

Evaluación de la performance de filtros ópticos de uso oftálmico utilizando distancias Euclídeas

Evaluation of the performance of optical filters for ophthalmic use employing Euclidean distances

Ratto, Gustavo; Videla, Fabián

Gustavo Ratto

gustavratto@gmail.com

Consultor Independiente, Argentina

Fabián Videla

fabvdla@gmail.com

Centro de Investigaciones Ópticas (CIC, CONICET, UNLP) - Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Ingenio Tecnológico

Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

ISSN-e: 2618-4931

Periodicidad: Frecuencia continua

vol. 3, e019, 2021

ingenio@frlp.utn.edu.ar

Recepción: 24 Marzo 2021

Aprobación: 25 Marzo 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/266/2662024008/index.html>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: El estilo de vida de las sociedades actuales involucra el empleo intenso de pantallas a LED. La radiación luminosa que emana de estos dispositivos posee alto contenido espectral en una región identificada como fototóxica (aproximadamente 380- 500 nm). La exposición a este tipo de radiación es en parte responsable del “estrés ocular digital” y de la alteración de los ritmos circadianos. Frente a esta situación se han sugerido un conjunto de medidas preventivas y paliativas, entre ellas el empleo de anteojos con capacidad para filtrar luz fototóxica.

El presente trabajo compila, en lengua española, información relevante sobre la problemática y, mediante el uso de distancias Euclídeas, como criterio para diferenciar espectros, presenta y discute la performance de distintas lentes disponibles en el mercado con el objetivo de brindar información orientativa sobre su potencial efectividad. Se analizaron lentes transparentes y pigmentadas específicas (publicitadas como protectoras de exceso de luz azul) y pigmentadas no específicas (bajo costo). Nuestros resultados muestran que las lentes transparentes específicas ensayadas no presentan un grado de atenuación significativo en la región fototóxica. Por su parte, las lentes pigmentadas específicas poseen, en general, una muy buena atenuación mientras que las no específicas poseen una moderada capacidad de atenuación.

Palabras clave: Anteojos bloqueadores de luz azul, daño fototóxico, espectros de pantallas, estrés ocular digital, luz azul.

Abstract: The lifestyle of today's societies involves the intensive use of LED screens. The light radiation emanating from these devices has a high spectral content in a region identified as phototoxic (approximately 380- 500 nm). Exposure to this type of radiation is in part responsible for “digital eye strain” and the alteration of circadian rhythms. Faced with this situation, a set of preventive and palliative measures have been suggested, among them, the use of glasses with the ability to filter phototoxic light. The present work compiles, in Spanish language, relevant information on the problematic involved and, by employing Euclidean distances as criterion to differentiate spectra, presents and discusses the performance of different lenses available in the market in order to provide information as guidance on their potential effectiveness. Specific pigmented and transparent lenses (advertised as protective against excess of blue light) and non-specific pigmented (low cost) lenses were analyzed. Our

results show that the specific transparent lenses tested do not present a significant degree of attenuation in the phototoxic region. On the other hand, the specific pigmented lenses generally have a very good attenuation while the non-specific ones have a moderate attenuation capacity.

Keywords: Blue light blocking glasses, phototoxic damage, screen spectra, digital eye strain, blue light.

INTRODUCCIÓN

Generalidades y contexto

En la actualidad, todos los campos de actividad del ser humano (laboral, gestión, acceso a información, comunicaciones, transporte y entretenimiento) se hallan virtualmente mediados por la interacción con pantallas. Este fenómeno, cuyas implicancias fisiológicas son complejas (Wolkoff, 2008), y que comenzó hace pocas décadas con la aparición de las computadoras de uso masivo, abarca a todas las generaciones mostrando una tendencia creciente y acelerada (McGoldrick, 2014; D'Erceville, 2015; Rosenfield, 2016).

El empleo de luz artificial de última generación -iluminación y pantallas basadas en LEDs (LED: light emitting diode)- a cualquier hora del día a lo largo de todo el año es inherente al estilo de vida de gran parte de la población mundial (Czeisler, 2013; Marshall, 2016; Sheppard y Wolffsohn, 2018). Este hecho es muy reciente si se piensa en términos evolutivos- hace solo algo más de 100 años comenzaba la implementación masiva de la luz eléctrica (Rossi, 2019)- por lo que la “adaptación” a la que se ven afectados los individuos de las presentes generaciones no está libre de costos. El concepto de “síndrome de visión debido a la computadora” (un conjunto de síntomas asociados a la demanda visual y ergonómica que excede las posibilidades del usuario) es conocido desde hace décadas pero actualmente, dado el carácter ubicuo de las pantallas, parece quedar mejor descripto por el término “estrés ocular digital”. Tal es la importancia de este fenómeno a nivel individual y su impacto a nivel poblacional que algunos especialistas de la vista sugieren que se realicen modificaciones en los exámenes tradicionales de evaluación del paciente (Rosenfield, 2016). Más aún, el estrés ocular digital comienza a ser considerado como un asunto de salud pública (Randolph, 2017; Coles- Brennan et al., 2019).

En el contexto del estrés ocular digital, son varios los factores que hacen que la interacción del ser humano con pantallas y con iluminación artificial deban ser tenidos en cuenta: uso intensivo de estos dispositivos a lo largo del día, estilos de uso no apropiados ergonómicamente y sin los descansos visuales adecuados, sedentarismo, falta de contacto con la naturaleza, habitar gran parte del día en lugares cerrados, calidad de vida que proporciona el edificio donde se habita, riesgo fototóxico (asociado al daño retiniano y de otros tejidos) y de disrupción de los ritmos circadianos (ciclos que realizan varios parámetros fisiológicos a lo largo de un día) debido a la alta presencia de radiación en la zona del azul, brillo excesivo (alta luminancia - cd m^{-2} : candelas por metro cuadrado-), modulación temporal de la luz (conocida como “flicker” o parpadeo sea este perceptible o no) y otros (Wolkoff, 2008; Sánchez- Ramos Roda, 2010; Behar- Cohen et al., 2011; HCN, 2012; ANSES, 2019a; Rossi, 2019).

Ya en las décadas de 1970 y 1980, se habían comenzado a detectar afecciones musculoesqueléticas y visuales en trabajadores de las terminales de computadoras o en trabajos que requerían de una pantalla como herramienta importante para la realización de tareas (Dain et al., 1988; Collins et al., 1990; Dillon y Emurian, 1995; Thomson, 1998; Freudenthaler et al., 2003; Sheedy y Shaw- McMinn, 2003; Wahlström, 2005; Kirk y Strong, 2010). Hoy en día, la “revolución del LED” (una transición que reemplaza tecnologías tradicionales por el LED) que se halla en marcha, motivada fundamentalmente por el ahorro de energía, ha dado lugar al

desarrollo de discusiones en niveles académicos, sociales, empresariales así como en organismos de regulación respecto de sus implicancias en el corto y largo plazo (Czeisler, 2013; Marshall, 2016; SCHEER, 2018; ANSES, 2019b; Rossi, 2019). Desde hace alrededor de una década han ido surgiendo y estableciéndose distintas medidas paliativas -varias de ellas complementarias- para la problemática que implica la observación frecuente y por largos períodos de pantallas por parte de personas que no necesariamente siguen el régimen de trabajo de una terminal de computadoras. Por ejemplo, recomendaciones como la de limitar el tiempo frente a las pantallas (Renard y Leid, 2016; Stiglic y Vein, 2019), utilizar un antifaz calefactor para recuperarse de síntomas astenópicos (Takahashi et al., 2005), diagnosticar y corregir errores refractivos y anomalías en la vergencia ocular (Coles- Brennan et al., 2019), revisar el mejoramiento de las lentes de contacto y su modalidad de uso (Sheppard y Wolffsohn, 2018), introducir descansos seguidos frente a tareas largas y mirar lejos a intervalos regulares (Munshi et al., 2017), aplicar la regla de 20-20-20 recomendada por la AOA (American Optometric Association- (AOA, 2017), regular la temperatura de color de las pantallas y el brillo como forma de atenuar el contenido de azul (Wood et al., 2013; Chaopu et al., 2018) o emplear software específico para regular las características espectrales de las pantallas (Terman y McMahan, 2013; Ayaki et al., 2017), el sensado de la fatiga ocular por parte del dispositivo como herramienta de autocontrol para el usuario (Thilanka et al., 2016), seguir principios ergonómicos (Sommerich, 2005; Das et al., 2016), acondicionar la luz de los alrededores con lámparas de baja temperatura de color (Jankov et al., 2019), emplear lágrimas artificiales para evitar el síndrome de ojo seco (Sheedy y Shaw-McMinn, 2003), utilizar extractos de plantas medicinales para proteger de daños en la córnea (Lee et al., 2014), realizar terapia visual (Anshel, 2011), practicar ejercicios oculares (Lin et al., 2013; Kim, 2016; Vasiljevas et al., 2019), intercalar técnicas de estiramiento corporal (Anshel, 2005), practicar diariamente una hora de yoga (Telles et al., 2006), incorporar suplementos dietarios (Kijlstra et al., 2012; Abdel-Aal et al., 2013; Hammond et al., 2014; Herman et al., 2017) y utilizar lentes oftálmicas que incluyen a los emétopes (personas con ojos ópticamente normales) tanto en versiones transparentes como pigmentadas (ver subsección siguiente), entre otras alternativas.

Vale decir que, en estos momentos de cambio, dentro de la era tecnológica en la que vivimos, la toma de conciencia de los riesgos de conductas evitables, la prevención y la re-educación se constituyen como herramientas fundamentales (Loh y Sheedy, 2008).

Filtros oftálmicos: antecedentes

Cuando las computadoras fueron introducidas en los lugares de trabajo de forma generalizada las pantallas eran de fondo negro y las letras podían ser blancas, verdes o ámbar (naranja pálido). Basados en teorías vigentes, los profesionales de la visión de la época -décadas de 1970 y 1980 - recomendaban el uso de anteojos levemente coloreados (gris, magenta o azul respectivamente según los colores mencionados de las letras) con el fin de mejorar la performance visual (principalmente la definición). Con la aparición generalizada de pantallas que operaban con muchos colores -décadas de 1980 y 1990 (Henderson, 2009) - se comenzaron a recomendar anteojos coloreados en la gama del rosa con el objetivo de atenuar la luz azul proveniente de la iluminación por tubos fluorescentes que constituían el entorno lumínico de la pantalla (característico de centros de cómputo y oficinas). También en esa época aparecieron los anteojos antirreflejo con el objetivo de mejorar la eficiencia y el confort del usuario (Ceruzzi, 2003; Glasser, 2005).

