukicevik *et al.* (2008) utilizan los tests de Titmus para valorar los efectos sobre la función visual de la exposición a radiación electromagnética sin una protección ocular suficiente. De acuerdo con el protocolo de dicho estudio, se ha seleccionado este test para la evaluación de la estereopsis.

Por su parte, la valoración de la estereoagudeza con el filtro solar CSR mostró una elevada percepción de la profundidad, similar a la existente sin la interposición de filtros. Según Chou *et al.* (1996),

el uso de los filtros protectores tiene el efecto de reducir la iluminación ambiente; sin embargo, esta disminución no debió ser suficiente en las condiciones fotópicas utilizadas en este estudio como para producir un efecto negativo en la estereopsis, ya que, según Martínez *et al.* (2004), la estereopsis se mantiene relativamente constante a partir de unas 3 cd/m². En cambio, cuando se utiliza el filtro solar tradicional, se producen pérdidas muy importantes, con implicación clínica.

La discriminación del color se ve afectada negativamente de forma estadísticamente significativa cuando se interponen ambos filtros solares. Esta disminución es más acentuada con el filtro tradicional (43 %) que con el filtro solar CSR (5 %). Los resultados obtenidos tras la interposición del nuevo filtro CSR son coincidentes con los publicados por Schneider *et al.* (2006), donde se afirma que el bloqueo de las radiaciones de longitudes de onda inferiores a 500 nm disminuye de forma considerable (98 %) el riesgo de fototoxicidad ocular y produce únicamente una pequeña distorsión en la percepción del color hacia el amarillo. Sin embargo, la aplicación de los filtros solares tradicionales, debido a su baja transmitancia, produce alteraciones más marcadas en la discriminación del color.

En conclusión, para favorecer la utilización de lentes con filtros solares que permiten la protección ocular necesaria para prolongar la vida útil del sistema visual, se requiere que el elemento protector no disminuya la capacidad visual de los usuarios. Los distintos aspectos de la percepción visual se ven drásticamente disminuidos cuando se utiliza el filtro solar tradicional evaluado. Por el contrario, la interposición del nuevo filtro de protección solar CSR propuesto por la Universidad Complutense de Madrid mantiene estables o disminuye levemente las capacidades perceptivas evaluadas; por tanto, resulta ser un sistema protector óptimo para actividades al aire libre con exposición solar.

Los lentes solares CSR son productos patentados por la Universidad Complutense de Madrid, donde se han diseñado, prototipado y desarrollado. Los

trabajos para su comercialización han pasado los requerimientos de la agencia del medicamento española.

REFERENCIAS

- Asamblea Médica Mundial (1964). Declaración de Helsinki de la AMM. Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. Recuperado de <http://www.wma.net/es/30publications/10policias/b3/>
- Chou, B. R. y Cullen, A. P. (1996). Ocular hazards of industrial spot welding. *Optometry & Vision Science*, 73(6), 424-427.
- Cuiña Sardiña, R. y García Feijóo, J. (2003) Los optotipos. *Sociedad Española de Oftalmología*, 2(2), 35-42.
- Duncan, J. *et al.* (2002). Macular pigment and lutein supplementation in choroideremia. *Exp. Eye Res.*, 74(3), 371-381.
- Grimm, C. *et al.* (2000a). Blue light's effects on rhodopsin: photoreversal of bleaching in living rat eyes. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 41(12), 3984-3990.
- Grimm, C. *et al.* (2000b). Gene expression in the mouse retina: the effect of damaging light. *Molecular Vision*, 6, 252-260.
- Grimm, C., Wenzel, A., Williams, T., Rol, P., Hafezi, F. y Remé, C. (2001). Rhodopsin-mediated blue-light damage to the rat retina: effect of photoreversal of bleaching. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 42(2), 497-505.
- Haughom, B. y Strand, T. E. (2011). Sine wave mesopic contrast sensitivity: defining the normal range in a young population. *Acta Ophthalmol.*, 91(2), 176-182. Doi: 10.1111/j.1755-3768.2011.02323.x
- Hiesch, A. y Berrot, A. (2011). Unilateral photic maculopathy caused by welder's flash. *J. Fr. Ophthalmol.*, 34(1), 37.e1-3. Doi: 10.1016/j.jfo.2010.09.013
- Imberger, A. y Altmann, A. (1999). Unintentional adult eye injuries in Victoria Monash University. *Hazard*, 41, 4-5.
- Lawwill, T. (1973). Effects of prolonged exposure of rabbit retina to low-intensity light. *Invest. Ophthalmol.*, 12(1), 45-51.
- Margrain, T., Boulton, M., Marshall, J. y Sliney, D. (2004). Do blue light filters confer protection against age-related macular degeneration? *Prog. Retin. Eye Res.*, 23(5), 523-531.
- Marshall, J. (1985). Radiation and the ageing eye. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 5(3), 241-263.
- Martínez, F. M. y Pons Moreno, A. M. (2004). *Fundamentos de la visión binocular*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Noell, W. y Albrecht, R. (1971). Irreversible effects on visible light on the retina: role of vitamin A. *Science*, 172(978), 76-79.

