

LUZ AZUL: DE LAS EVIDENCIAS CIENTÍFICAS A LA ATENCIÓN AL PACIENTE

La exposición a la luz azul, ya sea exterior de la luz del sol o interior de las pantallas LED retroiluminadas, puede tener efectos perjudiciales. Basándose en un análisis de las publicaciones sobre el tema, Víctor Molina describe numerosas complicaciones oculares que pueden derivarse de la exposición a la luz azul-violeta. También habla de las medidas preventivas, especialmente los filtros de la luz azul, que los profesionales de la vista tienen a su disposición, y explica quién podría beneficiarse más con estas soluciones.



Víctor Javier García Molina

Víctor Molina es un optometrista cualificado que se licenció en la Universidad Complutense de Madrid con un máster en Optometría del Centro Boston de Optometría de Madrid, en 1998. Ha dirigido las divisiones de Optometría y Contactología de la empresa española Tu Visión (S.L) durante los últimos 23 años.

Amplió su experiencia en el ámbito de las lentes de contacto con una Formación Especializada en Lentes de Contacto en el Centro de Optometría Internacional de Madrid en 2000. Posteriormente desarrolló competencias comerciales siguiendo un curso sobre Educación Ejecutiva en Formación de Empresa y el Programa Corporativo para Dirección en la escuela de negocios ESADE en Barcelona.

Ha dado clases sobre Optometría Clínica y fue profesor en el programa de máster de Adaptación de las lentes de contacto en la Universidad Europea de Madrid (UEM), además de profesor de Contactología en la Universidad Nacional Autónoma de Managua en Nicaragua. Actualmente es responsable de Educación Continua en Tu Visión.

Víctor ha hablado sobre salud ocular en varios medios (televisión, radio, prensa) desde 1993, y está interesado en la Historia Militar.

La revolución digital y la generalización del uso de los dispositivos móviles inteligentes (teléfonos, tabletas, libros electrónicos, terminales de vídeo [VDT], etc.) tienen por un lado muchas ventajas, pero han provocado el aumento de una variedad de problemas visuales nuevos. Uno de estos problemas es la exposición a la luz azul. El sol es el principal emisor de luz azul, pero también se encuentra en espacios interiores en los diodos emisores de luz “blanca fría” (LED) presentes en los sistemas de iluminación de la mayoría de pantallas retroiluminadas, televisores, etc. en cada vez más hogares, lugares de trabajo y tiendas. La iluminación LED ha sustituido las bombillas y fluorescentes tradicionales al ser una fuente de luz más eficiente en términos de energía.

La luz azul es la parte del espectro visible más cercana a las radiaciones ultravioletas, y está compuesta por longitudes de onda cortas que van de los 380 a los 495 nm correspondientes a la luz visible de mayor energía. Se ha asociado a varios problemas oculares que se pueden clasificar en cinco grupos principales: fatiga visual, ojos secos, molestias por el deslumbramiento (estos tres elementos están muy relacionados), daño de las células retinales y alteración de los ciclos fisiológicos (sueño, cansancio, depresión, irritabilidad). A continuación se hace un repaso de las evidencias científicas del vínculo entre la luz azul y estos problemas.

1. Luz azul y fatiga visual

Leer o trabajar con pantallas LED retroiluminadas aumenta la fatiga visual, que se manifiesta en forma de síntomas tensionales y oculares^{1,2,3,4} con respecto a otros medios visuales o texto escrito. Todavía no está claro si la alta intensidad de la emisión de luz azul por estas pantallas digitales es la única causa de dicha fatiga o si se trata de un factor acumulativo añadido a los problemas de

PALABRAS CLAVE

luz azul, LED, filtros de la luz azul, ojos secos, reflejos, fatiga visual, Degeneración Macular Asociada a la Edad (DMAE), catarata, sensibilidad al contraste, lentes intraoculares (IOL), síndrome visual informático (SVI), deslumbramiento, sueño, fotofobia.

«[...] en los últimos años se ha producido un aumento espectacular en el número de consultas relacionadas con el síndrome visual informático (SVI)».

acomodación ocular, de convergencia y posturales, que también se ven afectados por el trabajo con computadoras.^{5,6} En cualquier caso, en los últimos años se ha producido un aumento espectacular en el número de consultas relacionadas con el síndrome visual informático (SVI). El SVI se define como “el conjunto de problemas visuales y oculares relacionados con el trabajo de cerca provocados por el uso de computadoras”⁷, a lo que sin duda deberíamos añadir “y por el uso de dispositivos móviles digitales”.