El empleo de lentes oftálmicas con filtros protectores se extendió a lo largo de los años. Un caso particular lo constituyen las lentes intraoculares utilizadas por pacientes en donde se ha extraído el cristalino (afaquia), las mismas constituyen una referencia al estudiar las lentes extraoculares. Desde la década de 1990 (Downie et al., 2015) apareció la posibilidad de que este tipo de lentes se hallen levemente pigmentadas. De esta manera se intenta imitar el cristalino de la persona que, según avanza en edad, se va tornando más amarillento. Pero han surgido objeciones al empleo de las mismas con el argumento de que pueden alterar la percepción (Mainster y Turner, 2010) o los ritmos circadianos (Mainster y Turner, 2011). Otros estudios (Rosenblum

et al., 2000; Ueda et al., 2009; Henderson y Grimes, 2010; Kessel et al., 2010; Casparis et al., 2012; Kernt et al., 2012; Li et al., 2017; Downie et al., 2018) afirman que dichas lentes no presentan diferencias clínicamente significativas o que, por el contrario, presentan ventajas frente a las totalmente transparentes; aun, en personas con patologías. Algunos autores sostienen que se debe analizar caso por caso (Yang y Afshar, 2014). Por otra parte, hay estudios que muestran que la eficiencia de absorción de luz azul es muy variable entre las distintas marcas de dichas lentes y que es necesario establecer estándares para su correcta comparación (Pons et al., 2007; Downie et al., 2018).

En cuanto al empleo de filtros oftálmicos en anteojos (lentes extraoculares) como forma de protección tampoco hay un acuerdo generalizado (Youssef et al., 2011; O'Hagan et al., 2016; Lawrenson et al., 2017), aunque hay estudios clínicos que alertan sobre el riesgo potencial del uso asiduo de pantallas (Kishi et al., 2010; Alim-Marvasti et al., 2016; Lin et al., 2017; Moon et al., 2017; Sathiamoorthi y Wingerchuk, 2017; Yamauchi et al., 2018; Huang et al., 2019) y cabe agregar que, comparados con los LEDs, los sistemas con OLEDs (LEDs orgánicos) y AMOLEDs (matriz activa de OLEDs) no han sido prácticamente estudiados en relación a su impacto sobre la retina (Clark et al., 2018).

Dada la carencia de estudios clínicos sistemáticos comparables (Downie et al., 2019) algunos profesionales (principalmente ópticos, optómetras y oftalmólogos) y organizaciones, posicionadas en los aspectos preventivos, ponen en consideración o recomiendan el uso de lentes atenuadoras de la radiación de las pantallas a nivel individual y/o general (tal como sugieren los trabajos de Godley et al., 2005; Figueiro et al., 2011; Hammond et al., 2014; Figueiro y Overington, 2015; Ostrin et al., 2017; Munshi et al., 2017; Jankov et al., 2019; OECD, 2019; ANSES, 2019b). Otros profesionales se basan en una evidencia indirecta y en la opinión basada en el consenso profesional y orientada al menor daño potencial (Mercola, 2016; Perlmutter, 2019; Grossman, 2020; HMS, 2020; Wunsch, 2020) teniendo en cuenta a los individuos sin enfermedades en la vista y emétopes. Por otra parte otros prefieren esperar a que haya evidencias clínicas más contundentes (Downie, 2017).

Algunos ejemplos del efecto de atenuación o bloqueo de la luz azul por el empleo de filtros en anteojos son: Zigman (1992) mostró que el bloqueo de longitudes de onda menores a 450 nm (que son las que presentan mayor dispersión en el visible) mejoraba la performance visual en pacientes con opacidades; Kitchel (2000) sugiere el uso de lentes amarillas como protección de la luz fluorescente y de los monitores de computadora; Rosenblum et al. (2000) comprobaron que pacientes con una gran variedad de patologías en los distintos medios oculares y la retina mejoraban la performance visual por el uso de filtros amarillos y anaranjados; Simmers et al. (2001) observaron que pacientes con dislexia y migraña mejoraban la respuesta acomodativa cuando usaban lentes coloreadas; Kayumov et al. (2005) y Sasseville et al. (2006) sugieren la posibilidad de que lentes fuertemente coloreadas (que permiten la secreción natural de melatonina) puedan ser usadas estratégicamente para mejorar la adaptación al sueño en trabajos por turno; Phelps (2008) utilizó anteojos ámbar para producir "oscuridad virtual" (bloqueo de luz azul) obteniendo mejoras en pacientes bipolares con trastornos circadianos; Burkhart y Phelps (2009) utilizaron lentes ámbar en horas de la tarde y demostraron mejoras en la calidad del sueño y en el estado anímico en humanos; Fargason et al. (2013) utilizaron filtros bloqueadores de luz azul para tratar a pacientes con síndrome de hiperactividad y déficit de atención en concomitancia con insomnio, obteniendo mejoras en la ansiedad y en el sueño; Rahman et al. (2013) demostraron que filtrando longitudes de onda hasta aproximadamente 480 nm con filtros interferenciales en anteojos mejoraba la duración y la eficiencia del sueño en trabajadores por turnos cuando cambiaban de turno noche al primer día de turno día; Cheng et al. (2014) examinaron el efecto de filtros de luz azul de distintas densidades en personas con síndrome de ojo seco observando una significativa baja en los síntomas; Lattimore (2015) sugiere la incorporación de filtros de luz azul en anteojos de combate dada la alta demanda de observación de pantallas que requiere un soldado; Van der Lely et al. (2015) mostraron la efectividad de lentes coloreadas en la no afectación de los ritmos circadianos en varones adolescentes que se expusieron a pantallas a LED durante horas de la tarde; Ayaki et al. (2016) observaron mejorías en el sueño de adultos que utilizaban

lentes levemente pigmentadas de marrón cuando realizaban tareas en pantallas luminosas durante dos horas antes de ir a dormir; Esaki et al. (2016) observaron que el uso de lentes ámbar en pacientes con trastornos de demora en la conciliación del sueño resultaba beneficiosa; Kaido et al. (2016) utilizando filtros amarillos en pacientes con ojo seco y lágrima inestable que permanecían largas horas frente a pantallas observaron que mejoraban sus síntomas y funciones visuales; Touitou et al. (2016) analizando un conjunto de factores que producen disrupción en los RC de adolescentes recomiendan el uso de anteojos bloqueadores de luz azul; Colombo et al. (2017) hallaron beneficios en la visión en pacientes con retinopatías que utilizaron lentes que combinan propiedades fotocromáticas y filtrado de azul; Leung et al. (2017) evaluaron lentes transparentes y levemente pigmentadas hallando que las mismas filtraban poca radiación azul al mismo tiempo que no afectaban la performance visual ni la calidad del sueño; Ostrin et al. (2017) encontraron que el uso de filtros amarillos luego de la puesta del sol mejoraba la calidad del sueño subjetivo, la melatonina nocturna aumentaba y así la duración del sueño; Coles- Brennan et al. (2019) recomiendan el uso de bloqueadores de luz azul (genéricos o de precisión) como medio de reducir la fatiga visual que se produce como consecuencia de que la luz azul de las pantallas es la que más se dispersa dentro del ojo dificultando el enfoque; ANSES (2019b) no desestima el empleo de lentes bloqueadoras de luz azul (principalmente los que bloquean hasta 490 nm) aunque señala que no los considera lo suficientemente seguros para ser considerados “equipo de protección”; Giannos et al. (2019) sugieren el uso de lentes bloqueadoras de azul no pigmentadas frente a pantallas a LED.

Fuera del alcance de este trabajo, pero formando parte de su contexto, cabe mencionar que la prestación y efectividad de los anteojos de sol (basadas principalmente en filtrar UV para proteger los ojos y la piel alrededor de ellos) han sido motivo de estudio desde hace muchas décadas (Dain, 2003) y son, aun hoy en día, motivo de debate y de propuestas de mejora (Carnevalle, 2012; Behar- Cohen et al., 2013; Gursoy et al., 2015; Backes et al., 2019).

Objetivo de este trabajo

En las secciones anteriores se ha planteado la problemática asociada al uso intensivo de pantallas en un contexto de transición en las fuentes de iluminación artificial (de tradicionales a fuentes de LED) siendo, en la actualidad, ambas fuentes (luminosas y pantallas) ricas en luz azul. Asimismo se plantearon los potenciales impactos en la salud visual y general.

Dado que hay filtros (lentes) preconizados para paliar algunos de los efectos adversos mencionados, principalmente el impacto producido por la radiación fototóxica (exceso de luz azul) característico de los LED (ANSES, 2019a), el objetivo principal de este reporte es evaluar el grado en que un conjunto de 14 filtros ópticos de uso oftálmico, disponibles en el mercado - transparentes y pigmentados- atenúan la porción del UV-A más cercana al espectro visible (350- 379 nm) y la porción más energética del espectro visible (380- 500 nm) utilizando una fuente con alto contenido espectral en dichas zonas. En un segundo paso nos proponemos mostrar en qué medida los resultados obtenidos con dicha fuente son trasladables a pantallas de uso cotidiano. Para comparar las diferencias de performance entre las lentes se recurrió al cálculo de distancias Euclídeas (medidas de disimilitud) ya que las mismas, permiten cuantificar objetivamente diferencias entre los espectros medidos y establecer un criterio sencillo de clasificación según el grado de atenuación de luz fototóxica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los espectros fueron realizados con un espectrofotómetro “Red Tide USB650 Fiber Optic Spectrometer” de Ocean Optics Inc.® (2009) que posee un rango operativo de 350 a 1000 nm (nanómetros) con una resolución de 1 nm. El mismo se hallaba conectado a una fibra óptica cuyo radio era de 200 nm.

La fuente luminosa utilizada como referencia fue un tubo fluorescente comercial (TFC) de 8W adoptado por poseer emisión dominante en la zona del violeta- azul con presencia de ultravioleta. Los distintos tipos de lentes comerciales (transparentes y pigmentadas) fueron evaluados junto al filtro Corning® 3-69 “Kopp Class 3486 (Sharp Cut Orange Longpass)” con corte en 520 ± 7 nm, que se adoptó como filtro de referencia (FR). Tanto en el caso de las lentes comerciales transparentes (designadas como Tri) como en el de las pigmentadas (designadas como Pigm*i*), en donde *i* es un número arbitrario asignado a una lente en particular, se trata de artículos fabricados en el exterior de origen chino, coreano, estadounidense o alemán. Las lentes transparentes empleadas obedecen todas ellas a artículos publicitados como atenuadores (protectores) de exceso de radiación azul de pantallas. En el caso de las pigmentadas, Pigm1, Pigm2, Pigm6 y Pigm7 corresponden también a artículos publicitados como atenuadores de luz azul mientras que Pigm3, Pigm4, Pigm5 y Pigm8 corresponden a artículos tales como anteojos de seguridad o anteojos coloreados aptos para conducir vehículos en cumplimiento de la normativa europea (no alteran la visión de las señales de tránsito).

En el momento de realizar las mediciones (ver Figura 1 como ejemplo del arreglo experimental), se trabajó en un laboratorio de óptica que se podía oscurecer totalmente, adicionalmente se colocó un cubículo de cartulina negra opaca para asegurar que la única luz que se midiera fuera la de la fuente o la fuente filtrada. La distancia entre la fuente y la fibra óptica fue de alrededor de 60 cm.

