

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN LUZ AMBIENTE Y VISIÓN

Palabras clave: Luz, Visión, Iluminación, Ambiente, Color, Óptica, LED, Envejecimiento, Atención, Seguridad, Preservación del patrimonio.
Key words: Light, Vision, Lighting, Environment, Colour, Optics, LED, Aging, Attention, Security, Heritage Preservation.

El Instituto de Investigación en Luz Ambiente y Visión (ILAV) es una unidad ejecutora de doble dependencia de la Universidad Nacional de Tucumán y el CONICET que acaba de cumplir 15 años generando respuestas a demandas científico-tecnológicas en el campo de las ciencias de la luz, la iluminación, el medio ambiente y la visión, contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida de la población y del hábitat natural y construido en el que esta desenvuelve su actividad. En este artículo presentamos los resultados de algunas de las líneas de investigación vigentes como son: el estudio de óptica visual para caracterizar condiciones del ojo que afectan la visión, el estudio de la percepción de la velocidad, estudios sobre las tecnologías de iluminación y sus efectos en la percepción del color por parte de adultos mayores, así como evaluaciones de preferencia en relación a la temperatura de color de la iluminación LED y su relación con grupos de diferentes edades y condiciones visuales como la baja visión, o el estudio de distintas fuentes de luz y sus efectos en la atención de los niños estudiantes y estudios sobre las preferencias de los visitantes en lugares de exhibición del patrimonio histórico o la percepción de seguridad en espacios públicos. También se presentan los desarrollos de sistemas ópticos para caracterizar y cuantificar aspectos ambientales que afectan la salud visual y para el control ambiental en museos. Todas estas líneas de investigación son guiadas por profesionales y estudiantes de distintas disciplinas que interactúan con el fin de obtener respuestas integrales a las variadas demandas y desafíos que los tiempos imponen.

RESEARCH AND DEVELOPMENT IN THE RESEARCH INSTITUTE IN AMBIENT LIGHT AND VISION

The Institute for Research in Ambient Light and Vision (ILAV) is a research centre that depends on the National University of Tucumán and CONICET with 15 years of experience generating responses to scientific-technological demands in the field of light sciences, lighting, the environment and vision, contributing to the improvement of the quality of life of the population and the natural and built habitat in which humans carry out their activity. In this article we present the results of some of the current research lines such as: the study of visual optics to characterize eye conditions that affect vision, the study of speed perception, studies on lighting technologies and their effects in the perception of colour by older adults, as well as preference evaluations in relation to the colour temperature of LED lighting and its relationship with different age groups and visual conditions such as low vision, or also, the study of different light sources and their effects on the attention of student children and studies on the preferences of visitors in places of exhibition of historical heritage or the perception of safety in public areas. The developments of optical systems to characterize and quantify environmental aspects that affect visual health and for environmental control in museums are also presented. All these research lines are guided by professionals and students from different disciplines who interact in order to obtain comprehensive responses to the various demands and challenges that the times impose.

1. APLICACIONES DE LA MEDICIÓN DE CALIDAD VISUAL POR MEDIO DE IMÁGENES DE DOBLE-PASO

■ Roberto Sánchez y Luis Issolio

Una de las aproximaciones más directas para evaluar la calidad óptica del ojo humano consiste en la obtención de imágenes retinianas que están básicamente afectadas

por las aberraciones ópticas y por la difusión intraocular, factores que empobrecen la calidad visual (Díaz-Douton *et al*, 2006). La difusión intraocular es un proceso físico por

el cual parte de la luz que entra al ojo se desvía de su trayectoria por la presencia de inhomogeneidades en los medios oculares. Estos haces desviados de su dirección original

forman un velo luminoso que reduce el contraste de la imagen retiniana y su luminosidad (Barrionuevo *et al*, 2010). Por otra parte, el sistema óptico del ojo presenta errores refractivos que generan aberraciones en la imagen retiniana. Ambos fenómenos se van acentuando conforme aumenta la edad de las personas (Artal *et al*, 2002).

Para obtener una imagen retiniana normalmente se recurre al método del doble paso (DP) donde una cámara de alta sensibilidad recoge la imagen de un haz láser que atraviesa el ojo hasta la retina en un primer paso, para luego reflejarse en el fondo ocular devolviendo un haz de muy baja intensidad que atraviesa el ojo en un segundo paso de salida (de Paul *et al*, 2013). A través de procesamientos en la imagen obtenida se pueden determinar algunos parámetros que caracterizan la calidad visual del ojo. Por ejemplo, a partir de una operación de deconvolución de la imagen se puede determinar la función de punto extendido PSF (del inglés Point Spread Function) del sistema, que contiene de manera integrada toda la información de las aberraciones y de la difusión. A su vez, aplicando una transformación de Fourier a la PSF se puede obtener la Función de Transferencia de Modulación (MTF) que representa la respuesta del ojo en términos de frecuencias espaciales.

En el estudio de los efectos de la edad en la visión de manera general y, de las cataratas, en particular es relevante determinar la difusión intraocular de manera separada de las aberraciones. Con ese objetivo se propuso un índice de difusión intraocular (OSI, del inglés Objective Scatter Index) que se calcula a partir de la PSF (Artal *et al*, 2011). El OSI da cuenta de altos niveles de difusión intraocular, aunque con cierta dependencia de las aberraciones en

ojos con baja difusión. A través de este índice se pudo evaluar la calidad óptica en lentes intraoculares (Vilaseca *et al*, 2009) y los efectos de la difusión intraocular y cataratas (Paz Filgueira *et al*, 2014 y 2015).

Para optimizar la caracterización de la difusión se avanzó en el filtrado de las componentes asociadas a las aberraciones (Sánchez *et al*, 2021) obteniendo un indicador de la difusión intraocular independiente de las aberraciones, el índice FSI (siglas del inglés Frequency Scatter Index). La propuesta consiste en determinar la relación entre un par de MTFs obtenidas de la misma imagen, pero considerando dos regiones de interés cuadradas y concéntricas de radios r_1 ($MTF_{DP[r_1]}$) y r_2 ($MTF_{DP[r_2]}$), con $r_1 < r_2$. Esta operación actúa como un filtrado de las altas frecuencias espaciales donde se rescata la componente de difusión y que se expresa como:

$$MTF_{DP[r_2 - r_1]}(\nu) = \frac{MTF_{DP[r_2]}(\nu)}{MTF_{DP[r_1]}(\nu)} \quad (1)$$

donde ν es la frecuencia espacial. Una vez definidas las extensiones de las regiones, la difusión intraocular se puede cuantificar con FSI de la siguiente manera:

$$FSI = \frac{n}{\sum_1^{n(\nu \sim 3cpd)} MTF_{DP[r_2 - r_1]}(\nu)} - 1 \quad (2)$$

donde \sum representa la suma de las n frecuencias comunes que existen entre 0 y aproximadamente 3 ciclos por grado, rango de donde se extrae la información de difusión.

Para analizar el desempeño del FSI en relación a la independencia de las aberraciones ópticas se evaluó este índice en función de dos condiciones que típicamente producen aumento de aberraciones. Una de ellas es el incremento del diámetro pupilar y la otra es la visión extrafoveal, es decir, aquella que se da fuera del eje visual a diferentes grados de excentricidad. La Figura 2 muestra los valores de OSI y FSI determinados en función del diámetro pupilar (a) y de la excentricidad

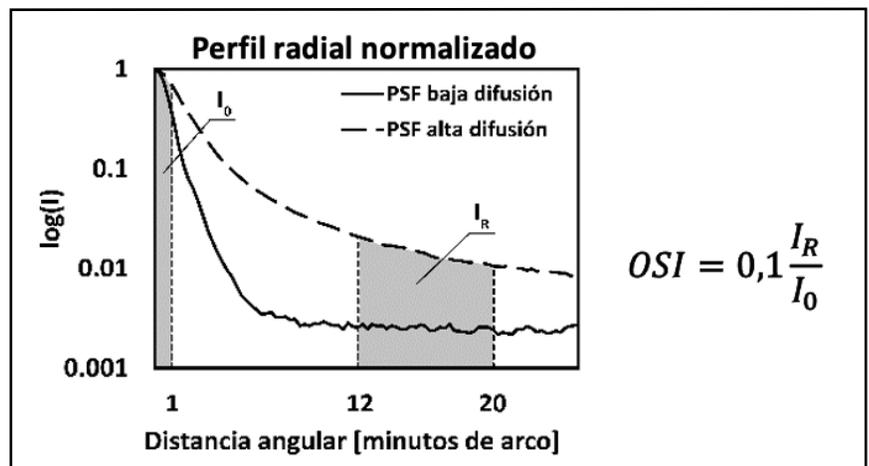


Figura 1: Perfiles de imágenes de doble-paso con baja difusión (curva continua) y con alta difusión (curva discontinua). El valor de OSI se calcula como la relación entre la integral de la luz dispersada en el anillo entre los 12 y 20 minutos de arco I_R y la intensidad en una zona central de la imagen I_0 que subtende 1 minuto de arco.

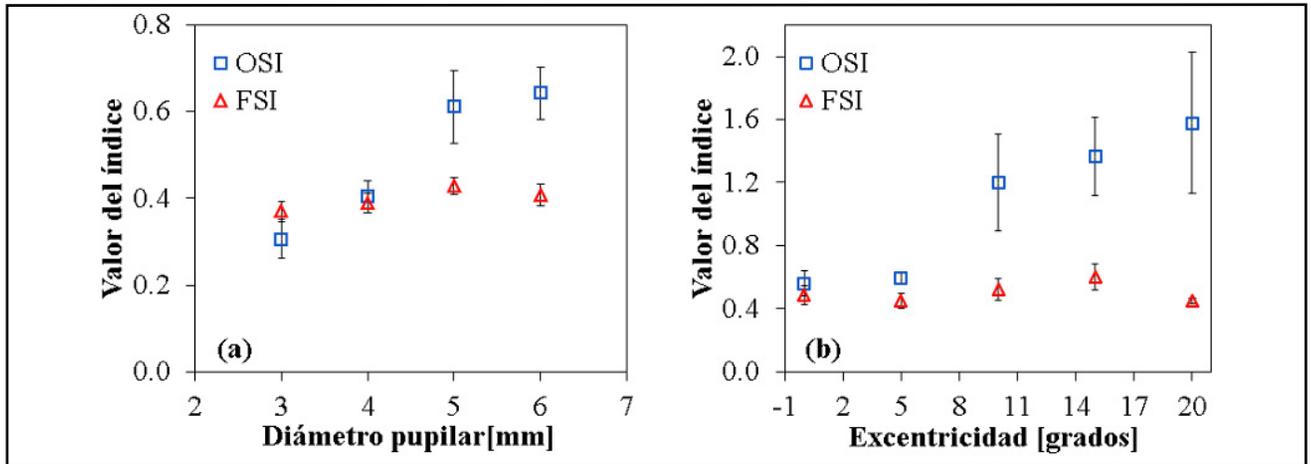


Figura 2: Valores de los índices OSI (cuadrados) y FSI (triángulos) en función del diámetro pupilar (a) y de la excentricidad retiniana (b). Las barras de error corresponden a un desvío estándar.

retiniana (b), observándose cómo mientras los datos de OSI tienden a crecer cuando aumentan las aberraciones, los valores de FSI mantienen una respuesta constante que evidencia su independencia de las aberraciones.