2. Luz azul y ojos secos

La sensación de los ojos secos y sus múltiples síntomas asociados están estrechamente relacionados con el SVI.^{8,9} Los ojos secos en los usuarios de VDT se han vinculado a la reducción del tiempo de rotura de la película lagrimal.¹⁰ Independientemente de si se trata de ojos secos por producción o por evaporación, los síntomas empeoran al llevar a cabo actividades de cerca con cualquier tipo de pantallas digitales equipadas con luces LED emisoras de luz azul.^{11,12,13,14,15} Se ha demostrado que hay una estrecha relación entre la estabilidad de la película lagrimal y la función visual bajo la exposición a la luz azul.¹⁶ Los pacientes con ojos secos experimentan fluctuaciones en la agudeza visual¹⁷, que empeoran al realizar actividades de cerca de forma continua, en particular con el uso de pantallas.¹⁸ Por lo tanto, limitar la exposición a la luz azul de onda corta (en tiempo e intensidad o mediante el

filtrado) ayudaría a reducir las dificultades visuales para los pacientes que sufren de ojos secos con un tiempo de rotura reducido.¹⁶ También hay que tener en cuenta el hecho de que las quejas de estos pacientes de una sensación de deslumbramiento o halo aumentan al trabajar con fuentes de retroiluminación que emiten luz azul, una dispersión de la fuente de luz mucho mayor que las longitudes de onda largas.¹⁶

3. Luz azul y deslumbramiento

El deslumbramiento se puede definir como la pérdida de contraste en la imagen retinal derivada o provocada por la dispersión de luz o la luz lateral, debido a un fenómeno entópico de dispersión de la luz intraocular [ILD] o por la presencia de un objeto en el campo visual o entre la fuente de luz y el ojo o ante la presencia de una fuente de luz intensa.^{19,20} Existen varios tipos de deslumbramiento; deslumbramiento discapacitante como los faros de los coches que vienen de cara al conducir por la noche, deslumbramiento adaptativo con midriasis traumática, disfotopsia relativa a los halos observados tras la cirugía fotorrefractiva o de cataratas (o un fenómeno similar debido a la falta de transparencia de los medios o inestabilidad de la película lagrimal), y deslumbramiento incomodante, por ejemplo, el inducido por una ventana en una oficina mal acondicionada o reflejos en la pantalla de una tableta.^{19, 21} Independientemente del tipo de deslumbramiento o de su origen (externo o entópico), la

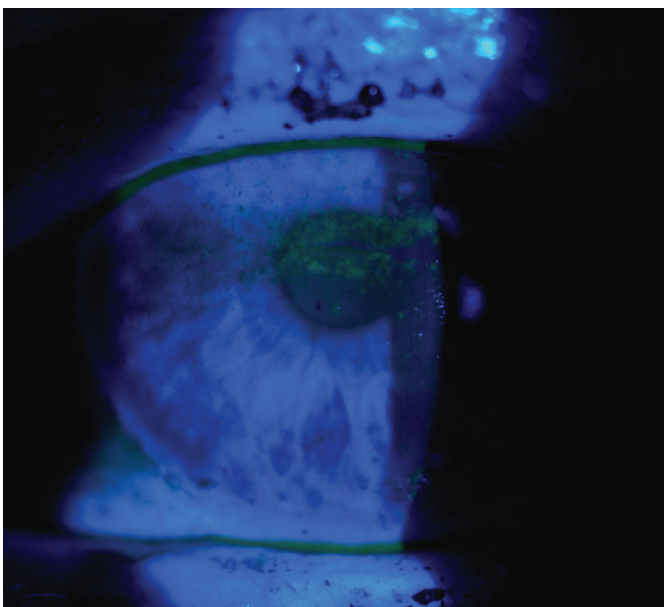


FIG. 1 Queratitis punteada superficial en un paciente que sufre el Síndrome de Sjögren. © Víctor Javier García Molina

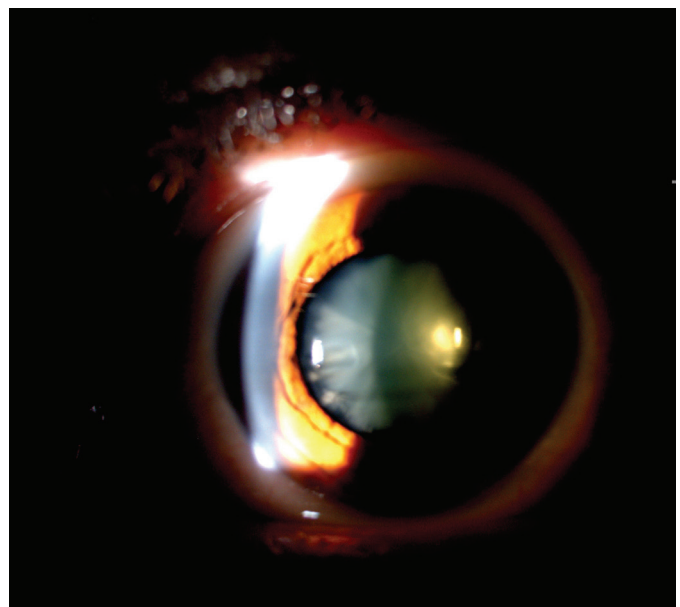


FIG. 2 Catarata, aparte de una baja visión progresiva, una gran fuente de deslumbramiento intraocular. © Víctor Javier García Molina



FIG. 3| Fotografía en color del fondo de ojo de un paciente con DMAE, que muestra la presencia de drusas. © Víctor Javier García Molina