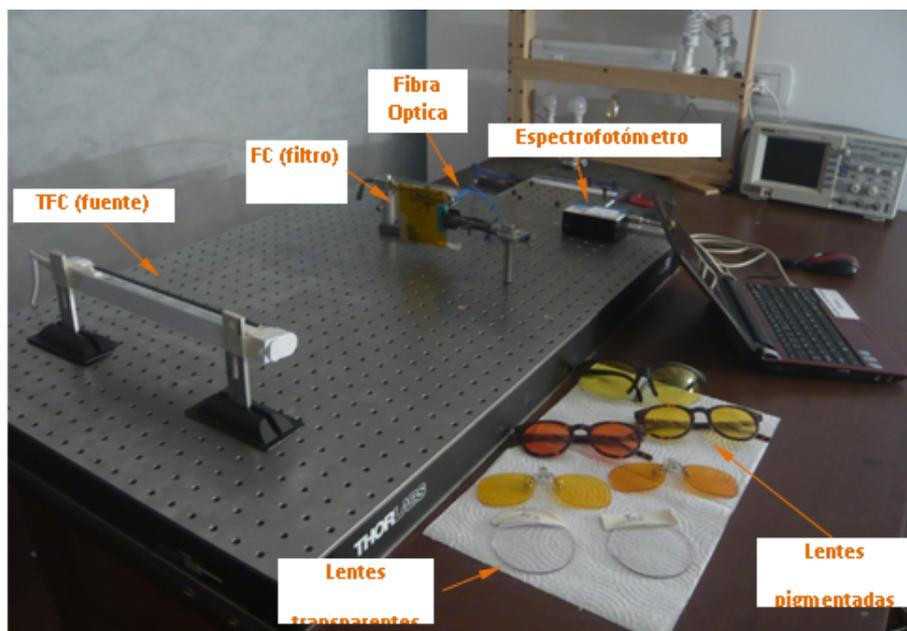


FIGURA 1

Montaje utilizado para realizar las mediciones de los espectros y algunas de las lentes transparentes y pigmentadas utilizadas. La distancia entre la cabeza de la fibra óptica y la fuente de luz fue de alrededor de 50 cm. Un dispositivo muy similar se utilizó para medir la radiación de los monitores empleados en este estudio.

En relación al alcance de la zona UV (ultravioleta) suele haber cuestiones prácticas dentro de las tradiciones disciplinares (oftalmología, dermatología, etc.); en el caso que nos ocupa se adoptó como límite entre la zona UV-A y el visible los 380 nm (Malacara, 2011) pero se debe saber que al tratarse del impacto de la luz UV sobre la vista el rango que se considera llega hasta 400 nm (WHO, 2020). Algunos investigadores sostienen que la radiación de más alta energía dentro del visible tiene un límite de riesgo alrededor de los 455 nm, siendo la porción “turquesa” (entre 465 y 495 nm) de “efecto inofensivo” para el tejido retiniano al mismo tiempo que no afecta a los ritmos circadianos (Dot et al., 2017). Otros sostienen que la porción 470- 490 nm puede ser solamente menos perjudicial que la de 400- 470 nm (Tosini et al., 2016) y que se deben considerar los efectos de largo plazo (Martel, 2018). Otros señalan que la zona de daño retiniano es: 420- 460 nm (Ferguson

et al., 2008); 420- 470 nm (Martel, 2018); 400- 480 nm (Osborne et al., 2014); 400- 460 nm (Behar- Cohen et al., 2011). Otras posiciones señalan que la protección debe llegar aproximadamente hasta los 500 nm ya que la zona 480- 490 nm llamada también melanóptica (ANSES; 2019a), debida a la presencia de fotoreceptores especiales, afecta los ritmos circadianos. Según Hiromoto et al. (2016) el límite de 500 nm representaría la protección más completa, dado que consideran que no debe existir “exceso” de luz azul en ningún momento del día en relación al potencial daño ocular tanto de corto como de largo plazo; por su parte, los ritmos circadianos deben respetarse mediante exposición a la luz beneficiosa del sol (o fuentes apropiadas como en el caso de países nórdicos (Martel, 2018)) en determinados momentos del día (Smolensky et al., 2015; Holick, 2016). Considerando las características de la fuente empleada y lo expuesto arriba se adoptó, para este trabajo, la siguiente división de rangos espectrales: Zona 1 (Z_1): 350- 379 nm, Zona 2 (Z_2): 380- 455 nm, Zona 3 (Z_3): 456- 500 nm, Zona 4 (Z_4): 501- 780 y Zona 5 (Z_5): 781- 1000 nm.

Una forma de objetivar las diferencias entre observaciones (espectros medidos) es recurrir al cálculo de la distancia Euclídea. Esta “suma de cuadrados” permite evaluar de manera no paramétrica cuanto difiere un espectro de otro en relación a un tercero o más, es un criterio de disimilitud (a mayor distancia Euclídea más diferentes se consideran los patrones entre sí) (Rencher, 2002).

La distancia Euclídea al cuadrado puede expresarse como:

$$D^2_{(x,y)} = \sum_{i=1}^p (x_i - y_i)^2$$

siendo x e y dos vectores (en nuestro caso espectros) de p variables (longitudes de onda); x_i representa la amplitud del espectro representado por el vector x en la longitud de onda i , análogamente para y . Esta distancia “directa” da una idea fácilmente interpretable cuando se trata de ver diferencias entre espectros. Cuanto mayor sea la distancia entre los espectros de la fuente de luz sola (TFC) y la misma fuente pero filtrada por el filtro (lente) que se quiere ensayar mayor será la capacidad de atenuación del filtro en la zona de longitudes de onda que se trate. Utilizaremos esta distancia para caracterizar:

- el espectro de la fuente luminosa sola, D_{fuente} , en cuyo caso x representa el vector de la fuente sola e $y=0$
- el espectro de la fuente luminosa cuando se ha interpuesto un filtro (lente), D_{lente} , en cuyo caso x representa el vector de la fuente sola e y el vector de la fuente cuando se ha interpuesto la lente.

Hemos definido el grado de atenuación mencionado para una determinada porción del espectro ($\Delta\lambda$) como:

$$At_{\Delta\lambda} (\%) = \left[1 - \frac{D_{lente}}{D_{fuente}} \right]_{\Delta\lambda} \times 100$$

En las zonas 1, 2 y 3 los mayores valores de atenuación indicarán mayor performance de los filtros. En la zona 4, en cambio, es deseable que los filtros no alteren el espectro de la fuente para que la distorsión de colores se halle minimizada. Resulta deseable que la mejor performance de los filtros se dé cuando los valores de atenuación sean importantes para las zonas 1, 2 y 3 al mismo tiempo que muy bajos para la zona 4. La zona 5 queda fuera del rango visible (infrarrojo cercano).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la próxima subsección se muestra, a modo de ejemplo, la importancia de luz en la zona de violeta- azul en dispositivos de uso diario y constante. En la subsección siguiente se muestran resultados obtenidos de evaluar los distintos filtros frente a la fuente TFC. Finalmente, en la tercera subsección de este título se dan ejemplos de cómo los filtros ensayados atenúan luz proveniente de las pantallas de la primera subsección.

Presencia de luz azul en las pantallas a LED

Aunque en el mercado local es todavía frecuente encontrar monitores planos de cristal líquido conocidos como LCD (liquid crystal display) retroiluminados con lámparas fluorescentes de cátodo frío, en estos últimos años la presencia de monitores a LEDs se ha tornado cada vez más ubicua y predominante.

La Figura 2 muestra el espectro de dos pantallas iluminadas con LEDs. La misma fue obtenida con un montaje similar al mostrado en la Figura 1. El Dispositivo 1 (D1) es el monitor de una “laptop” y el Dispositivo 2 (D2) es una pantalla de un celular. Al momento de realizar las medidas la computadora mostraba un texto escrito en negro con fondo blanco que fue elegido arbitrariamente como referencia, en el teléfono celular se utilizó la opción “fondo blanco”. El grado de ajuste de cada una de estas pantallas se adoptó como aquel en el que los usuarios respectivos utilizan habitualmente sus dispositivos.

Las pantallas de la figura presentan espectros característicos del sistema RGB (Red- Green- Blue) con presencia de picos dominantes en las zonas del rojo, verde y azul. Toda la gama de colores es formada, según este tipo de sistema, como una mezcla de estos tres colores principales. Dado que el “negro” en una pantalla es ausencia de luz (píxeles apagados) la Figura 2 representa el espectro del “blanco” que se percibe en la misma. Ambos dispositivos presentan picos dentro de las zonas de fototoxicidad; D1 posee un pico en 444 nm (final de la Zona 2) mientras que D2 en 456 nm (principio de la Zona 3). Estos picos implican intensidades relativas altas (principalmente D1) respecto de sus respectivos máximos (100%) en la zona del verde. La riqueza de luz fototóxica encontrada en los dispositivos ensayados se halla en consonancia con lo observado por otros autores (Cajochen et al., 2011; Wood et al., 2013; Kim et al., 2015; Hessling et al., 2018).

El espectro en línea segmentada que aparece en la Figura 2 es el de una lámpara incandescente que se tomó como referencia por constituir una fuente lumínica tradicional usada durante muchas décadas sin haberse considerado nunca como riesgosa (Sliney et al., 2016), notar su baja emisión relativa en las zonas 1, 2 y 3. También resulta digno de destacar el hecho de que espectros tan distintos como, por ejemplo, D1 e Inc. (Figura 2) sean percibidos ambos como “luz blanca”! (capacidad integradora de la percepción visual).

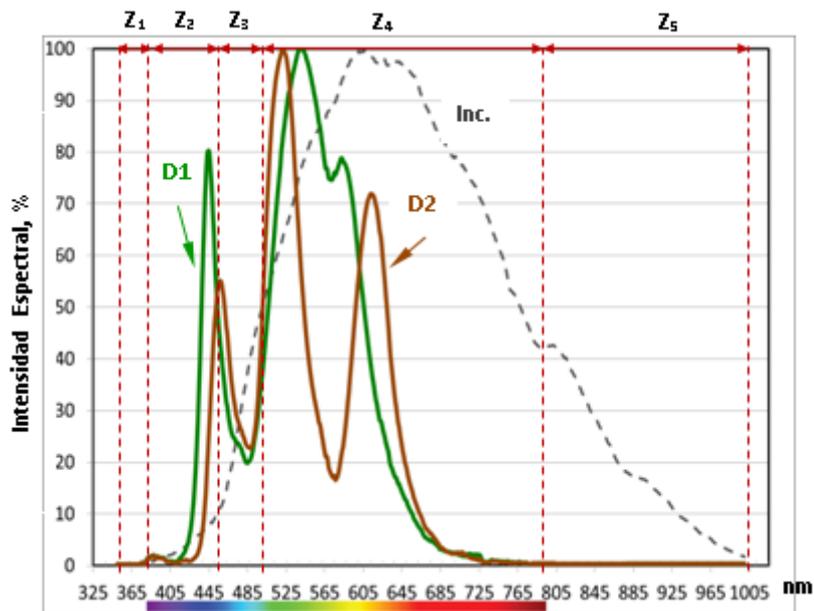


FIGURA 2

Espectros de dos dispositivos (D1 y D2) con pantallas a LED disponibles en las instalaciones del CIOP. En línea segmentada (gris) se halla graficado el espectro de una lámpara incandescente (Inc.). La barra coloreada horizontal por debajo del eje de las X muestra la zona del espectro visible considerado en el rango 380-780 nm (Kaschke et al., 2017). Las líneas verticales a trazo indican la separación de las distintas zonas espectrales definidas para este estudio: Zona 1 (Z₁) 350-379 nm, Zona 2 (Z₂): 380-455 nm, Zona 3 (Z₃): 456-500 nm, Zona 4 (Z₄): 501-780 y Zona 5 (Z₅): 781-1000 nm.