Otra aplicación muy interesante que se puede implementar con este tipo de sistemas consiste en la medición del tiempo de ruptura de la lágrima (TRL), un parámetro utilizado en la clínica oftalmológica para evaluar la condición de ojo seco que afecta al 6,8% de la población adulta de Estados Unidos (Farrand *et al*, 2017). Es sabido que la lágrima es el primer medio óptico con el que se encuentra la luz al ingresar en el ojo y su función es crucial ya que la interface aire-lágrima es la de mayor poder refractivo en el ojo y su ruptura produce una notoria reducción en la visión de las personas. La forma clásica de medir TRL es observando con lámpara de hendidura la película lagrimal donde previamente se instiló un tinte para detectar el momento de ruptura que no se produce de una manera abrupta, lo que implica que la medida lleve el sesgo del criterio de cada observador. Con un sistema de medición de calidad

visual se puede medir una secuencia de imágenes de doble paso y obtener una serie temporal de valores de FSI durante 40 segundos a los que se ajusta un modelo sigmoideal que reproduce adecuadamente los datos. En la Figura 3 se presenta una serie de mediciones realizadas en sujetos normales a los que se les simula una condición de ojo seco a través del uso de una lente de contacto en el

ojo a medir. Esta condición produce la ruptura de la lágrima en tiempos cortos de la misma manera que lo hace la condición de ojo seco. A partir de un análisis donde se determinan parámetros como el punto de inflexión o el tiempo de saturación en la curva satura, logramos una estimación confiable del TRL (Sánchez *et al*, 2019).

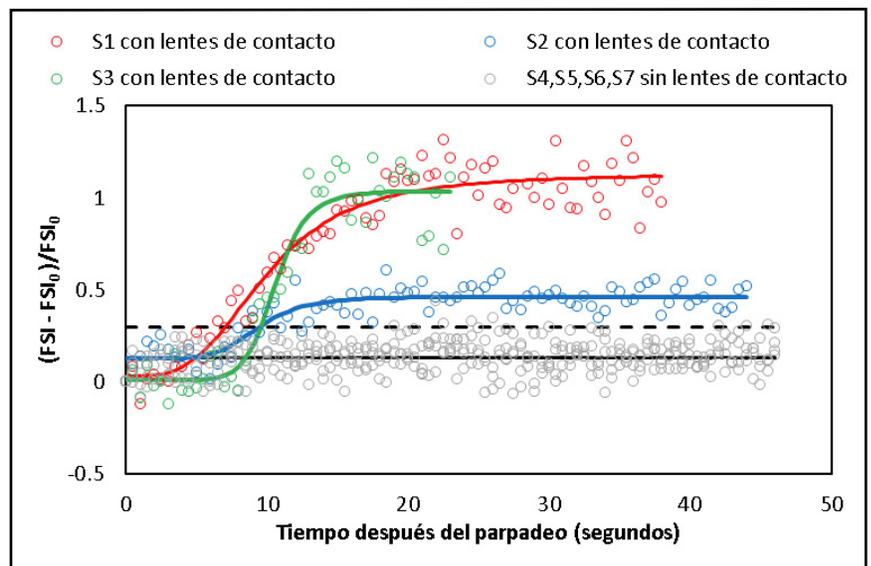


Figura 3: Valores de FSI relativos al valor inicial en función del tiempo después del parpadeo. Los valores presentados en rojo, azul y verde corresponden a tres sujetos con lentes de contacto. Los valores presentados en gris corresponden a sujetos normales sin lentes de contacto.

■ REFERENCIAS

1. Artal P, Berrio E, Guirao A, Piers P. "Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age". *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 19(1):137-43, 2002.
2. Artal P, Benito A, Pérez G, Alcón E, De Casas A, Pujol J, Marín J. An objective scatter index based on double-pass retinal images of a point source to classify cataracts. *PLoS ONE* 6(2): e16823. (2011)
3. Barrionuevo P, Colombo E, Corregidor D, Jaén M and Issolio L. "Evaluation of the intraocular diffusion through brightness reduction by glare using ectopic diffusers to simulate cataracts". *Optica Applicata*, 40, 63-75 (2010).
4. de Paul A, Sánchez R, Corregidor D, Jiménez G e Issolio L. "Desarrollo de un sistema de doble paso para la medición de la calidad de imágenes retinianas". *CET Revista de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT.* Nro 36, pp. 64-73, 2013.
5. Diaz-Douton F, Benito A, Pujol J, Arjona M, Güell J L & Artal P. (2006) Comparison of the retinal image quality with a Hartmann-Shack wavefront sensor and a double-pass instrument. *Investigative Ophthalmology & Visual Science.* 47, 4, 1710-1716.
6. Paz Filgueira C, Sánchez R, Colombo E, Vilaseca M, Pujol J, Issolio L. "Discrimination between surgical and non-surgical nuclear cataract based on ROC analysis". *Current Eye Research.* DOI: 10.3109/02713683.2014.907432. 2014.
7. Paz Filgueira C, Sánchez R, Issolio L, Colombo E. "Straylight and visual quality on early nuclear and posterior subcapsular cataracts". *Current Eye Research.* <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/02713683.2015.1101139> (2015).
8. Sánchez R, Calderari L & Issolio L (2019). Dinámica de la película lagrimal mediante análisis de Fourier en imágenes de doble paso. In *Vision T 2019 - 2do Taller Latinoamericano de Ciencias de la Visión.* San Miguel de Tucumán, 13 al 15 de noviembre de 2019.
9. Vilaseca, M., Arjona, M., Pujol, J., Issolio, L., and Güell, J. (2009) "Comparison of the optical quality of foldable intraocular lenses before and after injection using a double-pass system". *J. Cataract. Refr.Surg.* 35,pp.1415-1423.
10. Roberto Sánchez, Carlos García-Guerra, Joan Martínez-Roda, Aníbal de Paul, Luis Issolio, Jaume Pujol. Implementation of the Frequency Scatter Index in clinical commercially available double-pass systems. *Current Eye Research.* (2021) 18:1-8. doi: 10.1080/02713683.2021.2002908.

2. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL PARTICULADO AMBIENTAL POR QUEMA DE CAÑAVERALES EN LA SALUD VISUAL DE LAS PERSONAS

■ Alex Santucho Caínzo, Luis Calderari, Luis Issolio y Diego Corregidor Carrió

La quema de caña de azúcar en pie durante el período de zafra en Tucumán es una práctica generalizada para aumentar la eficiencia en su recolección. Los aerosoles liberados por la quema de biomasa contienen gases de efecto invernadero, gases químicamente activos, material de particulado fino y compuestos gaseosos, así como una serie de compuestos volátiles y semi volátiles.

Estos gases y partículas en suspensión se esparcen en un amplio territorio que incluye áreas rurales, centros urbanos, rutas y otras vías de circulación y son conocidos por ser causantes de problemas en la salud (Cremades, 2011) tanto respiratorios como oculares, siendo la mayor fuente de contaminación atmosférica a escala continental.

Diferentes revisiones bibliográficas mostraron que las condiciones ambientales generadas por la quema de biomasa causan muerte prematura y un número importante de admisiones adicionales en hospitales tanto por condiciones respiratorias como cardiovasculares (Bowman *et al*, 2018; Orellano, *et al* 2021; Karamasiou *et al*, 2021). Además, se atribuyó al particulado PM10 (partí-

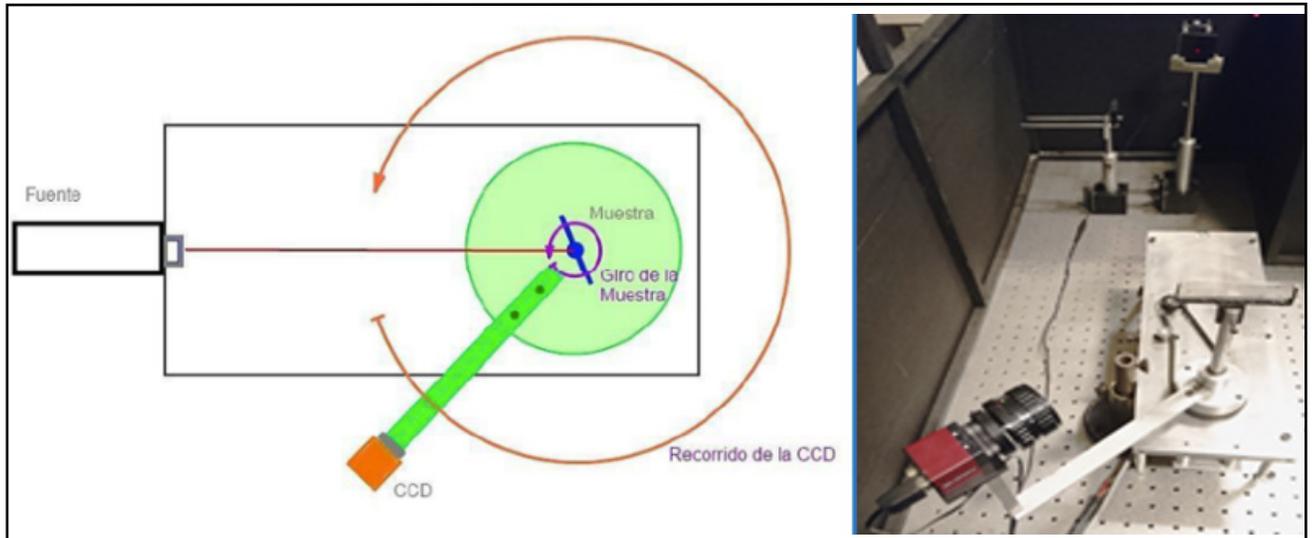


Figura 1: Esquema e imagen del dispositivo experimental usado.

culas de tamaño mayor a 10 micras) originado por fuego en un área de Tailandia en el período 2014- 2018, ser la causa de unas 130000 consultas por enfermedades respiratorias en hospitales, revelando también un mayor impacto en el grupo de adultos mayores (Pungh *et al*, 2022; Uttajug *et al*, 2022). Como contrapartida, se determinó que el número de consultas médicas por esta causa se redujo de 1,8% a 0,5% a partir de la implementación de políticas efectivas de prohibición de quema de vegetación en el área.