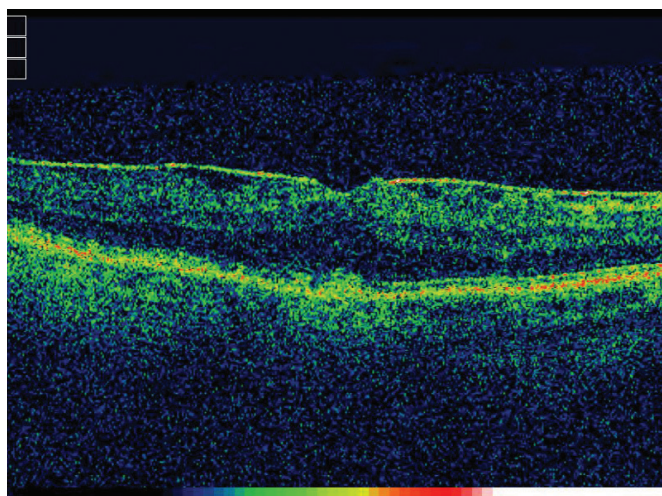


FIG. 4| Imagen OCT de un paciente con DMAE. © Víctor Javier García Molina

luz azul, y por lo tanto la luz LED, es un factor acumulativo.

Las luces LED se encuentran en las pantallas retroiluminadas y también en la iluminación ambiental (oficinas, tiendas, televisores, etc.). Proporcionan mayor luminosidad más eficazmente que otros tipos de bombillas, y una gran proporción de su espectro es de longitudes de onda cortas, lo que aumenta el campo visual y la visión periférica (y lo que explica su uso generalizado en la industria del automóvil). Sin embargo, producen una mayor sensación de molestias por el deslumbramiento²² que otros tipos de bombillas, con un incremento de las molestias asociado al aumento de la luz azul de la fuente de luz.²³ Y en relación con los fenómenos entópicos, la luz azul se asocia directamente al aumento de la difusión de la luz intraocular²⁴, lo que adquiere mayor importancia cuando hay una falta de transparencia de los medios, como con la queratitis derivada de los ojos secos (Fig. 1) o en el caso de cataratas relacionadas con la edad, que, a medida que evolucionan, aumentan la sensibilidad del paciente a la intensidad de la luz y el deslumbramiento.²⁴ (Fig. 2) También sucede en casos de disfunción macular, en la que la imagen retinal se forma con dificultad (degeneración macular asociada a la edad [DMAE], coriorretinopatía serosa central, etc.).

4. Luz azul y daño de las células retinales

La edad, el tabaco, el alcohol, el tipo de piel (I, II, III, IV), la exposición a la radiación ultravioleta (UV), la genética, los factores refractivos y nutricionales (deficiencia de antioxidantes, dietas bajas en vitaminas, etc.), y las enfermedades sistémicas (diabetes, alta presión arterial, etc.), se suelen mencionar como factores de riesgo para las enfermedades visuales más comunes y las complicaciones oculares no refractivas^{25, 26, 27}, DMAE y cataratas. A esto se añade la exposición del ojo a los efectos de la luz visible²⁸, específicamente las longitudes de onda cortas de la luz azul que tienen un posible nexo con la DMAE.^{29, 30, 31, 32} (Fig. 3 y 4)

Los estudios *in vitro* han vinculado la exposición prolongada a la luz azul-violeta a varios tipos de daños retinales (fotoquímicos) debido a los procesos oxidativos y la generación de radicales libres. Aumenta la producción de especies reactivas al oxígeno (ROS) como el peróxido de hidrógeno y los superóxidos.³² Estas ROS son altamente tóxicas y están relacionadas con la muerte de las células fotorreceptoras provocada por el estrés oxidativo. Su generación también produce la activación de Proteínas Quinasas Activadas por Mitógenos (MAPK), que modulan los mecanismos inflamatorios, el estrés y la muerte celular también³³, incluidas las células de los fotorreceptores retinales.³²

Estos procesos *in vitro* se han relacionado con la exposición a la luz LED azul que, comparada con la luz LED verde y blanca, aumenta la producción de ROS y provoca daños en las células derivadas de fotorreceptores.³² Sin embargo, el efecto dependiente de la longitud de onda y su influencia en las degeneraciones retinales inducidas por la luz LED blanca todavía no se conocen perfectamente.³¹ El papel que desempeña la exposición al espectro de luz visible en los posibles daños a la retina³⁴ y su epitelio pigmentario³⁵, y los daños fotoquímicos que inciden en el desarrollo de la DMAE³⁶ se estableció a finales de los sesenta.

Varios estudios han demostrado los mecanismos que desembocan en un aumento en la producción de ROS. La absorción acumulativa de radiaciones azul-violeta del espectro electromagnético por los pigmentos visuales (melanina, melanopsina, flavoproteínas o lipofuscina) aumenta la producción de ROS, que a su vez se relaciona con el desarrollo de la DMAE.^{36, 37} Sin embargo, el papel de la luz azul-violeta en la patogénesis de la DMAE sigue siendo controvertido, sobre todo debido a las limitaciones de los estudios *in vitro* pasados.