Evaluación de la performance de los filtros ópticos frente al tubo fluorescente comercial (TFC) utilizado como referencia

La Figura 3 muestra el espectro del TFC donde se pueden apreciar los picos característicos debido al mercurio (DiLaura et al., 2011) en la zona ultravioleta (zona 1) y del azul en donde tiene una importante emisión, principalmente en la zona 2. Si a la misma fuente se le interpone el filtro (FR) se obtiene el espectro que se muestra en naranja en donde la emisión en las zonas 1, 2 y 3 es nula, la mayor parte de la radiación de las zonas 4 queda poco afectada mientras que la atenuación en la zona 5 es muy baja. Estas observaciones se hallan reflejadas en los valores de At(%) mostrados en la Tabla 1.

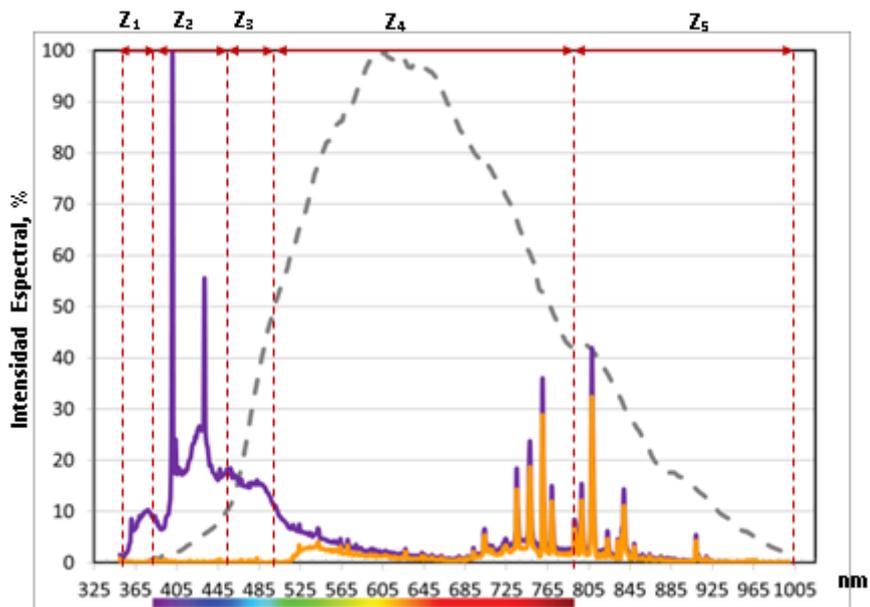


FIGURA 5

Espectro del tubo fluorescente comercial utilizado como fuente de referencia para la evaluación de los distintos filtros (violeta)

Esta fuente presenta su pico principal alrededor de 401 nm y un máximo secundario en 432 nm (ambos pertenecientes a la zona 2). En naranja claro, el espectro que resulta cuando a dicha fuente se le interpone el filtro FR adoptado como referencia (descrito en sección “Materiales y Métodos”). En gris se muestra el espectro de la fuente de luz incandescente ya referida en la Figura 2.

Los espectros obtenidos utilizando lentes transparentes (Tr1 a Tr6) se hallan representados en la Figura 4a,b. La inspección de estas figuras permite apreciar que de forma general, estas lentes poseen una similar capacidad de atenuación, razón por la cual los espectros se hallan fuertemente superpuestos. Excepto por Tr1, todas estas lentes atenúan bien la zona 1.

TABLA 1

Valores de atenuación porcentual para el FR respecto de la fuente de referencia sola

Zonas Espectrales (nm) / Filtro	At (%)
Zona 1 (350- 379)	97
Zona 2 (380- 455)	99
Zona 3 (456- 500)	99
Zona 4 (501- 780)	45
Zona 5 (781- 1000)	27

TABLA 2
Valores de atenuación porcentual para filtros (lentes)
transparentes respecto de la fuente de referencia sola

Zonas Espectrales (nm) / Filtro	At (%)					
	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tr5	Tr6
Zona 1 (350- 379)	71	97	97	96	96	97
Zona 2 (380- 455)	19	45	43	44	38	51
Zona 3 (456- 500)	6	5	4	5	2	20
Zona 4 (501- 780)	25	26	33	31	22	35
Zona 5 (781- 1000)	30	29	37	34	29	37

En la zona 2 se puede apreciar, también de manera generalizada, una zona de atenuación importante hasta aproximadamente los 420 nm, dejando pasar luego la mayor parte de la radiación de la fuente. En la zona 3, Tr1, Tr3 y Tr5 presentan atenuaciones muy bajas mientras que Tr2, Tr4 y Tr6 una atenuación moderada. A partir de la zona 4 la superposición de los espectros de las lentes y la fuente sola es alta. En la Tabla 2, que presenta los valores de atenuación porcentual para los espectros definidos en la Figura 4a,b, pueden apreciarse estas observaciones. Si consideramos los valores de At(%) para las zonas 1 y 2 simultáneamente, Tr6 y Tr2 son las lentes que más prestación dan dentro de este conjunto.

Para el caso de las lentes pigmentadas (Pigm1 a Pigm8), cuyos espectros se hallan representados en las Figuras 4c y d, todos los filtros atenúan casi totalmente la zona 1. Los filtros específicos (Figura 4c) presentan una atenuación casi total en la zona 2 y muy alta en la zona 3. En la zona 4 se observa una diferencia significativa en At(%) entre Pigm6 y el resto (Tabla 3), sugiriendo que es el filtro que menos distorsiona los colores dentro del grupo. Este requisito es deseable para todo tipo de usuario pero se debe aclarar que cuando se trata de emplear anteojos con los tipos de filtros ensayados en la Figuras 4c y d, algunos de ellos están diseñados para atenuar hasta los 500 nm (con el objetivo de no inhibir la secreción de melatonina que comienza en horas avanzadas de la tarde). De requerirse esto último Pigm2 y Pigm7 serían los más apropiados.

TABLA 3
Valores de atenuación porcentual para filtros (lentes)
pigmentados respecto de la fuente de referencia sola

Zonas Espectrales (nm) / Filtro	At (%)							
	Pigm1	Pigm2	Pigm3	Pigm4	Pigm5	Pigm6	Pigm7	Pigm8
Zona 1 (350- 379)	97	98	97	98	98	98	98	98
Zona 2 (380- 455)	98	98	91	99	99	99	99	98
Zona 3 (456- 500)	89	98	33	72	66	94	98	86
Zona 4 (501- 780)	44	52	22	28	26	24	52	57
Zona 5 (781- 1000)	32	34	7	29	39	31	35	42

Dado que los anteojos pigmentados específicos para utilizar frente a pantallas (Pigm1, Pigm2, Pigm6 y Pigm7- Figura 4c) poseen costos de inversión entre 20 y 80 veces mayor que el costo de los anteojos no específicos (Pigm3, Pigm4, Pigm5 y Pigm8) conviene señalar, sin entrar en otros aspectos de calidad de las lentes, el diseño y los marcos, que por ejemplo, Pigm 4 posee muy buena performance de atenuación hasta la zona 3 y baja distorsión de colores en el resto del espectro (Tabla 3).

Comparando de manera general las lentes transparentes frente a las pigmentadas, se puede destacar el hecho de que las transparentes filtran solo parcialmente las longitudes de onda dentro de la zona 2, mientras que las pigmentadas específicas poseen un alto grado de eficacia de atenuación en dicha zona (Tabla 2 y Tabla 3). Además, las pigmentadas específicas (Figura 4c) aseguran una muy buena atenuación en la zona 3 (Tabla 3) dando cumplimiento a lo publicitado. Por su parte, las lentes pigmentadas no específicas (Figura

4d) también poseen una buena capacidad de atenuación en la zona 2 (siendo la de menor eficiencia Pigm3) hecho que se constituye relevante dado el bajo costo de las mismas frente a las transparentes (que cuestan, en el mercado local entre 10 y 15 veces más). Más aún, excepto Pigm3, las lentes no específicas producen buena atenuación en la primera parte de la zona 3 hasta aproximadamente los 460 nm. La falta de concordancia entre el costo de la lente y el nivel de atenuación ha sido encontrada por otros autores (Giannos et al., 2019); cabe señalar aquí que otros criterios de calidad (tales como transparencia, capacidad para absorber reflejos, discriminación de colores o diseño) quedan fuera del alcance de este trabajo.

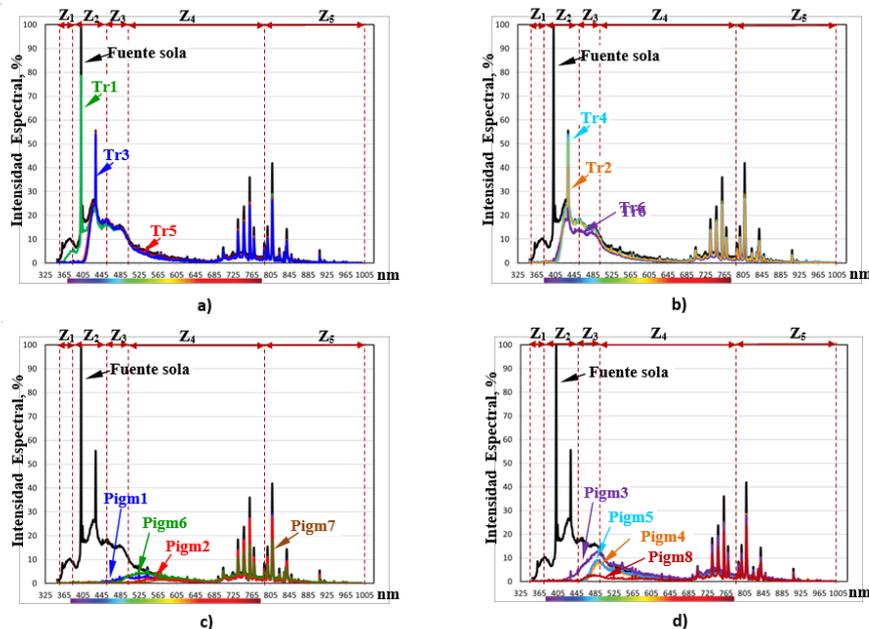


FIGURA 4

Espectros de la fuente de referencia (TFR) sola y los obtenidos interponiendo lentes transparentes Tr1 a Tr6 (Figura 4a,b) y lentes pigmentadas Pigm1 a Pigm8 (Figura 4c,d)

La identificación dada a cada lente fue realizada arbitrariamente; dado el grado de superposición de los espectros obtenidos, su agrupación en una figura se realizó de tal manera de poder apreciar lo mejor posible las diferencias entre los mismos.