El objetivo de esta línea de investigación es determinar los niveles de contaminación visual en el ambiente producto de las cenizas provenientes de la quema de cañaverales para conocer la variación de la misma en el tiempo y su impacto en la salud visual de las personas. En esta línea hemos desarrollado un sistema óptico para la medida del particulado atmosférico. Se trata de un escatómetro goniométrico digital (Figura 1) que permite medir la distribución angular de la radiación difusa de una muestra con depósito de particulado ambiental (Santucho Caínzo *et al*, 2019). La muestra del material a ser analizado

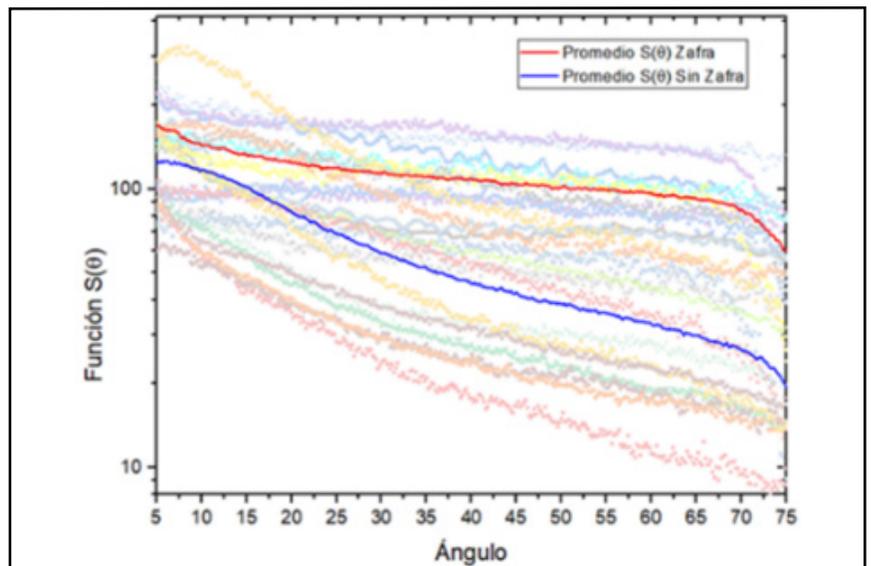


Figura 2: Curvas de la función $S(\theta)$. En rojo el promedio de las curvas en temporada de zafra y en azul la correspondiente a la condición de control de fuera de temporada.

se coloca en un soporte y se ilumina con un haz de luz monocromático colimado, proveniente de un diodo láser colocado en una posición fija. Alrededor de la misma gira una cámara CCD accionada por un motor en un rango angular de 340° . La cámara registra los datos de la distribución de la radiancia incidente en el plano focal imagen, mientras que un

software sincroniza el motor con la cámara y almacena los datos de intensidad correspondiente a cada ángulo con una resolución de $2,0$ min de arco. Dado que el paso del motor es de $0,5^\circ$, las sucesivas mediciones de la CCD se solapan y se dispone de registros diferentes correspondientes a un mismo ángulo que se promedian para obtener una mayor exactitud.

Como resultado de las medidas se obtienen curvas con la distribución espacial de la luz difusa a través de la función de punto extendido (PSF). Luego se calcula su integral que es la función de difusión $S(\theta)$ que representa el “velo visual” producido por la muestra por lo que resulta adecuada para determinar un índice de visibilidad. El funcionamiento del dispositivo y el registro de los datos se controlan con un software desarrollado especialmente.

Con este sistema se obtuvieron curvas de difusión en distintas condiciones ambientales. En la Figura 2, por ejemplo, se muestran las curvas de difusión en épocas de zafra (curva roja) y en época inter-zafra (curva azul) que presentan comportamientos claramente diferenciados, lo que permite definir índices robustos que den cuenta de distintos grados de polución ambiental y su correlación con la visibilidad.

■ REFERENCIAS

1. Cremades P. (2011). Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Argentina. Vol. 15, 01- 37-44.
2. Santucho Cainzo, A. *et al.* Método alternative para la evaluación de la polución atmosférica causada por la quema de biomasa en plantaciones de caña de azúcar. ANALES AFA, V. 30, n. 1, p. 15-24, 2019.
3. Phung VLH, Uttajug A, Ueda K, Yulianti N, Latif MT, Naito D. A scoping review on the health effects of smoke haze from vegetation and peatland fires in Southeast Asia: Issues with study approaches and interpretation. PLoS One. 2022 Sep 15;17(9):e0274433. doi: 10.1371/journal.pone.0274433.
4. Bowman DMJS, Moreira-Muñoz A, Kolden CA, Chávez RO, Muñoz AA, Salinas F, González-Reyes Á, Rocco R, de la Barrera F, Williamson GJ, Borchers N, Cifuentes LA, Abatzoglou JT, Johnston FH. Human-environmental drivers and impacts of the globally extreme 2017 Chilean fires. *Ambio*. 2019 Apr;48(4):350-362. doi: 10.1007/s13280-018-1084-1. Epub 2018 Aug 20.
5. Uttajug A, Ueda K, Honda A, Takano H. Estimation of hospital visits for respiratory diseases attributable to PM10 from vegetation fire smoke and health impacts of regulatory intervention in Upper Northern Thailand. *Sci Rep*. 2022 Nov 2;12(1):18515. doi: 10.1038/s41598-022-23388-2.
6. Karanasiou A, Alastuey A, Amato F, Renzi M, Stafoggia M, Tobias A, Reche C, Forastiere F, Gumy S, Mudu P, Querol X. Short-term health effects from outdoor exposure to biomass burning emissions: A review. *Sci Total Environ*. 2021 Aug 10;781:146739. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146739.
7. Orellano P, Reynoso J, Quaranta N, Bardach A, Ciapponi A. Short-term exposure to particulate matter (PM10 and PM2.5), nitrogen dioxide (NO2), and ozone (O3) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environ Int*. 2020 Sep;142:105876. doi: 10.1016/j.envint.2020.105876.

3. EFECTOS DE LA EDAD EN LA PERCEPCIÓN DEL COLOR

■ Oscar Preciado Olvera,
Andrés Martín y
Eduardo Manzano

En los últimos años, la proporción de adultos mayores en la población de todo el mundo se ha incrementado considerablemente. Latinoamérica es la región que presenta la mayor tasa de crecimiento anual de este grupo poblacional y se espera por tanto que la proporción de personas de 60 años o más pase del 11% ac-

tual hasta un 26% en el 2050 (U.S. Dep. of State, 2007; UUNN, 2015). Las normas y recomendaciones para el diseño de iluminación en interiores y exteriores se crearon con base en experimentos realizados con observadores jóvenes y de la misma manera se obtuvo la función de eficiencia luminosa del ojo huma-

no en el fotópico, $V_{(\lambda)}$ (CIE, 1926). Sin embargo, la evidencia científica muestra que con el paso de los años la lente del ojo tiende a cambiar su densidad y volverse amarillenta, disminuyendo su transmitancia considerablemente para longitudes de onda cortas comúnmente llamada ‘luz azul’ (Barker & Brainard, 1991;

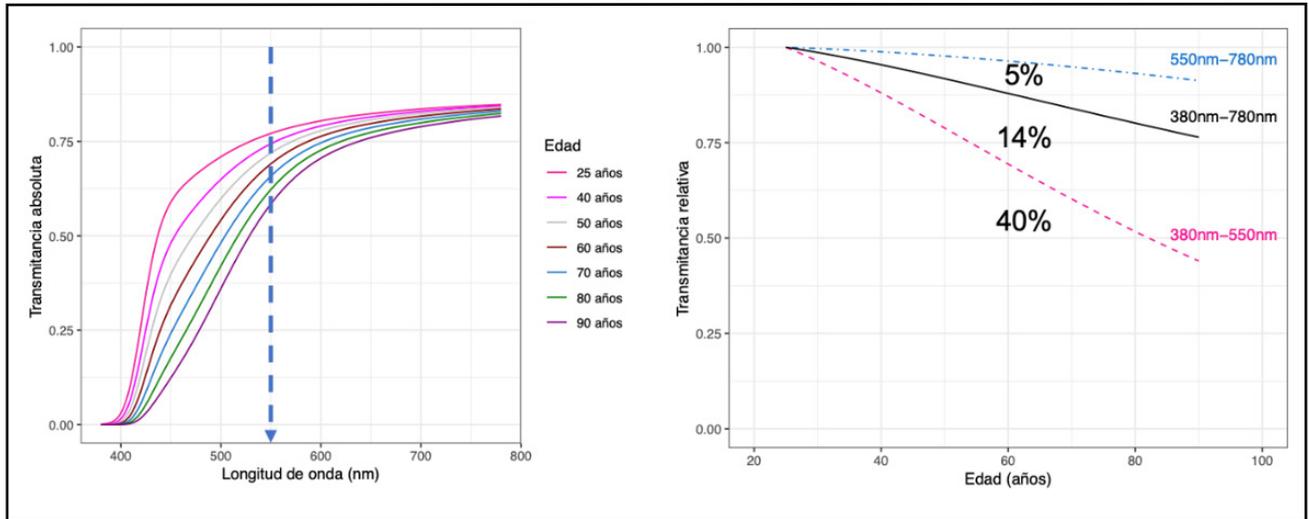


Figura 1: (a) Transmittancia espectral del ojo humano a diferentes edades [6], se marca con línea discontinua la longitud de onda de 550 nm para remarcar en (b) que la transmitancia para longitudes de onda por debajo de los 550 nm a los 60 años, se reduce en un 40%, mientras que por arriba de esta longitud de onda, la transmitancia es prácticamente la misma, sólo existe una disminución del 5% (Preciado et al, 2020).

CIE, 2012). Por el contrario, en longitudes de onda largas, la transmitancia es prácticamente independiente de la edad (Figura 1).