5. Luz azul y ciclos fisiológicos

Como animales diurnos, la fisiología humana está regulada en parte por la luz. La luz azul-turquesa, situada entre los 465 y 495 nm, desempeña un papel crítico en la relación entre nuestros ciclos biológicos internos, los ritmos



«Los estudios in vitro han vinculado la exposición prolongada a la luz azul-violeta a varios tipos de daños retinales (fotoquímicos) debido a los procesos oxidativos y la generación de radicales libres».

circadianos, y las condiciones ambientales externas. Las disfunciones en estos ciclos están relacionadas con una amplia variedad de trastornos psicológicos y enfermedades sistémicas: alteraciones del sueño, depresión, ansiedad, obesidad, diabetes, enfermedades cardíacas y embolias, cáncer, etc.^{38, 39, 40, 41, 42, 43} Entre los distintos mecanismos que se han descrito para explicar esta relación, la luz, en particular la luz azul-turquesa, es el agente regulador principal de nuestros ciclos y ritmos biológicos. La opacificación gradual del cristalino debido a la sobreexposición a la luz ultravioleta, que lleva al desarrollo de cataratas, causa una reducción en la transmisión de la luz, especialmente las longitudes de onda cortas.^{44, 45} Tras una operación de cataratas, no solo se recuperan las capacidades visuales, sino que mejora la calidad de vida con menos depresión, recuperación de la rutina del sueño, etc.⁴⁶

Aunque la exposición a la luz azul exterior puede ser eficiente en el tratamiento de distintos trastornos (afectivos, cognitivos, comportamentales; umbrales de reacción más altos) y posiblemente puede regular los errores refractivos⁴⁷, eso no quita que el uso continuado de pantallas retroiluminadas LED de luz azul y la exposición en momentos correspondientes sobre todo (aunque no solo) a ciclos nocturnos, provoca alteraciones del sueño y desórdenes de conducta (irritabilidad, astenia, etc.) debido a la alteración de los ritmos circadianos.^{44, 48}

6. Un arsenal preventivo para los profesionales de la vista

Ante la abundancia de pruebas científicas, los profesionales de la vista se preguntan cuál es la mejor manera de ayudar a los pacientes a prevenir las complicaciones oculares. El enfoque inicial para hacer frente a este problema requerirá un análisis y refracción precisos del sistema binocular para evitar la carga astenópica inducida por los problemas de refracción, acomodación o convergencia. También es fundamental ofrecer al paciente consejos y pautas de higiene visual y postural para reducir el tiempo de exposición a la luz azul y disminuir así la carga CVS.^{49, 50, 51}

El uso de antioxidantes como la N-acetilcisteína o NAC para evitar la producción de ROS inducida por la luz azul-violeta⁵² es una herramienta potencial para tratar algunas de estas complicaciones retinales. Sin embargo, no hay duda de que el uso de filtros selectivos para filtrar las

longitudes de onda azul-violeta ha demostrado ser la solución más completa hasta la fecha.

La idea de que los filtros selectivos pueden aumentar la capacidad visual o reducir el deslumbramiento, la dispersión de la luz y los efectos perjudiciales asociados con las longitudes de onda azul-violeta del espectro visible no es nueva. Muchos vertebrados (incluidos los humanos) tienen filtros intraoculares que minimizan los efectos nocivos de la luz. En el caso de los humanos es el cristalino el que filtra la luz ultravioleta y el pigmento macular que puede proporcionar cierta protección frente a los peligros de la luz visible de longitud de onda corta.⁵³ En 1933, los estudios de Walls y Judd⁵⁴ establecieron un vínculo entre la presencia de estos filtros intraoculares naturales que bloquean la luz azul y el fenómeno de dispersión de la luz asociado con las longitudes de onda cortas del espectro visible. Esto tiene el efecto de aumentar la capacidad visual, reducir el deslumbramiento e incrementar el contraste del fondo de los objetos.^{54, 55}

La cirugía de cataratas provoca una pérdida parcial de nuestra protección natural. Se han llevado a cabo numerosos estudios para evaluar los efectos beneficiosos de las lentes intraoculares (IOL) equipadas con filtros de la luz azul en condiciones reales en comparación de las que no tienen filtros. Estos estudios indican menos molestias por el deslumbramiento, una mejora de la calidad visual, un aumento de la función de sensibilidad al contraste, una mayor diferenciación cromática o capacidad de contraste heterocrómico, y un tiempo de respuesta visual reducido.^{55, 56, 57, 58, 59}

Se ha establecido un vínculo similar con la DMAE. Las evidencias científicas han vinculado el papel de la luz azul con la patogénesis de la DMAE⁶⁰ a través de los procesos oxidativos degenerativos que tienen lugar en la retina.^{60, 61, 62}

Una situación similar puede aplicarse a los filtros de la luz azul diseñados por la industria óptica para estos fines, aunque, independientemente de los datos y pruebas obtenidos en el laboratorio, debe tomarse en consideración el hecho de que la sensación subjetiva de beneficio visual puede variar considerablemente entre personas en condiciones reales, especialmente al evaluar a sujetos con patologías visuales.



«La luz azul es omnipresente y se asocia con un efecto dicotómico, siendo a la vez beneficiosa (luz azul-turquesa) y nociva (luz azul-violeta)».