- Noell, W. y Walker, V. (1966). Retinal damage by light in rats. *Invest. Ophthalmol.*, 5(5), 450-473.
- Okuno, T. (2002). Evaluation of blue-light hazards from various light sources. *Dev. Ophthalmol.*, 35, 104-12.
- Okuno, T., Ojima, J. y Saito, H. (2001). Ultraviolet radiation emitted by CO(2) arc welding. *Ann. Occup. Hyg.*, 45(7), 597-601.
- Organisciak, D. y Vaughan, D. (2010) Retinal light damage: mechanisms and protection. *Prog. Retin. Eye Res.*, 29(2), 113-134.
- Organisciak, D., Darrow, R., Barsalou, L., Kutty, R. y Wiggert, B. (2003). Susceptibility to retinal light damage in transgenic rats with rhodopsin mutations. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 44(2), 486-92.
- O'Steen, W. (1979). Hormonal and light effects in retinal photodamage. *Photochem. Photobiol.*, 29(4), 745-753.
- O'Steen, W., Bare, D., Tytell, M., Morris, M. y Gower, D. (1990). Water deprivation protects photoreceptors against light damage. *Brain Res.*, 534(1-2), 99-105.
- O'Steen, W. y Donnelly, J. (1982a). Antagonistic effects of adrenalectomy and ether/surgical stress on light-induced photoreceptor damage. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 22(1), 1-7.
- O'Steen, W. y Donnelly, J. (1982b). Chronologic analysis of variations in retinal damage in two strains of rats after short-term illumination. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 22(2), 252-255.
- O'Steen, W., Spencer, R., Bare, D. y McEwen, B. (1995). Analysis of severe photoreceptor loss and Morris water-maze performance in aged rats. *Behav. Brain Res.*, 68(2), 151-158.
- O'Steen, W., Sweatt, A., Eldridge, J. Sánchez, C., Ramos, A. y Brodish, A. (1987). Gender and chronic stress effects on the neural retina of young and mid-aged Fischer-344 rats. *Neurobiol. Aging*, 8(5), 449-455.
- Owsley, C. y Sloane, M. E. (1987). Contrast sensitivity, acuity, and the perception of "real-world" targets. *Br. J. Ophthalmol.*, 71(10), 791-796.
- Puell, M. C., Palomo, C., Sánchez-Ramos, C. y Villena, C. (2004). Mesopic contrast sensitivity in the presence or absence of glare in a large driver population. *Graefe's Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.*, 242, 755-761.
- Puell, M. C., Palomo, C., Sánchez-Ramos, C. y Villena, C. (2004). Normal values for photopic and mesopic letter contrast sensitivity. *J. Refract. Surg.*, 20, 484-488.
- Rassow, B. (1999). Effect of luminance on contrast sensitivity and glare in the mesopic range. *Klin. Monatsbl. Augenheilkd.*, 214, 401-406.
- Remé, C. (2005). The dark side of light: rhodopsin and the silent death of vision the proctor lecture. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 46(8), 2671-2682.
- Roehlecke, C., Schumann, U., Ader, M., Knels, L. y Funk, R. H. (2011). Influence of blue light on photoreceptors in a live retinal explant system. *Mol. Vis.*, 17, 876-884.
- Schneider, S. y Guerry, R. K. (2006). Light toxicity in the posterior segment. En *Duane's clinical ophthalmology*. Filadelfia: Lippincott, Williams & Wilkins.
- Shah, N., Dakin, S. C., Redmond, T. y Anderson, R. S. (2011). Vanishing Optotype acuity: repeatability and effect of the number of alternatives. *Ophthalmic. Physiol. Opt.*, 31, 17-22.
- Tso, M. y Woodford, B. (1983). Effect of photic injury on the retinal tissues. *Ophthalmology*, 90(8), 952-63.
- Tso, M., Wallow, I. H. y Powell, J. O. (1973). Differential susceptibility of rod and cone cells to argon laser. *Arch. Ophthalmol.*, 89(3), 228-234.
- Vila-Coro et al. (2013). Influencia de las gafas protectoras en la visibilidad del campo de trabajo de soldadores. *Gaceta Optometría, Óptica y Oftálmica*, Nov.486 (1), 10-14.
- Vukicevic, M. y Herriot, W. (2008). Phototoxic maculopathy associated with arc welding: clinical findings and associated functional vision impairment. *Clin. Experiment Ophthalmol.*, 36(7), 695-697.
- Wang, H. M., Hull, B. E. y Organisciak, D. (1994). Long term effects of diaminophenoxypentane in the rat retina: protection against light damage. *Curr. Eye Res.*, 13(9), 655-660.
- Wenzel, A., Grimm, C., Samardzija, M. y Remé, C. (2005a). Molecular mechanisms of light-induced photoreceptor apoptosis and neuroprotection for retinal degeneration. *Prog. Retin. Eye Res.*, 24(2), 275-306.
- Wenzel, A. et al. (2005b). The retinal G protein-coupled receptor (RGR) enhances isomerohydrolase activity independent of light. *J. Biol. Chem.*, 280(33), 29874-29884.
- Woo, J. et al. (2006). Eye injuries in Singapore—don't risk it. Do more. A prospective study. *Ann. Acad. Med. Singapore*, 35(10), 706-718.
- Wu, J., Seregard, S. y Algvere, P. (2006). Photochemical damage of the retina. *Surv. Ophthalmol.*, 51(5), 461-481.

Recibido: 16 de julio del 2014

Aceptado: 16 de septiembre del 2014

CORRESPONDENCIA

Celia Sánchez Ramos

celiasanchezramos@gmail.com