La iluminación de estado sólido basada en LEDs se ha convertido en la principal fuente de luz artificial, alcanzando en 2021 más del 50% del mercado mundial de la iluminación (Lighting Analysis, 2023). Los LEDs son pequeñas fuentes de luz casi monocromáticas y existen esencialmente dos métodos para producir luz blanca a partir de ellos: 1) la suma de luces de colores con (LEDs rojo, verde, azul y otros, 2) la conversión de la longitud de onda de la emisión de un led casi monocromático mediante polvos fluorescentes, siendo este último el más utilizado en la actualidad. Consiste en cubrir con polvos fluorescentes un LED azul para convertir su longitud de onda extendiendo su emisión hacia longitudes de onda más largas y cubriendo gran parte del espectro visible. El espectro típico de este tipo de fuente de luz blanca (Figura 2) está caracterizado por un pico muy marcado de emisión

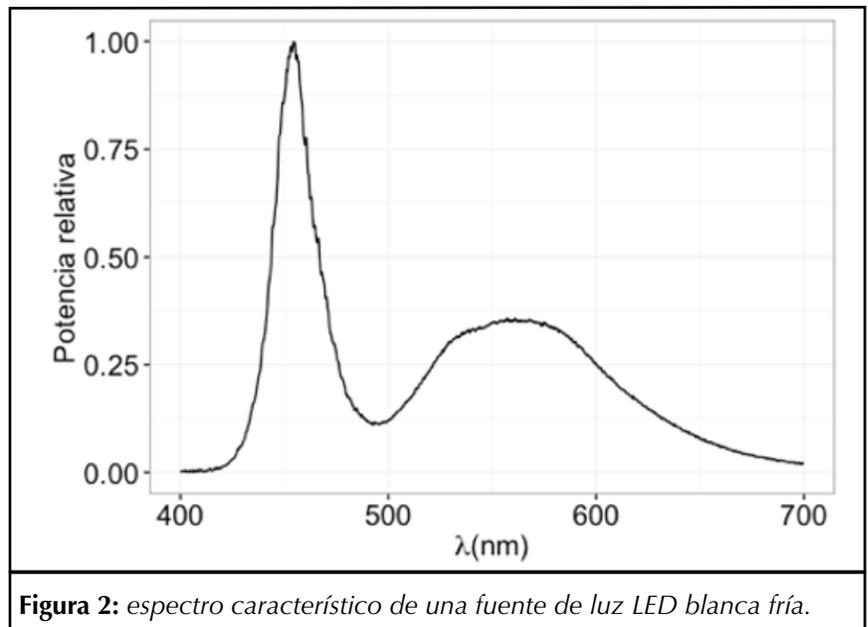


Figura 2: espectro característico de una fuente de luz LED blanca fría.

en las longitudes de onda cortas (la zona de los “azules”) y una emisión más extendida en forma de “loma” hacia longitudes de onda más altas (“verde-rojo”). La cantidad del polvo fluorescente YAG (granate de itrio y aluminio) va a determinar las proporciones entre ambas emisiones, es decir, cuando la capa de YAG sea delgada, el pico azul será preponde-

rante en la emisión total y cuando la capa YAG sea más gruesa, la emisión en las longitudes de onda largas será relativamente superior. Esto permite tener fuentes LED de luz blanca fría o cálida.

En cualquier caso, la iluminación LED blanca, por su naturaleza, presenta una emisión importante de

luz en las longitudes de onda cortas (por debajo de los 550 nm) por lo que, con la edad, las personas recibirían menos luz de esas longitudes de onda. Al disminuir la cantidad de luz que llega a la retina, se alteran dos atributos del color percibido: la luminosidad (brightness), la sensación visual según la cual una superficie parece emitir (o reflejar) más o menos luz y la saturación (colorfulness), que describe la sensación visual según la cual una superficie presenta un color percibido más o menos cromático. La alteración de estos atributos de la percepción, podría tener un impacto diferencial en la respuesta visual entre adultos mayores y jóvenes, aunque también existe la posibilidad de que el ojo contenga mecanismos que compensen por estas pérdidas (Owsley *et al*, 2011; Stringham *et al*, 2013; Wuergler *et al*, 2013)

Con el propósito de investigar si la percepción de luminosidad es afectada por la edad, se llevó a cabo un experimento con dos grupos de observadores de distintas edades (20-30 años y 70 años o más) (Preciado *et al*, 2019) con la intención de conocer las diferencias entre los jóvenes y los adultos mayores en la percepción de luz blanca LED con diferentes contenidos de luz "azul". La propuesta consistió en llevar al extremo las posibles diferencias entre los dos grupos etarios utilizando estímulos casi monocromáticos azules y rojos (Figura 3). La hipótesis de este experimento es muy simple: de acuerdo con las curvas de transmitancia para diferentes edades (Figura 1a), ambos grupos de observadores deberían percibir la luminosidad de los estímulos rojos prácticamente igual (Figura 3), mientras que, para el estímulo azul, la luminosidad percibida por los jóvenes debería ser considerablemente mayor.

El experimento consistió en presentar a los observadores uno de los

estímulos (azul o rojo) con una luminancia fija y se les solicitaba que, modificando la luminosidad del otro estímulo lo igualaran en luminosidad al estímulo de referencia.

Los resultados de este experimento (Figura 4) mostraron que,

cuando el estímulo de referencia era el azul, los observadores jóvenes requerían una luminosidad mucho mayor del estímulo rojo que la que seleccionaban los adultos mayores. Por otro lado, cuando la referencia era el rojo, los adultos mayores necesitaban una luminosidad mucho

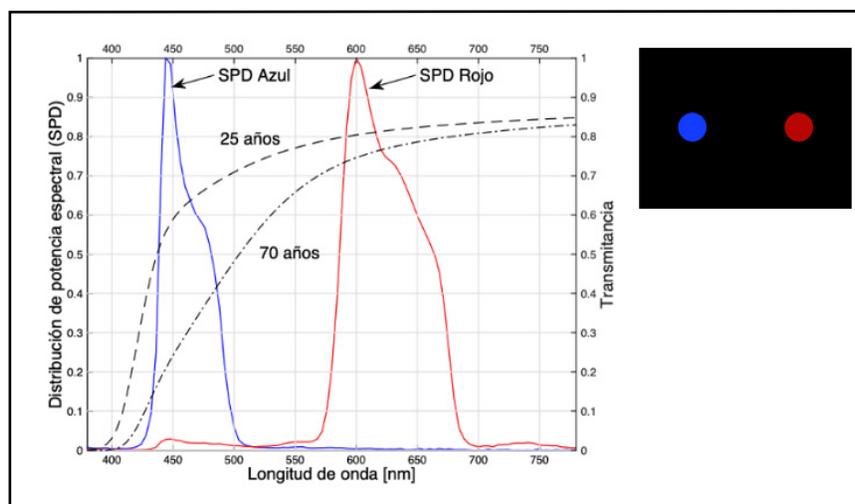


Figura 3: Las curvas azul y roja continuas muestran los espectros normalizados de los estímulos azul y rojo. Las líneas discontinuas muestran las transmittancias espectrales de observadores de 25 y 70 años. Ejemplo del tipo de estímulos rojo y azul presentado a los participantes del experimento.

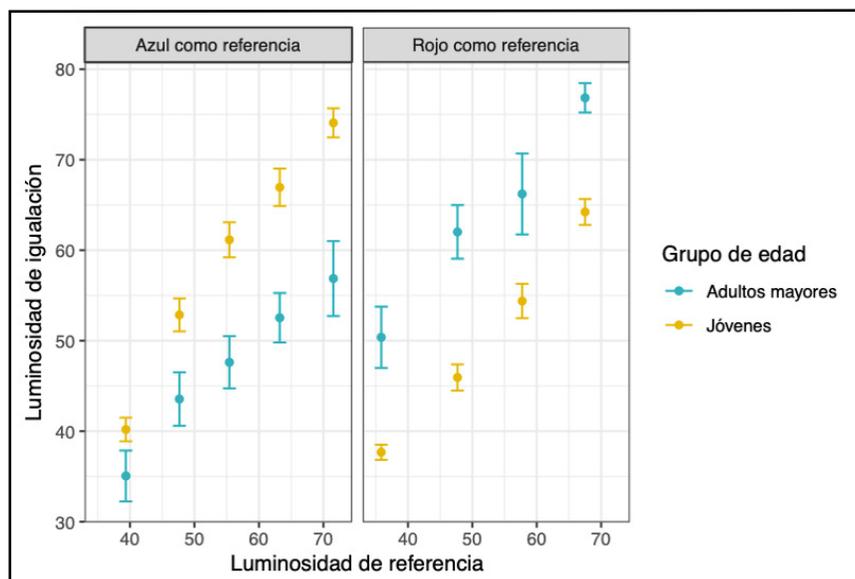


Figura 4: Resultados de la igualación de luminosidad realizada por los observadores utilizando el modelo CAM15u (Withouck *et al*, 2015) con respecto a la luminosidad de referencia (con error estándar de la media) (Preciado *et al*, 2021).

mayor de estímulo azul que la requerida por los jóvenes. En ambos casos, el resultado muestra que los jóvenes perciben el estímulo azul más luminoso que los adultos mayores, con lo que efectivamente existe una alteración en la percepción de la luminosidad con la edad.

A pesar de estos hechos que muestran una disminución significativa de las capacidades visuales de los adultos mayores, la práctica común del diseño de iluminación minimiza los requerimientos de este grupo de edad. Por este motivo las personas mayores serían las más afectadas en tanto las instalaciones luminotécnicas se alejan mucho de estar orientadas a satisfacer las demandas del sistema visual de personas de este rango etario.

■ REFERENCIAS

1. U.S. Department of State, "Why Population Aging Matters - A Global Perspective," National Institute on Aging, National Institutes of Health, US Department of Health and Human Services, 2007. doi: 07 - 6 1 3 4.
2. United Nations, "World population prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables," Department of Economic and Social Affairs, Population Division, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. New York, USA, 2015.
3. CIE, "Proceedings CIE 6th session 1924, Genève," in *Recueil des Travaux et Compte Rendu de Séances*, Cambridge: University Press, 1926, pp. 67–69.
4. F. M. Barker and G. C. Brainard, "The direct spectral transmittance of the excised human lens as function of age (FDA 785345 0090 RA)," US Food and Drug Administration, Washington, DC, 1991.
5. CIE, *CIE Technical Report 203:2012, A computerized approach to transmission and absorption characteristics of the human eye*. Vienna, Austria: CIE Central Bureau, 2012.
6. O. Preciado, A. Martín, E. Manzano, and P. Hanselaer, "Transmitancia del ojo humano y percepción de luminosidad," in *Memorias del XV Congreso Iberoamericano de Iluminación LUXAMÉRICA 2020*, Bogotá, Colombia, 2020.
7. "Lighting – Analysis," IEA. <https://www.iea.org/reports/lighting> (accessed Jul. 03, 2023).
8. C. Owsley, "Aging and Vision," *Vision Res.*, vol. 51, no. 13, pp. 1610–1622, 2011, doi: 10.1016/j.asieco.2008.09.006. EAST.
9. N. T. Stringham, D. Sabatinelli, and J. M. Stringham, "A potential mechanism for compensation in the blue—yellow visual channel," *Front. Hum. Neurosci.*, vol. 7, no. July, pp. 1–6, 2013, doi: 10.3389/fnhum.2013.00331.
10. S. Wuerger, "Colour Constancy Across the Life Span: Evidence for Compensatory Mechanisms," *PLoS ONE*, vol. 8, no. 5, 2013, doi: 10.1371/journal.pone.0063921.
11. O. Preciado, E. Manzano, and P. Hanselaer, "El efecto de la edad en la percepción de la luminosidad," in *Memorias del XIV Congreso Argentino de Iluminación 2019*, Paraná, Argentina, 2019.
12. M. Withouck, K. A. G. Smet, W. R. Ryckaert, and P. Hanselaer, "Experimental driven modelling of the color appearance of unrelated self-luminous stimuli: CAM15u," *Opt. Express*, vol. 23, no. 9, p. 12045, 2015, doi: 10.1364/OE.23.012045.
13. O. U. Preciado, A. Martín, E. Manzano, K. A. G. Smet, and P. Hanselaer, "CAM18sl brightness prediction for unrelated saturated stimuli including age effects," *Opt. Express*, vol. 29, no. 18, pp. 29257–29274, 2021, doi: 10.1364/OE.431382.