Los filtros fotoprotectores deberían bloquear las radiaciones de alta energía que pueden dañar el ojo y reducir el deslumbramiento que puede resultar molesto o debilitante.^{63, 64} Muchos estudios han concluido que los filtros de luz azul son más eficientes cuando bloquean las longitudes de onda similares a las filtradas naturalmente por el cristalino (por debajo de 450 nm).⁶⁵ A longitudes de onda por debajo de 460 nm, aumenta la sensibilidad a la luz y la fotofobia a medida que disminuyen las longitudes de onda.⁶⁶ Sin embargo, no deberían filtrar las radiaciones superiores a 480 nm para preservar las funciones fisiológicas críticas que dependen de la luz azul-turquesa y el reflejo pupilar de protección frente a la sobreexposición a la luz. Así pues, es importante que las lentes oftálmicas filtren selectivamente las radiaciones azul-violetas sin filtrar la luz azul-turquesa, para que sean más eficientes contra el deslumbramiento y mejoren la CSF.^{67, 68}

Las pruebas de agudeza visual no son adecuadas para evaluar realmente la conducta visual y el grado de confort de nuestros pacientes en situaciones reales.⁶⁹ El color y una buena sensibilidad al contraste, tanto blanco/negro como policrómico, son un aspecto fundamental de la evaluación teniendo en cuenta el tiempo cada vez mayor pasado mirando documentos, páginas web, videojuegos, etc. Por lo tanto, los filtros que incrementan el contraste son una herramienta importante para los profesionales de la vista. Son especialmente útiles en casos de deslumbramiento y/o falta de transparencia de los medios, que reducen la calidad de la imagen en los pacientes que sufren cataratas, queratitis crónica u ojos secos, defectos pupilares, refracción posoperatoria, etc. En estos casos, la medición de la función de sensibilidad al contraste es esencial para garantizar la optimización con filtros oftálmicos.

7. ¿A quién benefician los filtros de la luz azul?

La respuesta más obvia sería mencionar la lista completa de afecciones oculares antes citadas. Se trata de afecciones en las que el deslumbramiento y la pérdida de la función de sensibilidad al contraste y los trastornos asociados desempeñan un papel importante en las molestias visuales^{70,71}. Del mismo modo, los pacientes con DMAE corren un riesgo mayor, ya que la exposición a la luz azul-violeta puede influir en su enfermedad como en el caso de cualquier persona expuesta a fuentes de luz azul o un entorno dominado por las luces LED blanco frío.

Llegados a este punto, podemos preguntarnos ¿quién no está expuesto a estas afecciones? El papá digital que compra por Internet, la mamá digital que navega por las páginas web, la abuela que habla por Skype, el hombre de negocios que trabaja con una tableta, el niño que chatea desde su smartphone, el adolescente que pasa horas jugando en la videoconsola. Todos nosotros,

independientemente de nuestra edad, podemos sufrir alguna de las complicaciones visuales asociadas a una mayor exposición a la luz azul.

Sin embargo, en un estudio reciente llevado a cabo entre profesionales de la vista españoles, solo el 40% citó al grupo de edad de 0 a 15 años como franja a la que deberían prescribirse lentes que filtran la luz azul-violeta y, del mismo modo para los pacientes de 65 años o más, solo el 30% de los encuestados consideraron necesaria la prescripción de dichas lentes. Es paradójico ya que la franja de edad de 65 o más tiene más probabilidades de sufrir cambios retinales patológicos, donde la transparencia de los medios hace que el uso de filtros que proporcionen la función de sensibilidad al contraste adecuada y protección contra el deslumbramiento sea todavía más importante; y los niños son uno de los grupos de edad más expuestos al uso generalizado de dispositivos con luces LED (Fig. 5). Y, sorprendentemente, solo el 54% de los encuestados pensaba que cualquier usuario se beneficiaría del uso de un filtro de la luz azul, mientras que el 46%



FIG. 5| La generación totalmente digital. © Víctor Javier García Molina



«Debemos concienciar sobre la necesidad de proteger nuestros ojos de los riesgos potenciales de la exposición acumulativa a la luz azul-violeta, empezando por los profesionales y también nuestros pacientes».

restante los consideraba necesarios solo para pacientes que los llevaran para sus actividades profesionales (camioneros, técnicos informáticos, trabajos de oficina, etc.), o para enfermedades oculares.

Conclusión

La luz azul es omnipresente y se asocia con un efecto dicotómico, siendo a la vez beneficiosa (luz azul-turquesa) y nociva (luz azul-violeta). Algunos síntomas provocados por la exposición a la luz azul-violeta pueden ser acumulativos, pero todos estamos en situación de riesgo. Debemos concienciar sobre la necesidad de proteger nuestros ojos de los riesgos potenciales de la exposición acumulativa a la luz azul-violeta, empezando por los profesionales y también nuestros pacientes. Así pues, vamos a seguir adelante con la era “digital”, pero de manera responsable.●



LECCIONES CLAVE

- Las investigaciones sobre la exposición acumulativa a la luz azul-violeta establecen un vínculo con varias afecciones y patologías visuales.
- Según las publicaciones científicas, la exposición a la luz azul influye en numerosos síntomas visuales que van desde las molestias visuales inducidas por el deslumbramiento a las alteraciones de los ciclos fisiológicos que provocan la muerte de las células retinales.
- La reducción de la exposición ocular y la absorción de la luz azul-violeta mejora funciones visuales críticas como la sensibilidad al contraste y limita las alteraciones como la fatiga visual, el deslumbramiento o los ojos secos.
- Las lentes que filtran la luz azul-violeta diseñadas por la industria óptica son útiles para reducir la exposición a la luz azul, ayudan a los profesionales de la vista a tratar una serie de problemas asociados con los daños retinales y ofrecen una solución sencilla y eficaz a sus pacientes.