La elección de un antejo debe surgir de su adecuación a la tarea y hábitos del usuario, teniendo en cuenta el balance entre fotoprotección y fotorrecepción (Tanito et al., 2018) lo cual debe estar guiada por un profesional de la vista. Según Hiromoto et al. (2016) los filtros que son verdaderamente efectivos para evitar el daño potencial de la luz azul deben operar como mínimo hasta los 460 nm. Los mismos autores destacan que ese nivel de protección corresponde siempre a filtros pigmentados aunque, cabe agregar, que no por ser pigmentados la protección está asegurada (Tanito et al., 2006). Según las muestras ensayadas por ANSES (2019b) los filtros transparentes no logran evitar el efecto supresor de melatonina de la luz azul; más aún, según los autores, la eficacia de protección de los filtros pigmentados es de hasta 4 o 5 veces mayor cuando se los compara con filtros transparentes.

Ejemplos del efecto de atenuación de algunos de los filtros frente a la radiación de monitores

En la subsección “Presencia de luz azul en las pantallas a LED” se mostraron los espectros de dos pantallas típicas en donde se resaltó la presencia de emisiones en la región fototóxica (Figura 2). Tomando como referencia esas dos mismas pantallas se ensayaron, por cuestiones de espacio, cuatro filtros; dos de los filtros transparentes y dos de los pigmentados caracterizados en la subsección “Evaluación de la performance de los

filtros ópticos frente al tubo fluorescente comercial (TFC) utilizado como referencia”. Los mismos fueron elegidos por sus distintos grados de eficiencia en la atenuación en la zona 2; a modo de ejemplo, se adoptó Tr1 por ser uno de los filtros que menos atenúa mientras que Tr2 por ser uno de los que más atenúa (Tabla 2). Dentro de los pigmentados se adoptaron Pigm3 (recordar que Pigm3 es no específico) que es uno de los que menos atenúa y Pigm7 que es uno de los que más atenúa (Tabla 3).

La Figura 5a muestra el espectro de D1 (línea continua negra). Cuando a este dispositivo se le interponen los filtros transparentes Tr1 (línea azul) y Tr2 (línea roja) se observa prácticamente una superposición de espectros. O sea, los filtros transparentes atenúan muy escasamente el contenido espectral en la zona del azul; en el caso de Tr1 el pico de 444 nm disminuye alrededor del 4% (en términos de la escala del eje Y), en el caso de Tr2 un 1%. Es también observable una leve disminución de intensidad en la zona del pico principal de la curva (alrededor de 540 nm). La situación cambia sensiblemente cuando se trata de los filtros pigmentados donde la atenuación es muy importante. En el caso de Pigm3 en 444 nm la radiación baja un 66% mientras que Pigm4 baja casi totalmente. Es destacable notar que el filtro Pigm3 (de tinte amarillo claro) además de absorber fuertemente en las zonas 2 y 3 tiene algo de absorción en la zona 4. Para un usuario de este tipo de filtro esto implicará una leve distorsión en la zona del verde y el amarillo de la pantalla aunque los mismos sean reconocibles.

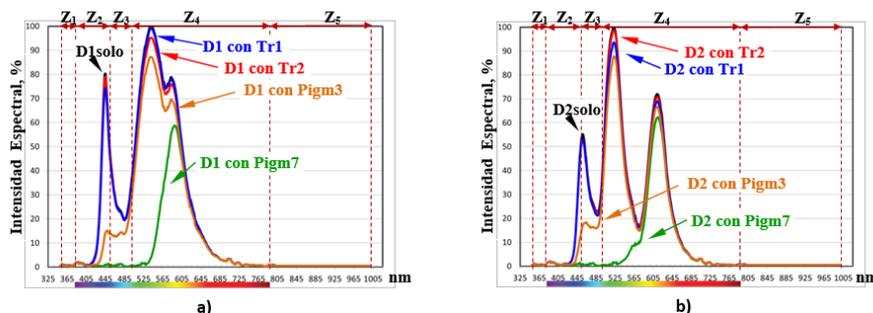


FIGURA 5

a) Espectro de la computadora laptop (D1: dispositivo 1) en modo pantalla con texto (línea de color negro poco apreciable debido a la superposición con otros espectros). En azul se muestra el espectro cuando se interpone la lente Tr1, en rojo la Tr2, en naranja la Pigm3 y en verde Pigm7. b) Idem parte a) para el espectro del teléfono celular (D2: dispositivo 2).

En el caso de Pigm7 (de tinte naranja suave) la absorción es muy fuerte en las zonas 2, 3 y 4 produciendo una importante absorción de radiación incluyendo el verde. Si bien este tipo de filtro distorsiona los colores a tal punto que hasta la región del verde al usuario se le hará difícil distinguir gamas, el mismo cumple con la premisa dada por el fabricante de absorber todas las longitudes de onda que puedan afectar la producción de melatonina (estos son el tipo de anteojos que se recomiendan usar durante la tarde y la noche frente a pantallas).

La Figura 5b muestra el caso del dispositivo D2 (pantalla de celular). Aquí también, como era de esperarse, es apreciable la poca contribución de los filtros transparentes en la atenuación de luz fototóxica. En el caso de Tr1 el pico de 457 nm (comienzo de la zona 3) disminuye alrededor del 2% (en términos de la escala del eje Y), en el caso de Tr2 un 1.5%. Estos filtros transparentes producen leves atenuaciones en los otros dos picos principales del resto del espectro (alrededor de los 522 nm y 613 nm). En el caso de Pigm3 en 457 nm la radiación baja un 42% mientras que Pigm7 baja casi totalmente. La lente con Pigm3 acompaña bien el resto del espectro produciendo solo leves absorciones. En el caso de Pigm7 es notable su absorción en el segundo pico (522 nm) dejando una ventana a partir de aprox. los 565 nm. En resumen, las lentes transparentes no proporcionan ninguna atenuación significativa mientras que las pigmentadas sí. Estas diferencias resultan importantes según las citas referidas en la subsección “Filtros oftálmicos: antecedentes” dado que, por ejemplo, luego de 2 horas de exposición a tabletas (autoiluminadas) los niveles de melatonina pueden disminuir significativamente (Woods et al., 2013). Finalmente, esta subsección nos permite inferir

que la fuente utilizada como referencia (TFC), para la evaluación del conjunto de filtros utilizados, resulta útil para predecir el comportamiento de los distintos filtros frente a fuentes con menor intensidad en la zona fototóxica (pantallas).

CONCLUSIONES

La implementación masiva de productos tecnológicos es tan importante como el medio social en el que tiene lugar; resulta fundamental no perder de vista al sujeto (y su estilo de vida) que es quien vive las consecuencias a nivel individual. El uso intensivo de pantallas representa, en la actualidad, una realidad a la que se le debe prestar la debida atención ya que abarca a la mayoría de los sectores de la población, teniendo en el largo plazo efectos aún desconocidos.

El presente trabajo compila en lengua española información relevante sobre la problemática, su contexto y posibles formas de abordarla. Al mismo tiempo brinda una panorámica y pone énfasis en una de las estrategias paliativas utilizadas como medio de protección frente a las pantallas: anteojos con capacidad de filtrado de luz fototóxica. La situación presente muestra, por un lado, que no hay consenso sobre la necesidad de uso de estos filtros (lentes) y por otro lado, que no hay estudios clínicos sistemáticos que definan el grado de efectividad de dichos filtros. Esta situación trae como consecuencia que no haya lineamientos claros para la adopción de los mismos por parte de los profesionales o el público en general. Concomitantemente y, principalmente durante la última década, los dispositivos a LED se han vuelto cada vez más pervasivos lo cual conlleva riesgos potenciales reconocidos tanto para la salud visual como general. Por lo tanto, conviene destacar que, en la medida de que se les de un uso apropiado, que sean efectivos en la atenuación y que aseguren un balance entre fotoprotección y fotorrecepción los filtros bloqueadores de luz fototóxica pueden constituirse como una estrategia paliativa para los individuos al mismo tiempo que ser un elemento de prevención de costos (futuros) del sistema de salud.

La medición de los espectros resultantes de interponer distintos filtros comerciales (lentes transparentes o pigmentadas) a una fuente con alto contenido de luz violeta- azul (TFC) ha resultado de utilidad para poder comparar el efecto de atenuación de cada uno de dichos filtros. Los resultados obtenidos mostraron ser trasladables cuando en lugar del TFC se emplearon, a modo de ejemplo, el monitor de una laptop y el de un celular (ambos a LED). El uso de distancias Euclídeas permitió, mediante un procedimiento sencillo (fácilmente reproducible), objetivar resultados en base a medidas de atenuación porcentual para las distintas zonas espectrales y poder lograr una caracterización espectral de los filtros ensayados (clasificación según el grado de atenuación).

Los hallazgos de este reporte son orientadores respecto del grado en el que atenúan luz fototóxica un conjunto de 14 filtros comerciales. Se ensayaron tres tipos de filtros, dos de ellos llamados específicos (por ser publicitados como bloqueadores de luz azul y recomendados particularmente para ser usados ante pantallas) entre los que se hallan los transparentes y los pigmentados y, un tercer tipo, al que llamamos no específicos (por ejemplo, anteojos de seguridad con tinte amarillo o anteojos aptos para conducir vehículos). Los filtros transparentes no mostraron buenos niveles de atenuación en la zona de fototoxicidad; en cambio, los pigmentados específicos mostraron un alto grado de atenuación en consonancia con la prestación publicitada. Por su parte, los pigmentados no específicos presentaron niveles de atenuación entre moderado y bueno.

Futuros estudios estarán destinados a evaluar la presencia de luz fototóxica en una muestra grande de pantallas y se brindarán más especificidades en relación a la cantidad de energía que emiten las mismas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Optica Montes de Oca de La Plata y a OptoxVer[®] de Buenos Aires por haber facilitado materiales ópticos para este trabajo, también al Sr. Javier Kohen (EUA) por su contribución altruista con materiales bibliográficos.