4. TEMPERATURA DE COLOR DE LA ILUMINACIÓN LED. SU RELACIÓN CON GRUPOS DE DIFERENTES EDADES Y CONDICIONES

■ Javier Santillán

En los últimos años puede verse cada con más frecuencia en la literatura luminotécnica términos como

"Iluminación Centrada en el ser Humano" (*Human Centric Lighting*) o "Iluminación Integradora" (*Integrati-*

ve Lighting) en referencia a búsquedas de soluciones de iluminación que tengan la calidad necesaria,

pero que al mismo tiempo tengan en cuenta el rol y las características del usuario de dichos sistemas. Estas características incorporan los efectos de la luz como estímulo en el rendimiento y el confort visual. Si bien un proyecto comienza con las pautas de iluminación y su adecuación con el proyecto arquitectónico y urbanístico, la implementación exitosa del mismo requiere considerar no sólo dichos aspectos sino también a los potenciales usuarios y sus características. Cuando no se logra esta integración se pueden producir lo que hemos conceptualizado como “barreras de iluminación” (Colombo *et al*, 2013). Con esta expresión, hacemos referencia a elementos lumino-técnicos y visuales que dificultan la visión y afectan el desenvolvimiento de las personas con déficits en su sistema visual. Esto es importante ya que el envejecimiento poblacional está llevando a un aumento de los usuarios de edad avanzada que se desenvuelven en diferentes espacios públicos. Los resultados del Estudio Nacional sobre el Perfil de las Personas con Discapacidad realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas

y Censos (INDEC, 2018) muestran que el 12,9% de la población mayor de 65 años presenta discapacidad visual.

Por otro lado, puede notarse que en esta última década se vienen reemplazando progresivamente las fuentes tradicionales por las nuevas tecnologías de estado sólido usando diodos electroluminiscentes o LEDs. Este cambio está llevando a una profunda revisión de las normativas y pautas de diseño existentes, ya que muchas se han vuelto inaplicables, lo que demanda nuevos estudios detallados sobre sus efectos en las personas, especialmente aquellas con déficits perceptuales o motores como las personas mayores o con baja visión.

En este contexto propusimos evaluar experimentalmente las apreciaciones de luminosidad en personas con y sin baja visión de objetos de color iluminados con LEDs de dos Temperaturas de Color Correlacionadas (TCC) de 3000°K y 6000°K. A partir de las normativas vigentes en Argentina (IRAM 20-06) y en Méxi-

co (NOM-025), se decidió utilizar tres niveles de referencia (300, 500 y 750 lux) para la comparación.

Los datos mostraron que las respuestas siguieron una tendencia similar entre ambos grupos: en la mayoría de los casos (66,7% en baja visión y 76,5% en visión normal) los sujetos utilizaron una mayor cantidad de luz cálida para igualar a la misma cantidad de luz blanca fría (Santillán y Loyo Montoya, 2018). Esto quiere decir que tanto las personas con baja visión como las con visión normal tienden a percibir la luz LED blanca fría (6000°K) con mayor intensidad y para igualar, colocan un mayor nivel de luz cálida (3000°K) que compensando la diferencia perceptual.

En un segundo experimento donde se compara la apariencia de los objetos iluminados se solicitó a los observadores que realicen una valoración de preferencias para ambas condiciones de TCC de la iluminación. Los resultados muestran que mientras la mayoría de las personas normovisuales prefirió la luz cálida

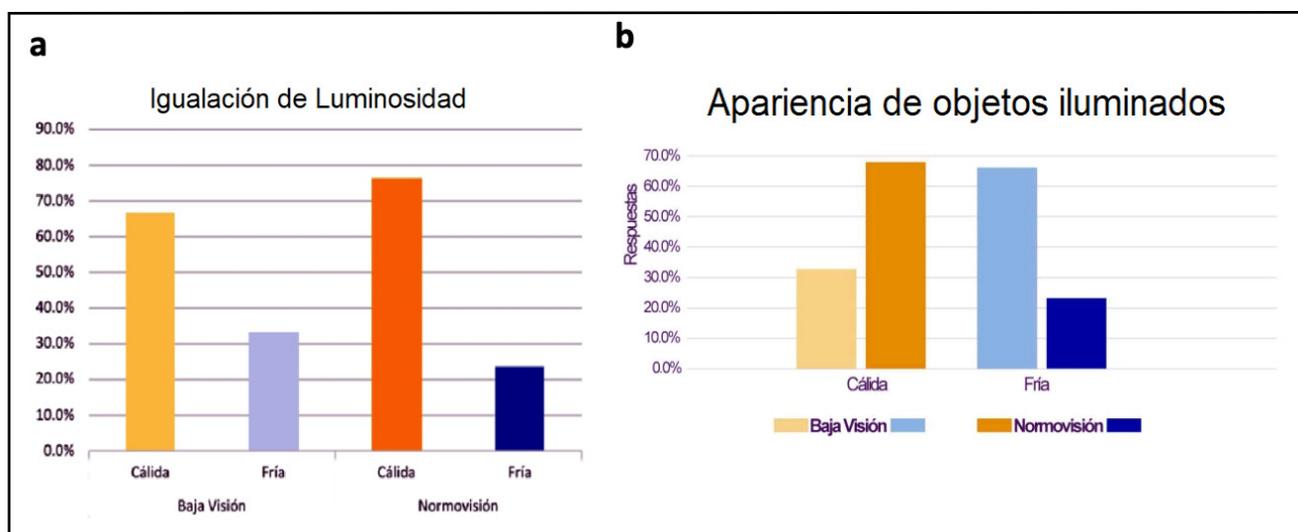


Figura 1: a). Porcentual de veces que se iguala una iluminación cálida con una fría. **b)** Preferencia de luz cálida o fría. Ambos resultados obtenidos para adultos mayores normales y con baja visión.

en lo que respecta al mejor aspecto de los objetos iluminados utilizados como estímulos (frutas), mientras la mayoría de las personas con baja visión prefirió la luz fría para iluminarlos.

Este trabajo evidenció la problemática en relación a las normativas de iluminación vigentes, que expresan solamente niveles de iluminación recomendados en función de la tarea y/o características del espacio a ser iluminado, sin tener en cuenta que los niveles que proponen pueden variar perceptualmente según el tipo de iluminante, según la temperatura de color del mismo o afectar negativamente los potenciales problemas visuales de los usuarios.

■ DESEMPEÑO ATENCIONAL DE NIÑOS EN AULAS CON DIFERENTES ACONDICIONAMIENTOS LUMÍNICOS

La iluminación es una de las características físicas más críticas en un espacio educativo, pues no sólo puede incidir en las condiciones en que se realiza el proceso de enseñanza-aprendizaje sino incluso en el desempeño cognitivo de los estudiantes. En ese sentido, podemos decir que la atención es uno de los factores cognitivos más importantes que influye sobre el aprendizaje, en tanto facilita el almacenamiento y recuperación de los contenidos de la memoria, interviniendo también en la selección de la información relevante, en el sostenimiento intencional de la misma, en la alternancia del foco atencional entre dos o más fuentes de información, en la manipulación de representaciones mentales y en la modulación de las respuestas a los diversos estímulos. Puede afirmarse que la atención juega un rol clave en el desempeño escolar y se correlaciona positivamente con las competencias de lectura, escritura y habilidades matemáticas en escolares primarios.

Considerando estos aspectos propusimos un trabajo interdisciplinario con el objetivo de evaluar experimentalmente el desempeño atencional de los alumnos en aulas bajo diferentes condiciones de iluminación, contemplando como variables de estudio la Temperatura de Color Correlacionada (TCC) con valores de 6500°K y 4000°K y la iluminancia horizontal (E_h) con valores de 300 lx y 500 lx (Monteoliva *et al*, 2016). Además, se diseñó un instrumento específico para evaluar la atención de los escolares bajo las diferentes condiciones de iluminación, que por las características de los estímulos empleados fue llamado Test de Anillos (Monteoliva, 2019). Los resultados evaluando su aplicabilidad mostraron su validez, estabilidad temporal y confiabilidad para la medición de la atención visual en niños y niñas, constituyendo un aporte a los instrumentos neuropsicológicos existentes para población infantil (Monteoliva, 2023).

Los resultados obtenidos en el experimento evidenciaron diferencias estadísticamente significativas a favor de la TCC de 4000°K en los indicadores de eficiencia atencional y rendimiento atencional en períodos prolongados de tiempo, lo que sugeriría que un acondicionamiento con esa TCC podría favorecer en los escolares la capacidad cognitiva para seleccionar y mantener la atención en tareas de detección de detalles (monocromáticos) que redundaría en menores tiempos para realizar las tareas. Los resultados hallados están en línea con investigaciones anteriores, las cuales indican que un uso inadecuado de la TCC puede producir efectos negativos sobre la salud humana, tanto a nivel ocular, como emocional y en el sistema circadiano (Van Bommel & Van Den Beld, 2004), todos factores que pueden producir una pérdida adicional del desempeño en el aula.