REFERENCIAS

- 1- The Effect of Blue Light on Visual Fatigue when Reading on Led-Backlit Tablets LCDs. Haruo Isono, Apurva Kumar, Takuya Kamimura, Yuuta Noguchi, Hiroyuki Yaguchi. Tokyo Denki University. VHPp2-9L. 2013.
- 2- Reading on Lcds vs e-ink displays: effects on fatigue and visual strain. E.Siegenthaler, Y. Bochud, P. Bergamin, P. Wurtz. Ophthalmic and Physiological Optics 32, pp 367-374. 2012.
- 3- 2012 & 2016 Digital Eye Strain. Informe del Visual Council. VisualConuncil.org
- 4- Association Between Occupational Asthenopic and psycho-physiological indicators of visual strain in workers using Video Display Terminals. Ruta Ustanivnicne, Vidmantas Januskevicius. MedSciMonit, 2006; 12(7):Cr296-301
- 5- Bergquist U: Video Terminal Displays and Health. Scand J. Work Environment Health 1984;10(Suppl2):1-87
- 6-Bergquist U, Knave BG: Eye discomfort and work with visual display terminals. Scand J. Work Environment Health.1994 (1)27-33.
- 7-“The complex of eye and vision problems related to near work which are experienced during or related to computer use”. American Optometry Association.
- 8- Toda I, Fujishima H, Tsubota K. Ocular Fatigue is the major symptom of Dry Eye. Acta Ophthalmol. (Copenh) 1993; 71:347-352
- 9- Thorud HM, Helland M, Aaras A, Kvistad TM, Lindberg LG, Horgen G. Eye-related pain induced y visually demanding computer work. Optom Vis Sci. 2012; 89:E452-464. Doi:10.1097/OPX.0b013e31824c1801 PMID:22366711.
- 10- Yokoi N, Uchino M, Uchino Y, Dogru M, Kawashima M, Komuro A, et al. Importance of tear film instability in dry eye disease in office workers using visual display terminals: The Osaka Study. Am J Ophthalmol. 2015; 159:748-754. Doi10.1016/j.ajo.2014.12.019 PMID: 25555800.
- 11- Computer Use and Vision-Related Problems Among University Students In Ajman, Arab Emirate N Shantakumari, R Eldeeb, J Sreedharan, K Gopal Ann Med Health Sci Res. 2014 Mar-Apr; 4(2): 258–263. doi: 10.4103/2141-9248.129058.
- 12 - Benedetto S, Drai-Zerbib V, Pedrotti M, Tissier G, Baccino T. E-Readers and Visual Fatigue. Paterson K, ed. PLoS ONE. 2013;8(12):e83676. doi:10.1371/journal.pone.0083676.
- 13 - Patel S, Henderson R, Bradley L, Galloway B, Hunter L (1991) Effect of visual display unit use on blink rate and tear stability. Optometry & Vision Science 68: 888–892 [PubMed].
- 14 - Tsubota K, Nakamori K (1993) Dry eyes and video display terminals. New England Journal of Medicine 328: 584–584 [PubMed].
- 15 - Yamada F (1998) Frontal midline theta rhythm and eyeblinking activity during a VDT task and a video game: useful tools for psychophysiology in ergonomics. Ergonomics 41: 678–688 [PubMed].
- 16-Kaido M, Toda I, Oobayashi T, Kawashima M, Katada Y, Tsubota K (2016) Reducing Short-Wavelength Blue Light in Dry Eye Patients with Unstable Tear Film Improves Performance on Test Visual Acuity. PLoS ONE 11(4): e0152936. Doi:10.1371/journal.pone.0152936.
- 17- Goto E, Yagi Y, Matsumoto Y, Tsubota K. Impaired functional visual acuity of dry eye patients, Am J Ophthalmol. 2002; 133:181-186. PMID:11812420.
- 18- Kaido M, Kawashima M, Yokoi N, Fukui M, Ichihashi Y, Kato H et al. Advanced dry eye screening for visual display terminal workers using functional visual acuity measurement: The Moriguchi study. Br j Ophthalmol. 2015; 99:1488-92.
- 19- Principles of disability glare measurement: an ophthalmological perspective. Tariq M. Aslam, David Haider, Ian Murray. Acta Ophthalmologica Scandinavica 2007: 85:354-360.
- 20- Koch DD. Glare and contrast sensitivity testing in cataract patients. 1989. Journal of Cataract and Refractive Surgery; 15:158-64.
- 21- Van den Berg TJ. On the relation between glare and straylight. 1991. Documenta Ophthalmologica; 78:177-81.
- 22- Discomfort and Disability Glare from Halogen and HID Headlamp Systems. John D.Bullough, Zengwei Fu, John Van Derlofske. Transportation Lighting Group. Lighting Research Center, Rensselaer Polytech Institute. SAE Technical Papers. 2002-01-0010.
- 23- Blue Content of LED HeadLamps and Discomfort Glare. Sivak M., Schoettle B., Minoda T, Flannagan M.J. Febrero de 2005. UMTRI-2005-2.
- 24- Reduced effect of glare disability on driving performance in patients with blue light-filtering IOLs. Rob Gray, Scott A. Perkins, Rajamaram Suryakumar, Brooke Neuman, W. Andrew Maxwell. J. Cataract Refract. Surg. 2011;37:38-44.