REFERENCIAS

- Abdel-Aal, E.S.M., Akhtar, H., Zaheer, K., Alí, R. (2013) Dietary Sources of Lutein and Zeaxanthin Carotenoids and Their Role in Eye Health, *Nutrients*, 5: 1169- 1185.
- Alim- Marvasti, A., Wei, B., Mahroo, O.A., Barbur, J.L., Plant, G.T. (2016) Transient Smartphone “Blindness”. *New England Journal of Medicine*, 374 (25), 2502- 2503. <http://doi.org/10.1056/2FNEJMc1514294>.
- ANSES (2019a) Effects on human health and the environment (fauna and flora) of systems using light-emitting diodes (LEDs), Opinion of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety (Summary), Request No 2014-SA-0253, Maisons-Alfort Cedex, France. Recuperado de: <http://www.anses.fr>
- ANSES (2019b) Effets sur la santé humaine et sur l’environnement (faune et flore) es diodes électroluminescentes (LED) Avis de l’Anses Saisine N°2014-SA-0253, Rapports d’expertise collective, Édition scientifique, Maisons-Alfort Cedex, France. Recuperado de: <http://www.anses.fr>
- Anshel, J. (2005) General Eye Care Tips (Chapter 10). En: Anshel, J. *Visual ergonomics handbook*. Boca Raton, FL, USA: CCR Press.
- Anshel, J. (2011) Therapies, procedures and eyewear for eye care (Part 3). En: *Smart Medicine for your eyes*. New York, USA: Square One Publishers.
- AOA (2017) Computer vision syndrome. *American Optometric Association*. Recuperado de: <https://www.aoa.org/patients-and-public/caring-for-your-vision/protecting-your-vision/computer-vision-syndrome?sso=y> (Marzo 2019).
- Ayaki, M., Hattori, A., Maruyama, Y., Nakano, M., Yoshimura, M., Kitazawa, M., Negishi, K., Tsubota, K. (2016) Protective effect of blue-light shield eyewear for adults against light pollution from self-luminous devices used at night. *Chronobiology International*, 33(1), 1- 6. <https://doi.org/10.3109/07420528.2015.1119158>
- Ayaki, M., Hattori, A., Maruyama, Y., Tsubota, K., Negishi, K. (2017) Large-scale integration in tablet screens for blue-light reduction with optimized color: The effects on sleep, sleepiness, and ocular parameters. *Cogent Biology*, 3(1), 1294550, 1-9. <https://doi.org/10.1080/23312025.2017.1294550>
- Backes, C., Religi, A., Mocozet, L., Behar- Cohen, F., Vuilleimier, L., Bulliard, J.L., Vermez, D. (2019) Sun exposure to the eyes: predicted UV protection effectiveness of various sunglasses. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 29, 753–764. <https://doi.org/10.1038/s41370-018-0087-0>
- Behar- Cohen, F., Martinsons, C., Viénot, F., Zissis, G., Barlier-Salsi, A., Cesarini, J.P., Enouf, O., Garcia, M., Picaud, S., Attia, D. (2011). Light- emitting diodes (LED) for domestic lighting: Any risks for the eye?. *Progress in Retinal and Eye Research*, 30, 239- 257. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2011.04.002>
- Behar- Cohen, F., Baillet, G., de Ayguavives, T., Ortega García, P., Krutmann, J., Peña-García, P., Reme, C., Wolffsohn, J.S. (2013) Ultraviolet damage to the eye revisited: eye-sun protection factor (E-SPF[®]), a new ultraviolet protection label for eyewear. *Clinical Ophthalmology*, 8, 87–104. <http://dx.doi.org/10.2147/OPHTH.S46189>
- Burkhart, K., Phelps, J.R. (2009) Amber lenses to block blue light and improve sleep: a randomized trial. *Chronobiology International*, 26(8), 1602–1612. <https://doi.org/10.3109/07420520903523719>
- Cajochen, C., Frey, S., Anders, D., Späti, J., Bues, M., Pross, A., Mager, R., Wirz-Justice, A., Stefani, O. (2011) Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *Journal of Applied Physiology*, 110, 1432–1438. <https://doi.org/10.1152/japphysiol.00165.2011>

- Carnevale, A., Faez, J., Forteza, J., Valeonti, T. (2012) Do brands and prices of sunglasses ensure adequate UV-radiation protection? Recuperado de: <https://www.semanticscholar.org/paper/Do-brands-and-prices-of-sunglasses-ensure-adequate-Carnevale-Faez/8d4ac376afe8f293fd5154f4028dfbacf775325e> (Febrero 2018)
- Casparis, H., Lindsley, K., Kuo, I.C., Sikder, S., Bressler, N.B. (2012) Surgery for cataracts in people with age-related macular degeneration. *Cochrane Database Systematic Reviews*, (6), 1- 23. <http://doi.org/10.1002/14651858.CD006757.pub3>.
- Ceruzzi, P. E. (2003) Introduction: defining “Computer” (Chapter 1) and augmenting human intellect, 1975–1985 (Chapter 8). En: *A History of Modern Computing*. Cambridge, Massachusetts, USA, The MIT Press.
- Chaopu, Y., Wenqing, F., Jiancheng, T., Fan, Y., Yanfeng, L., Chun, L. (2018) Change of blue light hazard and circadian effect of LED backlight displayer with color temperature and age, *Optic Express*, 26(21), 27021, 1- 12. <https://doi.org/10.1364/OE.26.027021>
- Cheng, H.M, Chen, S.T., Hsiang-Jui, L., Cheng, C.Y. (2014) Does Blue Light Filter Improve Computer Vision Syndrome in Patients with Dry Eye?. *Life Science Journal*, 11(6), 612- 615.
- Clark, A.J., Yang, P., Khaderi, K.R., Moshfeghi, A.A. (2018) Ocular Tolerance of Contemporary Electronic Display Devices. *Ophthalmic Surgery Lasers and Imaging Retina*, 49, 346- 354. <http://doi.org/10.3928/23258160-20180501-08>
- Coles- Brennan, Ch., Sulley, A., Young, G. (2019) Management of digital eye strain. *Clinical and Experimental Optometry*, 102, 18- 29. <http://doi.org/10.1111/cxo.12798>
- Collins, M., Brown, B., Carkeet, A. (1990) Workstation variables and visual discomfort associated with VDTs. *Applied Ergonomics*, 21(2), 157-161
- Colombo, L., Melardi, E., Ferri, P., Montesano, G., Samir Attaalla, S., Patelli, F., De Cillá, S., Saravesi, G., Riseti, L. (2017) Visual function improvement using photochromic and selective blue-violet light filtering spectacle lenses in patients affected by retinal diseases. *BMC Ophthalmology*, 17(149), 1-6. <http://doi.org/10.1186/s12886-017-0545-9>
- Czeisler, C. A. (2013) Casting light on sleep deficiency. Perspective. *Nature*, 497 (7450) S13. <http://doi.org/10.1038/497S13a>.
- Dain, J., McCarthy, A.K., Chan-Ling, T. (1988) Symptoms in VDU Operators. *American Journal of Optometry & Physiological Optics*, 65(3), 162- 167.
- Dain, S.J. (2003) Sunglasses and sunglass standards. *Clinical and Experimental Optometry*, 86(2), 77-90.
- Das, S., Das, R., Kumar, A. (2016) Computer Vision Syndrome and Its Risk Factors Among Professional College Students of Agartala: A Cross Sectional Study. *International Journal of Scientific Research*, 5(6), 27- 29.
- D’Erceville, S. (2015) The world of multiple screens: a reality that is affecting users’ vision and posture. Points de Vue N° 72. En: *UV and Blue-Violet Light Ocular risks and prevention. Special Edition #2, Collection of articles 2011 to 2017*. Recuperado de: <http://www.pointsdevue.com>.
- DiLaura, D.L., Houser, K.W., Mistrick, R.G., Steffy, G.R. (2011) Light Sources, Technical Characteristics (Chapter 7). En: *The Lighting Handbook*, Tenth Edition, New York, New York, Illuminating Engineering Society of North America.
- Dillon, T.W., Emurian, H. H. (1995) Reports of visual fatigue resulting from use of a video display unit. *Computers in Human Behavior*, 11(1), 77-84.
- Dot, C., Colombo, L., Korobelnik, J.P., Lamoureux, A., Orduna-Magán, C., Picaud, S., Tolentino, M., Wolffsohn, J. (2017) Ocular light toxicity and the requirement for protection. Position Paper. *Points de Vue, International Review of Ophthalmic Optics*. Recuperado de: http://www.pointsdevue.com/sites/default/files/ocular_light_toxicity_and_the_requirement_for_protection_1_0.pdf#search=%27ocular+light+toxicity+and+position+paper%27
- Downie, L.E., Busija, L., Keller, P. (2015) Blue-light filtering intraocular lenses (IOLs) for protecting macular health. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 11, 1- 14. CD011977. <http://doi.org/10.1002/14651858.CD011977>.
- Downie, L.E. (2017) Blue-light filtering ophthalmic lenses: to prescribe, or not to prescribe? *Ophthalmic & Physiological Optics*, 37, 640–643