■ REFERENCIAS

- Colombo, E. M., O'Donnell, B. M., Santillán, J. E., & Issolio, L. A. (2013). Functional vision barriers: a new concept analyzed in terms of human visual performance. *Psychology & Neuroscience*, 6(2), 219–226.
- Monteoliva, J. M., Korzeniowski, C. G., Ison, M. S., Santillán, J., & Pattini, A. E. (2016). Estudio del desempeño atencional en niños en aulas con diferentes acondicionamientos lumínicos. *CES Psicología*, 9(2), 68–79.
- Monteoliva, J. M., Santillán, J. e Ison, M. (2019). Test de Anillos (v1.0) [Test de evaluación atencional en niños]. Mendoza: CONICET (RL-2019-68776047-APN-DNDA#M).
- Monteoliva, J. M., Korzeniowski, C. G., Santillán, J. E., & Ison, M. S. (2023). Características psicométricas del Test de Anillos para la evaluación atencional en niños. Resultados preliminares. *Interdisciplinaria. Revista de Psicología y Ciencias Afines*, 40(2), 355–371.
- INDEC (2018) "Estudio Nacional sobre el Perfil de las Personas con Discapacidad. Resultados Definitivos 2018", CABA, Argentina. ISBN 9789508965325.
- Santillán, J. E., & Loyo Montoya, A. (2018). Iluminación LED y usuarios con Baja Visión. *Memorias Luxamérica 2018 (XIV Congreso Panamericano de Iluminación)*, ISBN 9789872033583.
- Van Bommel, W.J.M., & Van Den Beld, G.J. (2004). Lighting for work: a review of visual and biological effects. *Lighting Research & Technology*, 36(4), 255-269.

5. DINÁMICA PERCEPTUAL DEL SESGO DE VELOCIDAD INDUCIDO POR CONTRASTE

■ Agustín Décima, José Barraza y Joan López-Moliner

La velocidad de un estímulo se ve afectada por el contraste del mismo (Thompson, 1976; 1982). En la mayoría de los casos y escenarios posibles, los estímulos de bajo contraste son percibidos como más lentos. Muchos estudios argumentan que este sesgo del sistema perceptivo humano es en realidad la consecuencia de un observador que necesita inferir el estado actual del mundo a través de mediciones ruidosas o incompletas, y que se basa en su conocimiento previo del mundo externo para lograrlo. Esta idea, formulada originalmente por Helmholtz (Helmholtz, 1962), ha sido reformulada en los últimos años en términos

de un marco teórico bayesiano (Knill & Pouget, 2004; Maloney & Zhang, 2010), donde la experiencia previa del mundo puede expresarse como una distribución de probabilidades (conocida como *prior*) que representa la probabilidad de encontrar algún evento en el mundo real, y las mediciones actuales como una segunda distribución (conocida como la verosimilitud o *likelihood*), cuya amplitud representa la cantidad de ruido presente en la señal. Según el argumento, nuestra percepción de un estímulo dado depende de la relación señal-ruido de la medición, lo cual determina la dependencia de nuestro sistema perceptivo de la

experiencia previa: cuanto menor sea la relación, mayor será la dependencia del conocimiento pasado. En términos bayesianos, nuestra percepción se representa mediante la distribución posterior, que es el producto de las distribuciones de *prior* y verosimilitud. Los estudios que atribuyen esta subestimación de la velocidad observada con estímulos de bajo contraste (Contrast Induced Speed Bias, CISB; p.e. Stocker & Simoncelli, 2006) asumen que (i) cuando el contraste se reduce, la relación señal-ruido disminuye, lo que hace que las mediciones sean menos confiables, y (ii) los objetos en el mundo externo tienden a moverse

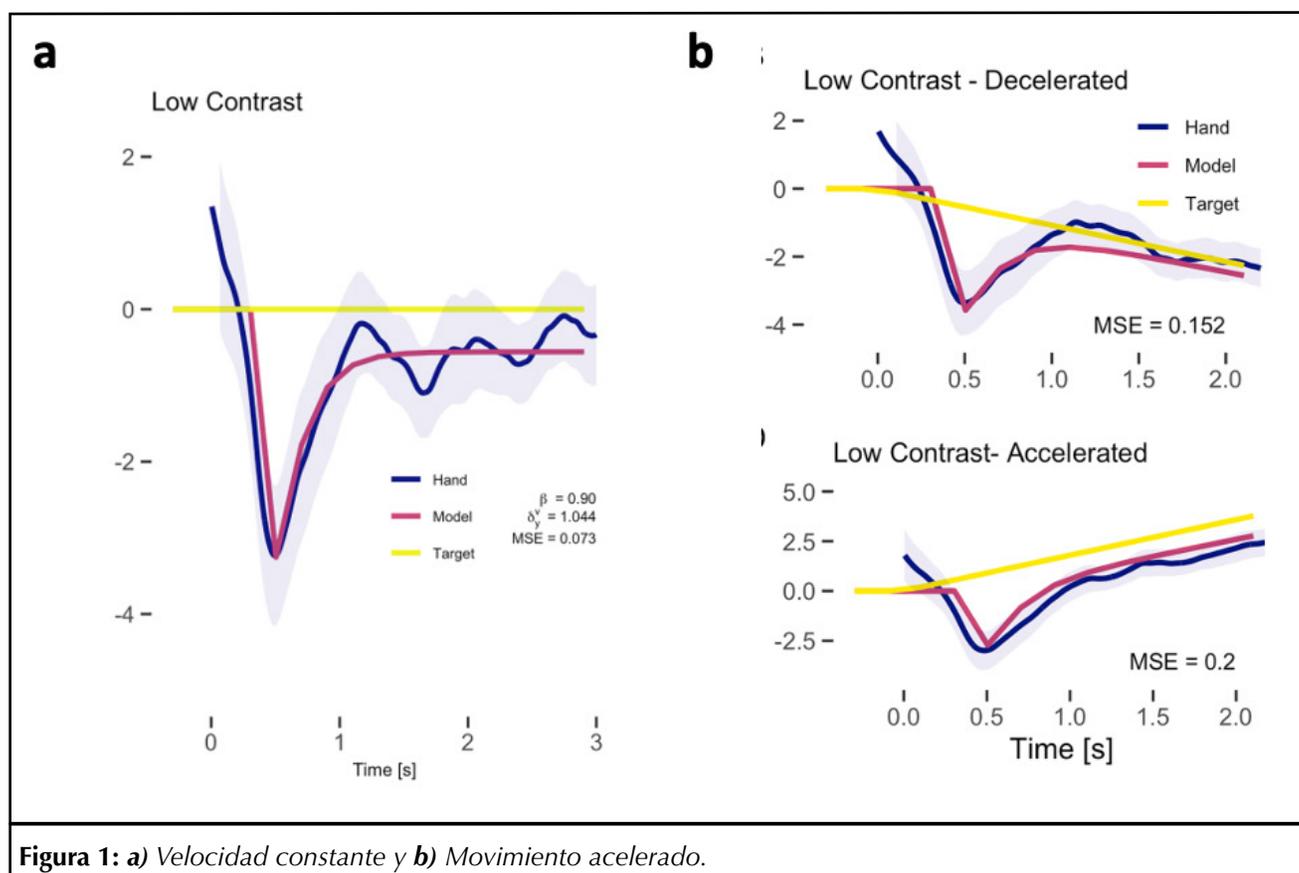


Figura 1: a) Velocidad constante y b) Movimiento acelerado.

lentamente o permanecer inmóviles. Bajo estas dos suposiciones, percibir estímulos de bajo contraste como moviéndose más lentamente es, de hecho, un comportamiento óptimo. Décima, Barraza y López-Moliner (2022) implementaron una extensión temporal del modelo de prioridad de movimiento lento similar a los propuestos en estudios anteriores (p.e. Kwon *et al*, 2015) para generar nuevas predicciones sobre la evolución temporal del CISB. Posteriormente, probamos estas predicciones mediante el diseño de un novedoso paradigma experimental que nos permite medir la diferencia perceptual dinámica entre estímulos a través de una serie de tareas manuales de persecución en bucle abierto. La figuras 1 muestra los resultados experimentales y el ajuste del modelo para dos condiciones: **a.** velocidad constante y **b.** movimiento acelerado. La velocidad física del estímulo se muestra en amarillo, la velocidad de la mano al perseguir al estímulo en azul y en magenta la predicción

del modelo. A la izquierda se muestra el caso de velocidad constante y a la derecha los dos casos de movimiento acelerado. Como se puede observar, el modelo captura eficientemente el comportamiento dinámico del sesgo.

■ REFERENCIAS

1. Décima, A.P., Barraza, J.F. & López-Moliner, J. (2022). The perceptual dynamics of the contrast induced speed bias, *Vision Research*, 191, 107966, <https://doi.org/10.1016/j.visres.2021.107966>.
2. Helmholtz, H. L. (1962). *Helmholtz's treatise on physiological optics*. Dover Knill, D. C., & Pouget, A. (2004). The Bayesian brain: The role of uncertainty in neural coding and computation. *Trends in Neurosciences*, 27(12), 712–719. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2004.10.007>

3. Maloney, L.T., & Zhang, H. (2010). Decision-theoretic models of visual perception and action. *Vision Research*, 50(23), 2362–2374. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.09.031>
4. Stocker, A. A., & Simoncelli, E. P. (2006). Noise characteristics and prior expectations in human visual speed perception. *Nature Neuroscience*, 9(4), 578–585. <https://doi.org/10.1038/nn1669>
5. Thompson, P. G. (1982). Perceived rate of movement depends on contrast. *Vision Research*, 22(3), 377–380. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(82\)90153-5](https://doi.org/10.1016/0042-6989(82)90153-5).
6. Thompson, P. G., Stone, L. S., & Swash, S. (1996). Speed estimates from grating patches are not contrast-normalized. *Vision Research*, 36(5), 667–674. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(95\)00148-4](https://doi.org/10.1016/0042-6989(95)00148-4)

6. COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE CÁMARAS DSLR PARA LA OBTENCIÓN DE CARACTERÍSTICAS COLORÍMETRICAS DE UNA ESCENA VISUAL.

■ José Fanchini, Agustín Gutiérrez, Bárbara Silva, María Sandoval Salinas y Pablo Barrionuevo

Un importante modulador de la percepción del color es la distribución cromática de los ambientes que habitamos. Para mantener una apariencia estable de los objetos en la escena visual ante una alteración cromática, los mecanismos neuronales de la visión de color se modifican. Esto se conoce como adaptación cromática y es considerada una forma de plasticidad neuronal (Webster, 2015). Cuando la alteración se mantiene varios días, se produce una adaptación de largo

plazo (Neitz *et al*, 2002; Delahunt *et al*, 2004; Belmore y Shevell, 2008). Aún está en debate cómo el cerebro procesa esta adaptación. El descubrimiento de las células melanopsínicas en los seres humanos (Dacey *et al*, 2005) -que poseen características fotosensibles, tasa de disparos prolongada e inervan neuronas del procesamiento visual- abre la posibilidad de que estén involucradas en esta adaptación. Nuestro objetivo general es estudiar cómo se produce la adaptación cromática en diferen-

tes ambientes visuales en seres humanos. Para ello, resulta necesario, en primer lugar, desarrollar un dispositivo y un protocolo para la toma y la gestión de imágenes híperespectrales en ambientes naturales.