- 25- Seddon JM, Reynolds R, Yu Y, Daly MJ, Rosner B (2012). Risk Models for Progression to advanced age-relate macular degeneration using demographic, environmental, genetic and ocular factors. Opthalmology; 118:2203-2211.
- 26- Michael R, Bron AJ. The ageing lens and cataract: a model of normal and pathological ageing. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2011;366(1568):1278-1292. doi:10.1098/rstb.2010.0300.
- 27- Hodge WG, Whitcher JP, Satariano W. Risk Factors for age-related cataracts. Epidemiol Rev.1995;17(2):336-46.
- 28- Taylor, H.R., West, S., Muñoz, B., Rosenthal, F.S., Bressler S.B., et al. The long-term effects of visible light on the eye. 1992. Arch. Ophthalmol. 110,99-104.
- 29- Phototoxic Action Spectrum on a Retinal Pigment Epithelium Model of Age-Related Macular Degeneration Exposed to Sunlight Normalized Conditions. Arnault E, Barrau C, Nanteu C, Gondouin P, Bigot K, et al. (2013). PLoS ONE 8(8): e71398. doi:10.1371/journal.pone.0071398.
- 30- Cruickshanks , K.J., Klein, R., Klein, B.E.K. Sunlight and age-related macular degeneration. The Beaver Dam Eye Study. 1993. Arch. Ophthalmol. 111,514-518.
- 31- Shang YM, Wang GS, Sliney D, Yang CH, Lee LL. 2014. White Light-Emitting Diodes (LEDs) at Domestic Lighting Levels and Retinal Injury in a Rat Model. Environ Health Perspect 122:269-276.
- 32- Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light. Yoshiki Kuse, Kenjiro Ogawa, Kazuhiro Tsuruma, Masamitsu shimazawa, Hideaki Hara. Scientific Report 4, 5223; DOI:10.1038/srep05223 (2014).
- 33- Junttila, M.R., Li, S.P & Westermarck, J. Phosphatse-mediated crossstalk between MAPK signaling pathways in the regulation of cell survival. 2008. FasebJ 22, 954-65.
- 34- Noell, W.K., Walker, V., Kang, B., Berman S. Retinal Damage by Visible Light. Invest Ophthalmol. Invest Ophtalmol. 1966 Vis. Sci. 5, 450-473.
- 35- Arnault E, Barrau C, Nanteau C, Gondouin P, Bigot K, el al. (2013) Phototoxic Action Spectrum on a Retinal Pigment Epithelium Model of Aged-Related Macular Degeneration Exposed to Sunlight Normalized Conditions. PLoS ONE 8(8): e71398. doi:10.10371/journal.pone.0071388.
- 36- T.H. Margrain, M.Boulton, J. Marshall, D.H. Sliney. Do Blue Light filters confer protection against Age-Related Macular Degeneration? Progress in Retinal and Eye Research 23 (2004) 523-531.
- 37- Algvère P, Marshall J, Seregard S. Age-Related maculopathy and the impact of blue light hazard. Acta Ophtalmol Scand.2006; 84:4-15. PMID: 16445433.
- 38- Flo E, Pallesen S, Akerstedt T, et al. Shift-related sleep problems vary according to work schedule. Occup Environ Med 2013;70:238-45.
- 39- Vyas MV, Garg AX, Iansavichus AV, et al. Shift work and vascular events: systematic review and meta-analysis. MBJ 2012;345:e4800.
- 40- Kolstad Ha. Nightshift work and risk of breast cancer and other cancers-a critical review of the epidemiologic evidence. Scand J Work Environ Health 2008;34:5-22.
- 41- Bara AC, Arber S. Working shifts and mental health-findings from the British Household Panel Survey (1995-2005). Scand J Work Environ Health 2009;35:361-7.
- 42- Karlsson B, Knutssin A, Lindahl B. Is there an association between shift work and having a metabolic syndrome? Results from a population bases study of 27485 people. Occup Environ Med 2001;58:747-52.
- 43- MOrikawa Y, Nakagawa H, Miura K, et al. Shift Work and the risk of diabetes mellitus among Japanese male factory workers. Scand J Work Environ Health 2005;31:179-83.
- 44- Kessel L, Lundeman JH, Herbst K, et al. Age-Related changes in the transmission properties of the human lens and their relevance to circadianan entrainment. J. Cataract Refract Surg. 2010;36:308-12.
- 45- Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. Gianluca Tosini, Ian Ferguson, Kazuo Tsubota. Molecula Vision 2016; 22:61-72.
- 46- Nishi T, Saeki K, Obayashi K, et al. The effect of blue-blocking intraocular lenses on circadian biological rhythm: protocol for a randomised controlled trial (CLOCK-IOL, colour study). BMJ Open 2015;5:e007930. doi:10.1136/bmjopen-2015-007930.
- 47- Rucker FJ, Wallman J. Chick Eyes compensate for chromatic simulations of hyperopic and myopic defocus: evidence that the eye uses longitudinal chromatic aberration to guide eye-growth. Vision Res 49(14):1775-1783 (2009).