- Downie, L.E., Busija, L., Keller, P. (2018) Blue-light filtering intraocular lenses (IOLs) for protecting macular health. Review. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 5, 1- 170. CD011977. <http://doi.org/10.1002/14651858.CD011977.pub2>.
- Downie, L.E., Keller, P.R., Busija L., Lawrenson J.G., Hull CC. (2019) Blue-light filtering spectacle lenses for visual performance, sleep, and macular health in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 1, 1- 17. CD013244. <http://doi.org/10.1002/14651858.CD013244>.
- Esaki, E., Kitajima, T., Ito, Y., Koike, S. Nakao, Y., Tsuchira, A., Hirose, M., Iwata, N. (2016) Wearing blue light-blocking glasses in the evening advances circadian rhythms in the patients with delayed sleep phase disorder: An open-label trial. *Chronobiology International*, 1-8. <http://doi.org/10.1080/07420528.2016.1194289>
- Fargason, R.E., Preston, T., Hammond, E., May, R., Gamble, K.L. (2013) Treatment of attention deficit hyperactivity disorder insomnia with blue wavelength light-blocking glasses. *ChronoPhysiology and Therapy*, 3, 1- 8. <http://dx.doi.org/10.2147/CPT.S37985>
- Ferguson, L., Melton, A., Li, N., Nicol, D., Park, E.H., Tosini, G. (2008) Imitating broadband diurnal light variations using solid state light sources. *Journal of Light and Visual Environment*, 32(2), 63- 68.
- Figueiro, M.G., Wood, B., Plitnick, B., Rea, M.S. (2011) The impact of light from computer monitors on melatonin levels in college students. *Biogenic Amines*, 25(2), 106–116
- Figueiro, M., Overington, D. (2015) Self-luminous devices and melatonin suppression in adolescents. *Lighting Research & Technology*, 0, 1–10. <http://doi.org/10.1177/1477153515584979>
- Freudenthaler, N., Neuf, H., Kadner, G., Scholte, T. (2003) Characteristics of spontaneous eyeblink activity during video display terminal use in healthy volunteers. *Graefé's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, (241), 914–920. <http://doi.org/10.1007/s00417-003-0786-6>
- Giannos, S.A., Kraft, E.R., Lyons, L.J., Gupta, P.K. (2019) Spectral evaluation of eyeglass blocking efficiency of ultraviolet/high-energy visible blue light for ocular protection. *Optometry and Vision Science*, 96(7), 513- 522. <http://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001393>
- Glasser, S. (2005) Vision Examinations and Glasses (Chapter 7). En: Anshel, J. *Visual ergonomics handbook*. Boca Raton, FL: CCR Press.
- Godley, B.F., Shamsi, F.A., Liang, F.Q., Jarrett, S.G., Davis, S., Boulton, M. (2005) Blue light induces mitochondrial DNA damage and free radical production in epithelial cells. *The Journal of Biological Chemistry*, 280(22), 21061- 21066. <http://doi.org/10.1074/jbc.M502194200>
- Grossman, M. (2020) Blue light filtering glasses protect your eyes from sun and screen damage. *Website: Your Guide to Better Vision*. Recuperado de: <https://www.drgrossman2020.com/post/blue-light-filtering-glasses-protect-your-eyes-from-sun-and-screen-damage>
- Gursoy, H., Basmak, H., Esen, H., Esen, F. (2015) Transmittance spectrum of unbranded sunglasses using spectrophotometer. *Open Journal of Ophthalmology*, 5, 1-5. <http://dx.doi.org/10.4236/ojoph.2015.51001>
- Hammond, B.R., Johnson, B.A., George, E.R. (2014) Oxidative photodegradation of ocular tissues: Beneficial effects of filtering and exogenous antioxidants. *Experimental Eye Research*, 129, 135- 150. <http://dx.doi.org/10.1016/j.exer.2014.09.005>
- HCN (2012) Health effects due to computer use at work (Chapter 3). En: *Computer use at work*. The Hague, The Netherlands: Health Council of the Netherlands.
- Henderson, B. (2009) Monitor. En: *Encyclopedia of computer science and technology*. New York, USA: Facts On File. (p.317- 318).
- Henderson, B.A., Grimes, K.J. (2010) Blue-blocking IOLs: A complete review of the literature. *Survey of Ophthalmology*, 55(3), 284- 289.
- Herman, J.P, Kleiner-Goudey, S.J., Davis, R.L. (2017) Case report of dietary supplements improving macular pigment and visual function. *Advances in Ophthalmology & Visual System*, 6(1): 1- 11.
- Hessling, M., Koelbl, P.S., Lingenfelder, C. (2018) LED illumination- A hazard to the eye? *Optik & Photonik*, 4, 40- 44.

- Hiromoto, K., Kuse, Y., Tsuruma, K., Tadokoro, N., Kaneko, N., Shimazawa, M., Hara, H. (2016) Colored lenses suppress blue light-emitting diode light-induced damage in photoreceptor-derived cells, *Journal of Biomedical Optics*, 21(3), 1- 10. <http://dx.doi.org/10.1117/1.JBO.21.3.035004>
- HMS (2020) Blue light has a dark side. *Harvard Health Letter, Harvard Medical School*. Recuperado de: <https://www.health.harvard.edu/staying-healthy/blue-light-has-a-dark-side>
- Holick, M.F. (2016) Biological effects of sunlight, ultraviolet radiation, visible light, infrared radiation and vitamin D for health. *Anticancer Research*, 36: 1345-1356.
- Huang, X.D., Gao, X., Gao, L., Gang, M., Zhang, J. (2019) Suspected macular light damage caused by excessive use of smartphone. *Chinese Medical Journal*, 132(16), 2013–2014. <http://doi.org/10.1097/CM9.0000000000000379>
- Jankov, M.R., Jaksic, V., Koruga, D. (2019) Clinical impact of nanophotonic blue-light filtering spectacles based on fullerene C60 and PMMA. *Vojnomedicinska Akademija*, 1- 16, on line first. <https://doi.org/10.2298/VSP190522082J>
- 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 tests of visual acuity. *PLoS ONE*, 11(4): 1- 10. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0152936>
- Kaschke, M., Donnerhacke, K.H., Rill, M.S. (2014) Optics of the Human Eye (Chapter 2) En: *Optical Devices in Ophthalmology and Optometry*. Weinheim, Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Kayumov, L., Casper, R.F., Hawa, R.J., Perelman, B., Chung, S.A., Sokalsky, S., Shapiro, C.M. (2005) Blocking Low-Wavelength Light Prevents Nocturnal Melatonin Suppression with No Adverse Effect on Performance during Simulated Shift Work. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 90(5):2755–2761. <http://doi.org/10.1210/jc.2004-2062>
- Kernt, M., Walch, A., Neubauer, A.S., Hirneiss, C., Haritoglou, C. Ulbig, M.W. , Kampik, A. (2012) Filtering blue light reduces light-induced oxidative stress, senescence and accumulation of extracellular matrix proteins in human retinal pigment epithelium cells. *Clinical and Experimental Ophthalmology*, 40, 87–97. <http://doi.org/10.1111/j.1442-9071.2011.02620.x>
- Kessel, L., Lundeman, J.H., Herbst, K., Andersen, T.V., Larsen, M. (2010) Age-related changes in the transmission properties of the human lens and their relevance to circadian entrainment. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 36, 308–312. <http://doi.org/10.1016/j.jcrs.2009.08.035>
- Kijlstra, A., Tian, Y., Kelly, E., Berendschot, T.J.M (2012) Lutein: more than just a filter for blue light. *Progress in Retinal and Eye Research*, 31, 303- 315.
- Kim, H., Kim, H.S., Jung, C.H., Yoon, I. (2015) A method for reducing blue light hazard from white light-emitting diodes using colorimetric characterization of the display. *International Journal of Control and Automation*, 8(6), 9- 18. <http://dx.doi.org/10.14257/ijca.2015.8.6.02>
- Kim, S.D. (2016) Effects of yogic eye exercises on eye fatigue in undergraduate nursing students. *The Journal of Physical Therapy Science*, 28, 1813- 1815.
- Kirk, E. , Strong, J. (2010) Management of eWork health issues: a new perspective on an old problem. *Work*, 35 (173), 173- 181. <http://doi.org/10.3233/WOR-2010-0969>
- Kishi, S., Li, D., Takahashi, M., Hashimoto, H. (2010) Photoreceptor damage after prolonged gazing at a computer game display. *Japanese Journal of Ophthalmology*, 54, 499–516. <http://doi.org/10.1007/s10384-010-0849-2>
- Kitchel, K. (2000) The effects of blue light on ocular health. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 94(6), 399-403. <https://doi.org/10.1177/0145482X0009400606>
- Lattimore, M.R. (2015) Combatant eye protection: an introduction to the Blue Light Hazard. USAARL Report No. 2016-08, Alabama, USA, United States Army Aeromedical Research Laboratory. Recuperado de: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1005246.pdf>
- Lawrenson, J.G., Hull, C.C., Downie, L.E. (2017) 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 and Physiological Optics*, 37, 644– 654. <https://doi.org/10.1111/opo.12406>

- Lee, J.B., Kim, S.H., Lee, S.C., Kim, H.G., Ahn, H.G., Li, Z., Yoon, K.C. (2014) Blue Light-induced Oxidative Stress in Human Corneal Epithelial Cells: Protective Effects of Ethanol Extracts of Various Medicinal Plant Mixtures. *Invest Ophthalmol Vis Sci.*, 55, 4119– 4127. <http://doi.org/10.1167/iops.13-13441>
- Leung, T.W., Li, R.W., Kee, C. (2017) Blue-Light Filtering Spectacle Lenses: Optical and Clinical Performances. *PLoS ONE*, 12(1): 1 - 15. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0169114>
- Li, X., Kelly, D., Nolan, J.M., Dennison, J.L., Beatty, S. (2017) The evidence informing the surgeon's selection of intraocular lens on the basis of light transmittance properties. *Eye*, 31, 258–272. <http://doi.org/10.1038/eye.2016.266>.
- Lin, Z., Vasudevan, B., Jhanji, V., Gao, T.Y., Wang, N.L., Wang, Q., Wang, J., Ciuffreda, K.J., Liang, Y.B. (2013) Eye exercises of acupoints: their impact on refractive error and visual symptoms in Chinese urban children. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 13 (306), 1- 9.
- Lin, C.H., Wu, M.R., Li, C.H., Cheng, H.W., Huang, S.H., Tsai, C.H., Lin, F.L., Ho, J.D., Kang, J.J., Hsiao, G., Cheng, Y.W. (2017) Periodic Exposure to Smartphone-Mimic Low-Luminance Blue Light Induces Retina Damage Through Bcl-2/BAX-Dependent Apoptosis. *Toxicological Sciences*, 157(1), 196– 210. <http://doi.org/10.1093/toxsci/kfx030>
- Loh, K.H., Reedy, S.C. (2008) Understanding and preventing computer vision syndrome. *Malaysian Family Physician*, 3 (3), 128- 130.
- Mainster, M.A., Turner, P.L. (2010) Blue-blocking IOLs Decrease Photoreception Without Providing Significant Photoprotection. *Survey of Ophthalmology*, 55 (3), 272- 283. <http://doi.org/10.1016/j.survophthal.2009.07.006>
- Mainster, M.A., Turner, P.L. (2011) Blue-Blocking IOLs vs. Short-Wavelength Visible Light: Hypothesis-Based vs. Evidence-Based Medical Practice. *Ophthalmology*, 118 (1), 1- 2. <http://doi.org/10.1016/j.optha.2010.11.016>
- Malacara, D. (2011) The Nature of Color (Chapter 1) En: *Color vision and colorimetry: theory and applications*. Bellingham, Washington, USA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE).
- Marshall, J. (2016) Light in man's environment. *Eye (advance online publication)*, 30, 211–214. <http://doi.org/10.1038/eye.2015.265>
- Martel, A. (2018) Light Medicine: The Modern Use of Phototherapy (Chapter 5) En: *Light Therapies. A complete guide to the healing power of light*. Rochester, Vermont, USA: Healing Arts Press.
- McGoldrick, J. (2014) Multiscreening and simultaneous media use: unlocking the golden age of digital advertising. *Forbes*, March 17, CMO Network. Recuperado de: <https://www.forbes.com/sites/onmarketing/2014/03/17/multiscreening-and-simultaneous-media-use-unlocking-the-golden-age-of-digital-advertising/?sh=74ae9ef56ba5> (Dec 2020).
- Mercola, J. (2016) Are there benefits to blue-blocking glasses?. *Organic Consumers Association*. Recuperado de: <https://www.organicconsumers.org/news/are-there-benefits-blue-blocking-glasses>
- Moon, J., Yun, J., Yoon, Y.D., Park, S.II., Seo, Y.J., Park, W.S., Chu, H.Y., Park, K.H., Lee, M.Y., Lee, C.W., Oh, S.J., Kwak, Y.S., Jang, Y.P., Kang, J.S. (2017) Blue light effect on retinal pigment epithelial cells by display devices. *Integrative Biology*, 9(5), 436-443. <https://doi.org/10.1039/c7ib00032d>
- Munshi, S., Varghese, A., Dhar-Munshi, S. (2017) Computer vision syndrome—A common cause of unexplained visual symptoms in the modern era. *The International Journal of Clinical Practice*, 71(7), e12962. <http://doi.org/10.1111/ijcp.12962>
- OECD (2019) *Impacts of Technology use of children: exploring literature on the brain, cognition and well-being*. OECD Education Working Paper No. 195, EDU/WKP(2019)3, Organisation for Economic Co-operation and Development, France, Paris, OECD Publishing. Recuperado de: <http://www.oecd.org/edu/workingpapers>
- O'Hagan, J.B., Khazova, M., Price, L.L.A. (2016) Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard. *Eye*, 30, 230-233. <http://doi.org/10.1038/eye.2015.261>
- Osborne, N.N., Nuñez- Alvarez, C., del Olmo- Aguado, S. (2014) The effect of visual blue light on mitochondrial function associated with retinal ganglions cells. *Experimental Eye Research*, 128, 8- 14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.exer.2014.08.012>