Las cámaras fotográficas DSLR (sigla en inglés por *Digital Single-Lens Reflex*) ofrecen una alternativa a otros enfoques para la obtención de características colorimétricas. Estas cámaras comerciales son accesibles, su costo es relativamente bajo,

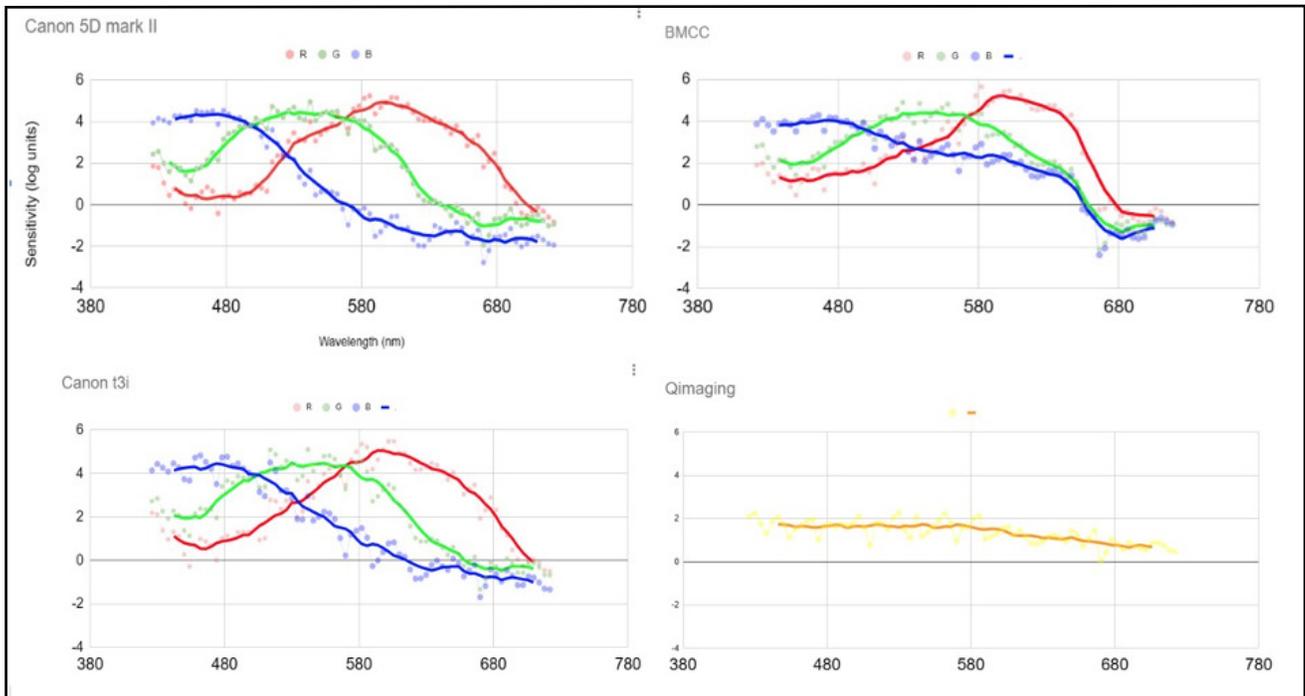


Figura 1: Respuesta espectral de las cámaras estudiadas: 5D Mark II (Canon Inc., 2008), Rebel T3i (Canon Inc., 2010), Blackmagic Cinema Camera 2.5K (Blackmagic) y QICam Fast 1394 (QImaging).

son fáciles de utilizar y las imágenes digitales resultantes son de buena calidad. Sin embargo, para el uso científico, se requieren varias consideraciones para utilizar correctamente las imágenes obtenidas por estas cámaras. Para poder utilizar una cámara fotográfica como instrumental adecuado para la medición del color, es necesario que el archivo digital resultante sea capaz de afrontar las exigencias planteadas por las aplicaciones con la máxima calidad posible y esto, en términos de color, implica que las imágenes adquiridas contengan información espectral exacta y precisa. Esto a su vez requiere de conjuntos de filtros de transmisión espectral adecuados y de la caracterización y calibración de la cámara fotográfica implicada.

Con el fin de obtener características colorimétricas de una escena visual con cámaras réflex, caracterizamos cuatro cámaras de diferentes gamas en relación a su respuesta espectral, la cantidad de ruido y el

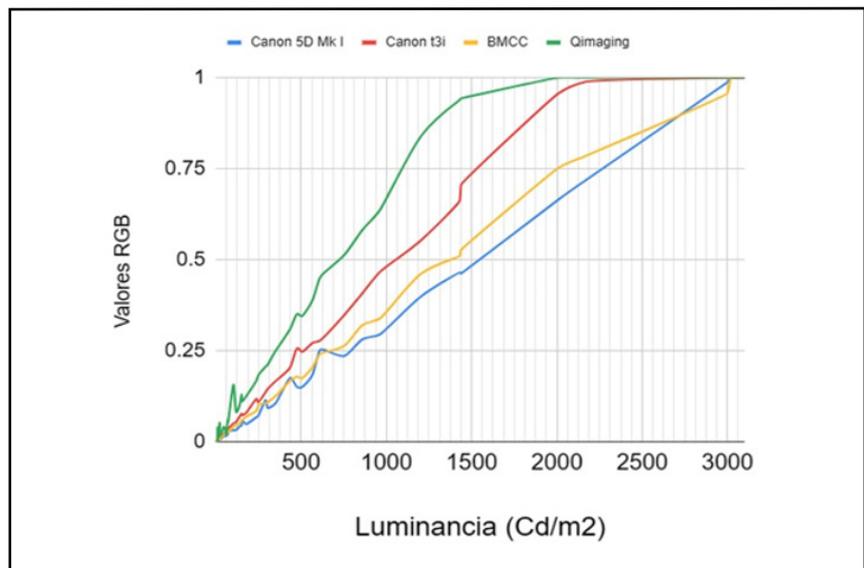


Figura 2: Rango dinámico de las cámaras estudiadas: 5D Mark II (Canon Inc., 2008), Rebel T3i (Canon Inc., 2010), Blackmagic Cinema Camera 2.5K (Blackmagic) y QICam Fast 1394 (QImaging).

rango dinámico. Las cámaras caracterizadas fueron 5D Mark II (Canon Inc., 2008) y Rebel T3i (Canon Inc., 2010), Blackmagic Cinema Camera 2.5K (Blackmagic) y QICam Fast

1394 (QImaging). Para obtener la respuesta espectral de cada cámara utilizamos un filtro sintonizable Kurios XL1/M y una lámpara de Xenón de 46 watts. Para obtener la canti-

dad de ruido y el rango dinámico, tomamos fotografías con diferentes sensibilidades de una tarjeta de color Xrite Color Checker Passport que se ubicó en un entorno oscuro y fue iluminada con un proyector BenQ MS630ST. Para obtener la cantidad de ruido, se compararon con Matlab las fotografías originales con sus equivalentes procesadas, sin ruido, obtenidas mediante un software de procesamiento de imágenes. Para el rango dinámico, se obtuvieron los valores RGB de cada parche y se compararon con la luminancia de cada parche gris medido con un luminómetro LMT L1009.

De acuerdo a los resultados que obtuvimos, seleccionamos a la Blackmagic Cinema Camera 2.5K (Blackmagic) para la configuración del dispositivo para la toma de imágenes híperespectrales en ambientes

naturales, ya que esta cámara presenta una respuesta espectral similar a las otras (Figura 1), un alto rango dinámico (Figura 2) y el menor nivel de ruido entre las cámaras estudiadas (Fanchini *et al*, 2022).

■ REFERENCIAS

1. Belmore SC & SK Shevell. 2008. Very-long-term chromatic adaptation: test of gain theory and a new method, *Vis Neurosci*, vol. 25, n° 3, pp. 411-414, jun. 2008, doi: 10.1017/S0952523808080450.
2. Dacey DM, H-W Liao, BB Peterson, FR Robinson, VC Smith, J Pokorny, K-W Yau & PD Gamlin. 2005. Melanopsin-expressing ganglion cells in primate retina signal colour and irradiance and project to the LGN, *Nature*,

vol. 433, n° 7027, pp. 749-754, feb. 2005, doi: 10.1038/nature03387.

3. Delahunt PB, MA Webster, L Ma & JS. Werner. 2004. Long-term renormalization of chromatic mechanisms following cataract surgery, *Visual Neuroscience*, vol. 21, n° 3, pp. 301-307, may 2004, doi: 10.1017/S0952523804213025.
4. Fanchini JM, A Gutiérrez, B Silva, ML Sandoval-Salinas & PA Barrionuevo. 2022. Comparación de parámetros de dos cámaras DSLR para la obtención de características colorimétricas de una escena visual. Libro de resúmenes ArgenColor 2022 - 14° Congreso Argentino de Color, 5 al 7 de octubre de 2022, Tucumán, Argentina.

7. PERCEPCIÓN DE SEGURIDAD EN PEATONES EN ESPACIOS EXTERIORES ILUMINADOS DURANTE LA NOCHE

■ **Natalia Valladares**

En horarios nocturnos, la iluminación artificial desempeña un papel crucial al permitir que las personas realicen actividades tanto en espacios exteriores como interiores. En la actualidad, es fundamental que los usuarios de estos espacios perciban una atmósfera placentera que les permita llevar a cabo sus tareas de manera efectiva. Dentro de los espacios exteriores, como las áreas residenciales, se encuentran diversos tipos de usuarios, incluyendo conductores de automóviles, motociclistas, ciclistas y peatones. Al analizar la experiencia de los peatones, es de vital importancia que estos puedan detectar obstáculos, orientarse adecuadamente y sentir seguridad y comodidad en su entorno (Rea, 2000;

Fotios *et al*, 2015; Fotios *et al*, 2019). Comprender la percepción de los espacios exteriores públicos implica estudiar la conducta de las personas al caminar y realizar actividades con resultados que son de gran interés y aplicación en el área del urbanismo.

La percepción de seguridad experimentada por los peatones está influenciada por diversos factores, como el nivel de iluminación, la distribución espectral de las fuentes de luz, las características físicas del entorno y la calidad de la iluminación (Bullough *et al*, 2020; Fotios *et al*, 2019). Tanto la calidad percibida de la iluminación como las evaluaciones fotométricas desempeñan un papel fundamental para la predicción

de las respuestas psicológicas de seguridad en un entorno iluminado. Es esencial reconocer la importancia de combinar metodologías de evaluación subjetiva con mediciones fotométricas para comprender plenamente la experiencia de los peatones en espacios iluminados (Allan *et al*, 2018; Fotios, 2018). Factores como la iluminación y las señales ambientales, como la perspectiva y el refugio, influyen directamente en la percepción de seguridad de los peatones. Además, aunque se cumplan con los valores de nivel de iluminación recomendados por normas o recomendaciones, esto no garantiza una sensación de seguridad suficiente para las personas, ya que estas evalúan el espacio en su con-

junto, prestando atención a las señales ambientales presentes (Appleton, 1984; Haans y de Kort, 2012; van Rijswijk y Haans, 2018).