- 48- Chang Am, Aesenbach D, Duffy Jf, Zeisler CA. Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing and next-
- morning alertness. Proc Natl Acad Sci USA 2015; 112:1232-7. PMID:25535358.
- 49- Screens, Phones, Tablets and more: keeping your eyes safe in a Digital Age. The Vision Council. VisionCouncil.Org Guidelines.
- 50- 2012 Digital Eye Strain. Informe del Visual Council. VisualConuncil.org Guideline.
- 51- 2016 Digital Eye Strain. Informe del Visual Council. VisualConuncil.org. Guideline.
- 52- Kuse Y., Ogawa, K., Tsuruma, K., Shimazawa, M. & Hara, H. Damage of Photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light. Sci Rep. 4, 5223; DOI:10.1038/sre 05223 (2014).
- 53- S Beatty, M Boulton, D Henson, H-H Koh, I J Murray, Macular pigment and age related macular degeneration, Br J Ophthalmol 1999;83:867–877.
- 54- Wall GL, Judd HD. The Intra ocular filters of Vertebrates. Br J Ophthalmol. 1933; 17(11):641-725.
- 55- Billy R Hammonf Jr., Lisa M Renzi, Sohel Sachak, Stephen F Brint., Contralateral Comparison of blue-filtering and non-blue-filtering intraocular lenses: glare disability, heterochromatic contrast, and photostress recovery, Clinical Ophthalmology 2010:4 1465-1473.
- 56- Grzegorz Owczarek, Grzegorz Gralewicz, Natalia Skuza, Piotr Jurowski. Light transmission trough intraocular lenses with or without yellow chromophore (blue light filter) and its potential influence on functional vision in everyday environmental conditions. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 2016. Vol 22, No.1, 66-70.
- 57- Reduced effect of glare disability on driving performance in patients with blue light-filtering IOLs. Rob Gray, Scott A. Perkins, Rajamaram Suryakumar, Brooke Neuman, W. Andrew Maxwell. J. Cataract Refract. Surg. 2011;37:38-44.
- 58- Nishi T, Saeki K, Obayashi K, et al. The effect of blue-blocking intraocular lenses on circadian biological rhythm: protocol for a randomised controlled trial (CLOCK-IOL, colour study). BMJ Open 2015;5:e007930. doi:10.1136/bmjopen-2015-007930.
- 59- Philippe Lacherez, Alexander K. Saeri, Joanne M. Wood, David A. Atchison, Mark S. Horswill. A yellow filter improves response times to low-contrasts targets and traffic hazards. Optometry and Vision Science 1040-55488/13/9003-0000/O Vol 90, NO.3, PP. 00-00.
- 60- T.H. Margrain et al. Do blue light filters confer protection against age-related macular degeneration? Progress in Retinal and Eye Research 23 (2004) 523-531.
- 61- Sparrow, J.R., Zhou, J, Ben-Shabat, S. Vollmer, H., Itagaki, Y., et al. 2002. Involvement of oxidative mechanisms in blue-light-induced damage to A2E-lande RPE. Invest. Ophthalmol. Vis Sci. 43, 1222-1227.
- 62-Rozanowska, M. Jarvisevans, J., Korytowski, W., Boulton, M.E., Burke, J.M., et al 1995. Blue light induced reactivity of retinal age pigment in-vitro generation of oxygen reactive species. J. Biol. Chem. 270. 18825-18830.
- 63- Rachel V. North. 1993 Work and the Eye. Oxford University Press ISBN 0-19-261885-7.
- 64- Koradecha D, editor. Handbook of occupational safety and health. Boca Raton (FL): Taylor & Francis; 2010.
- 65- Boettner E, Wolter J. Transmission of the ocular media. Invest Ophtalmol Vis Sci. 1962; 1(6):776-783.
- 66- Stringham James M., Fuld K., Wenzel Adam J., Action Spectrum for photophobia. J.Opt. Soc. Am. A/Vol.20, No.10/October 2003. OCIS codes:330.1720, 330.6180.
- 67- Leguire LE, Suh S. Effect of light filters on contrast sensitivity function in normal and retinal degeneration subjects. Ophthalmic Physiol Opt. 1993; 113(2):124-128.
- 68- Zigman s. Light Filters to improve vision. Optom Vis Sci. 1992; 69(4):325-328.
- 69- Principles of disability glare measurement: an ophthalmological perspective. Tariq M. Aslam, David Haider, Ian Murray. Acta Ophthalmologica Scandinavica 2007: 85:354-360.
- 70- Principles of disability glare measurement: an ophthalmological perspective. Tariq M. Aslam, David Haider, Ian Murray. Acta Ophthalmologica Scandinavica 2007: 85:354-360.
- 71- Tahzib NG, Bootsma SJ, Eggink FA, Nabar VA & Nujiers RM (2005). Functional outcomes and patient satisfaction after laser in situ keratomileusis for correction of myopia. J Cataract Refract Surg 31:1943-51.