- Ostrin, L.A., Abbott, K.S., Queener, H.M. (2017) Attenuation of short wavelengths alters sleep and the ipRGC pupil response. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 37, 440–450. <https://doi.org/10.1111/opo.12385>
- Phelps, J. (2008) Dark therapy for bipolar disorder using amber lenses for blue light blockade. *Medical Hypotheses*, 70, 224– 229. <http://doi.org/10.1016/j.mehy.2007.05.026>
- Perlmutter, D. (2019) Amber Glasses for Better Sleep. *davidperlmutter MD empowering neurologist*. Recuperado de: <https://www.drperlmutter.com/amber-glasses-for-better-sleep/>
- Pons, A., Delgado, D., Campos, J. (2007) Determination of the action spectrum of the blue-light hazard for different intraocular lenses. *Journal of the Optical Society of America A*, 24(6), 1545- 1550.
- Rahman, S.A., Shapiro, C.M., Wang, F., Ainlay, H., Kazmi, S., Brown, T.J., Casper, R.F. (2013) Effects of filtering visual short wavelengths during nocturnal shiftwork on sleep and performance. *Chronobiology International*, 30(8): 951– 962. <http://doi.org/10.3109/07420528.2013.789894>
- Randolph, S.A. (2017) Computer Vision Syndrome. *Workplace Health & Safety*, 328. <http://doi.org/10.1177/2165079917712727>
- Renard, G., Leid, J. (2016) Les dangers de la lumière bleue: la vérité!. *Journal française d'ophtalmologie*, 39, 483- 488.
- Rencher, A. C. (2002) Cluster analysis (Chapter 14) En: *Methods of Multivariate Analysis*, Second Edition. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Rosenblum, Y.Z., Zak, P.P., Ostrovsky, M.A., Smolyaninova, I.L., Bora E.V., Dyadina, U.V., Trofimova, N.N., Aliyev, A.G.D. (2000) Spectral filters in low-vision correction. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 20 (4), 335–341.
- Rosenfield, M. (2016) Computer vision syndrome (a.k.a. digital eye strain). *Optometry in Practice*, 17 (1), 1- 10.
- Rossi, M. (2019) Introduction: from chronobiology to lighting (Chapter 1). En: *Circadian Lighting Design in the LED Era*. Cham, Switzerland: Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-11087-1>.
- Sánchez- Ramos Roda, C. (2010) *Filtros ópticos contra el efecto fototóxico del espectro visible en la retina: experimentación animal*. Tesis Doctoral. Universidad Europea de Madrid, Madrid.
- Sasseville, A., Paquet, N., Sévigny, S., Hébert, M. (2006) Blue blocker glasses impede the capacity of bright light to suppress melatonin production. *Journal of Pineal Research*, 41, 73–78. <http://doi.org/10.1111/j.1600-079X.2006.00332.x>
- Sathiamoorthi, B.S., Wingerchuk, D.M. (2017) Transient Smartphone blindness: relevance to misdiagnosis in neurologic practice. *Neurology*, 88, 1-3. <http://doi.org/10.1212/WNL.0000000000003639>
- SCHEER (2018) Opinion on potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs). Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER), European Commission, DG Health and Food Safety, Luxembourg. Recuperado de: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/experts/declarations/scheer_wg_en
- Shechter, A., Kim, E.W., St-Onge, M.P., Westwood, A. (2018) Blocking nocturnal blue light for insomnia: A randomized controlled trial. *Journal of Psychiatric Research*, 96, 196- 202.
- Sheedy, J.E., Shaw-McMinn, P.G. (2003) *Diagnosing and treating computer-Related vision problems*. Burlington, MA, USA: Butterworth Heinemann- Elsevier Science.
- Sheedy, J.E. (2005) Office lighting for computer use (Chapter 5). En Anshel, J., *Visual ergonomics handbook*. Boca Raton, FL: CCR Press.
- Sheppard, A.L., Wolffsohn, J.S. (2018) Digital eye strain: prevalence, measurement and amelioration. *BMJ Open Ophthalmology*, 3, e000146. <http://doi.org/10.1136/bmjophth-2018-000146>
- Simmers, A.J., Gray, L.S., Wilkins, A.J. (2001) The influence of tinted lenses upon ocular accommodation. *Vision Research*, 41, 1229–1238.
- Sliney, D., Bergman, R., O'Hagan, J. (2016) Photobiological Risk Classification of Lamps and Lamp Systems—History and Rationale. *Leukos*, 00, 1–22. <http://doi.org/10.1080/15502724.2016.1145551>
- Sommerich, C.M. (2005) General ergonomics principles (Chapter 6). En Anshel, J., *Visual ergonomics handbook*. Boca Raton, FL: CCR Press.

- Smolensky, M. H., Sackett-Lundeen, L.L., Portaluppi, F. (2015) Nocturnal light pollution and underexposure to daytime sunlight: complementary mechanisms of circadian disruption and related diseases. *Chronobiology International*, 32(8), 1029-1048. <http://doi.org/10.3109/07420528.2015.1072002>
- Stiglic, N., Viner, R.M. (2019) Effects of screentime on the health and well-being of children and adolescents: a systematic review of reviews. *BMJ Open*, 9, e023191. <http://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-023191>
- Takahashi, T., Igaki, M., Suzuki, A., Takahashi, G., Dogru, M., Tsubota, K. (2005) The Effect of Periocular Warming on Accommodation. *Ophthalmology*, 112 (6), 1113- 1118.
- Tanito, M., Kaidzu, S., Anderson, R.E. (2006) Protective effects of soft acrylic yellow filter against blue light-induced retinal damage in rats. *Experimental Eye Research*, 83, 1493- 1504. <http://doi.org/10.1016/j.exer.2006.08.006>
- Tanito, M., Sano, I., Okuno, T., Ishiba, Y., Ohira, A. (2018) Estimations of retinal blue-light irradiance values and melatonin suppression indices through clear and yellow-tinted intraocular lenses. En Ash, J. D., Anderson, R.E., LaVail, M.M., Rickman, C.B., Hollyfield, J.G. and Grimm, C. (Eds.) *Retinal Degenerative Diseases, Mechanisms and Experimental Therapies*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75402-4_7
- Telles, S., Naveen, K.V., Dash, M., Deginal, R., Manjunath, N.K. (2006) Effect of yoga on self-rated visual discomfort in computer users. *Head & Face Medicine*, 2 (46): 1- 6.
- Terman, M., McMahan, I. (2013) *Reset your inner clock*. New York, USA: Penguin Group.
- Thilanka, L.G.A, Ekanayake, Y., Weerasinghe, A.R. (2016) *Personalized eye fatigue detection for mobile users*, IEEE 2016 Sixteenth International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer) - Negombo, Sri Lanka, IEEE.
- Thomson, W.D. (1998) Eye problems and visual display terminals- the facts and the fallacies. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 18 (2), 111-119.
- Tosini, G., Ferguson, I., Tsubota, K. (2016) Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. *Molecular Vision*, 22, 61-72.
- Touitou, Y., Touitou, D., Reinberg, A. (2016) Disruption of adolescents' circadian clock: The vicious circle of media use, exposure to light at night, sleep loss and risk behaviors. *Journal of Physiology-Paris*, 110 (4-B), 467-479. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jphysparis.2017.05.001>
- Ueda, T., Nakanishi-Ueda, T., Yasuhara, H., Koide, R., Dawson, W.W. (2009) Eye damage control by reduced blue illumination. *Experimental Eye Research*, 89, 863–868. <http://doi.org/10.1016/j.exer.2009.07.018>
- Van der Lely, S., Frey, S., Garbazza, C., Wirz-Justice, A., Jenni, O., Steiner, R., Wolf, S., Cajochen, C., Bromundt, V., Schimdt, C. (2015) Blue blocker glasses as a countermeasure for alerting effects of evening light-emitting diode screen exposure in male teenagers. *Journal of Adolescent Health*, xxx (2014) 1- 7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.adohealth.2014.08.002>
- Vasiljevas, M., Damaševičius, R., Plap, D., Woźniak, M. (2019) *Gamification of Eye Exercises for Evaluating Eye Fatigue*. En *Artificial Intelligence and Soft Computing*, International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing (pp. 104–114). https://doi.org/10.1007/978-3-030-20915-5_10
- Wahlström, J. (2005) Ergonomics, musculoskeletal disorders and computer work. *Occupational Medicine*, 55, 168–176. <http://doi.org/10.1093/occmed/kqi083>
- WHO (2020) Ultraviolet radiation and health. *World Health Organization*. (Abril de 2020) Recuperado de: http://www.who.int/uv/uv_and_health/en
- Wolkoff, P. (2008) “Healthy” eye in office-like environments. *Environment International*, 34, 1204–1214. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2008.04.005>
- Wood, B., Rea, M.S., Plitnick, B., Figueiro, M. (2013) Light level and duration of exposure determine the impact of self-luminous tablets on melatonin suppression. *Applied Ergonomics*, 44, 237- 240. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2012.07.008>
- Wunsch, A. (2020) The deep science of blue light toxicity and why LED trashes your health. *The Life Stylist Podcast*. Recuperado de: <http://www.lukestorey.com/lifestylistpodcast/dr-jack-kruse-the-toxic-lighting-crisis-and-how-to-fix-it-part-two-76>

- Yamauchi, K., Nakazawa, M., Kato, C., Takahashi, D. (2018) Transient macular damage during smartphone usage. *Current Trends in Ophthalmology*, 1(1), 71-74. <http://dx.doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2016.3513>
- Yang, H., Afshar, N.A. (2014) The yellow intraocular lens and the natural ageing lens. *Current Opinion in Ophthalmology*, 25 (1), 40- 43. <http://doi.org/10.1097/ICU.0000000000000020>
- Youssef, P.N., Sheibani, N., Albert, D.M. (2011) Retinal light toxicity. *Eye*, 25, 1–14. <http://doi.org/10.1038/eye.2010.149>
- Zigman, S. (1992) Light Filters to Improve Vision. *Optometric and Vision Science*, 69 (4), 325- 328.