En esta línea de investigación se propone realizar evaluaciones de percepción de la seguridad personal y mediciones fotométricas en caminerías a lo largo del tiempo. Para ellos se realizaron mediciones en dos caminerías (A y B) ubicadas en el campus Herrera de la Universidad Nacional de Tucumán en tres años consecutivos con grupos de conveniencia no menores a las 20 personas en cada año. Las evaluaciones subjetivas se implementaron a través de encuestas donde las personas valoraban la seguridad percibida en una escala de Linkert de 5 pasos, siendo 1 la menor valoración y 5 la mejor. Para las evaluaciones fotométricas se recurrió a la medida de la iluminancia horizontal. Los resultados preliminares se presentan en la Figura 1a y 1b.

En la Figura 1a se presentan las evaluaciones fotométricas de ambas caminerías para tres años consecutivos en términos de los niveles me-

dios de iluminancia horizontal (E_h). La caída de los niveles entre el primer y el segundo año puede deberse a la depreciación de la instalación con el correr del tiempo, mientras que el aumento en el año 3 se debe a una renovación de la instalación que produce un incremento importante de la E_h . Por su parte en la Figura 1b se muestra el comportamiento de las evaluaciones de percepción de qué tan seguras son las caminerías en tres años consecutivos. Ambas caminerías presentaron el mismo patrón de evaluación a lo largo del tiempo aunque la caminería A fue siempre evaluada como más segura que la B.

Se observa que un valor alto de iluminancia horizontal no garantiza automáticamente una evaluación de mayor percepción de seguridad. Por ejemplo, la caminería A fue evaluada como más segura que la caminería B a pesar de que esta última tenía una iluminancia horizontal similar, inclusive mucho mayor que en el tercer año. Esto resalta la importancia del contexto y el entorno en la percepción de las señales ambientales presentes en la evalua-

ción de una caminería. Asimismo, resulta crucial tener en cuenta las diferencias culturales al evaluar la percepción de seguridad y la iluminación en espacios exteriores públicos (Haans *et al*, 2020). Estudios de este tipo proporcionan información valiosa para el diseño y la planificación de espacios públicos que promuevan la seguridad de los usuarios durante la noche.

■ REFERENCIAS

1. Allan A.C., Garcia-Hansen V., Isoardi G & Smith S.S. (2018): Subjective Assessments of Lighting Quality: A Measurement Review, LEUKOS, DOI: 10.1080/15502724.2018.1531017.
2. Appleton, Jay (1984) Prospects and Refuges Re-Visited. *Landscape Journal*, 3 (2), 91–103. Reprinted in Nasar, Jack L. (ed.) (1988), "Environmental Aesthetics: Theory, Research and Applications", Cambridge University Press, Cambridge, 27–44.

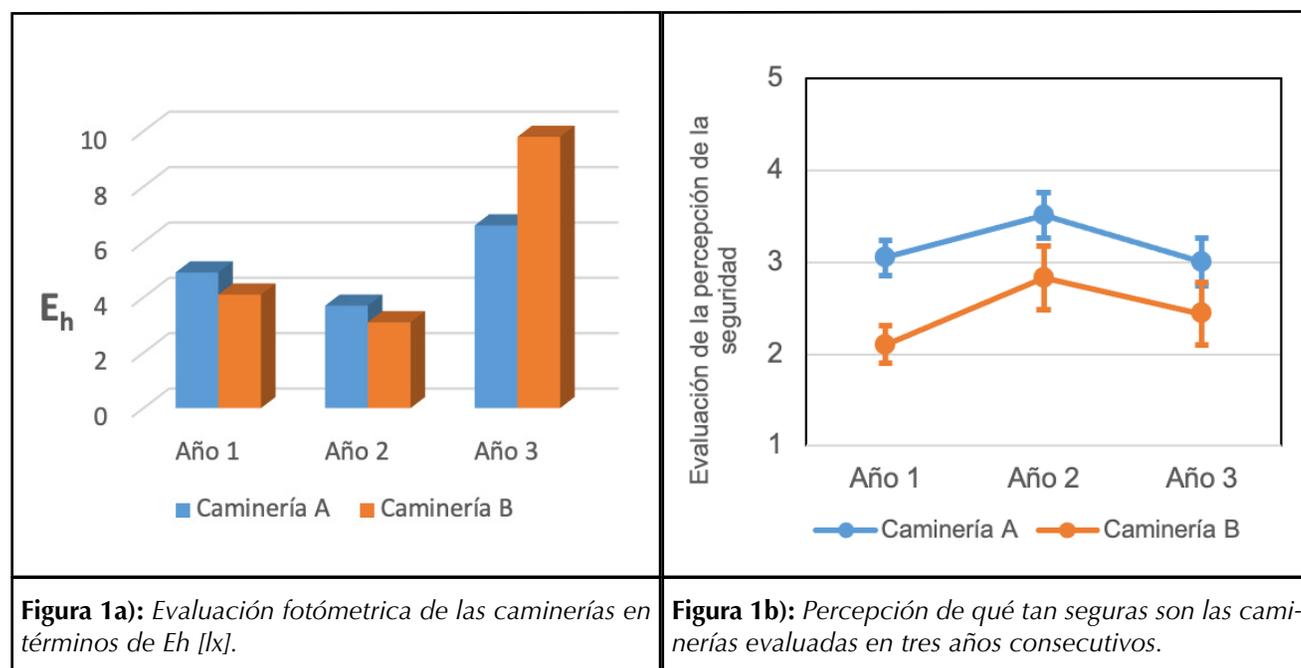


Figura 1a): Evaluación fotométrica de las caminerías en términos de E_h [lx].

Figura 1b): Percepción de qué tan seguras son las caminerías evaluadas en tres años consecutivos.

3. Bullough J, Snyder J, Kiefer K. (2020) Impacts of average illuminance, spectral distribution, and uniformity on brightness and safety perceptions under parking lot lighting. *Lighting Research & Technology*.2020;52(5):626-640. doi: 10.1177/1477153519875171.
4. Fotios S., Yang B. and Cheal C.(2015) Effects of outdoor lighting on judgements of emotion and gaze direction, *Lighting Research & Technology*; Vol. 47: 301–315).
5. Fotios S. (2018): Using Category Rating to Evaluate the Lit Environment: Is a Meaningful Opinion Captured?, *LEUKOS*, DOI: 10.1080/15502724.2018.1500181.
6. Fotios S., Castleton H. & B Yang B.(2019) . Does expression choice affect the
7. analysis of light spectrum and facial emotion recognition?. *Lighting Res. Technol.* 2019; 51: 557–575.
8. Fotios S, Monteiro AL, Uttley J. (2019) Evaluation of pedestrian reassurance gained by higher illuminances in residential streets using the day–dark approach. *Lighting Research & Technology*;51(4):557-575. doi:10.1177/14771535187754.
9. Haans A, de Kort A.W. Y.(2012). Light distribution in dynamic street lighting: Two experimental studies on its effects on perceived safety, prospect, concealment, and escape. *Journal of Environmental Psychology* 32, 342-352.
10. Haans A., Tonello G., Valladares N. (2020). Street lighting and environmental safety evaluation across different countries: A cross-national comparisons between the Netherlands and Argentina. 26th Conference International Association People-Environment Studies (IAPs), Quebec City, Canada.
11. Rea MS. (2000) *The IESNA Lighting Handbook* (ninth edition). New York: The Illuminating Engineering Society of North America.
12. Van Rijswijk L., Haans A.(2018), "Illuminating for Safety: Investigating the Role of Lighting Appraisals on the Perception of in the Urban Environment", *Environment and Behavior* 2018, Vol. 50(8) 889– 912. DOI: 10.1177/0013916517718888.

8. DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE SELECCIÓN MATERIAL PARA EL CONTROL DE OBJETOS EN EXHIBICIÓN EN CASAS MUSEOS

■ **María Silvana Zamora,
Beatriz María O'Donell,
Raúl Fernando Ajmat**

El efecto del medio ambiente en la conservación preventiva de los objetos de museo es un tema que aún concita discusiones. La temperatura del aire y la humedad relativa (y sus fluctuaciones), la calidad del aire interior y la radiación tanto natural como artificial, son los principales agentes de deterioro en objetos de museos cuyos efectos implican daños físicos, químicos o biológicos (D'agostino *et al*, 2015). Diferentes autores han elaborado e implementado estrategias para medir y analizar algunas de las condiciones am-

bientales. La sensibilidad del objeto a las condiciones ambientales estará limitada por su estado de deterioro, su composición material y las características del medio donde habitó históricamente. Para definir qué tipos de objetos pueden ser expuestos en un ambiente caracterizado por ciertas condiciones ambientales, es primordial analizar la interacción entre el ambiente y la sensibilidad del objeto (Pedersoli *et al*, 2016).

Por ello se desarrolló una metodología para determinar la fac-

tilidad de exposición de ciertos objetos para una determinada condición ambiental. La metodología se basa en el diseño de un software interactivo que mide, registra y procesa la temperatura, la humedad, la radiación electromagnética y la contaminación del aire. El software resume la información procesada en términos de niveles medios y fluctuaciones higrotérmicas a medida que se realizan estudios ambientales diarios, mensuales o anuales. Los resultados se comparan con una tabla de sensibilidad de materiales reali-

zada específicamente para este desarrollo, con el fin de determinar el material factible a exponer. Así, los curadores de museos podrán obtener información ambiental útil para la toma de decisiones sobre la exhibición de un determinado objeto.

Para el desarrollo del software interactivo fue necesario generar una tabla de referencia para obtener los materiales factibles de exhibir en un ambiente determinado. Por ello, como parte de esta metodología, se elaboró una tabla integral de sensibilidad de materiales, la cual considera las condiciones ambientales más susceptibles de causar daños a los objetos expuestos en los museos.

El objetivo fue unificar en un mismo cuadro las recomendaciones más recientes respecto a la mayoría de las condiciones ambientales que provocan daños en los objetos museísticos y, por otro lado, acordar una única denominación de sensibilidad material. Los criterios para su elaboración fueron determinar en qué grado un material es sensible a las condiciones ambientales. Dado que la amplitud y velocidad de las fluctuaciones hidrotermales pueden causar graves daños a las exhibiciones, se propuso un nuevo índice, llamado índice de fluctuación de FI. El índice de fluctuación FI permite calificar rápidamente un espacio según su fluctuación higrótérmica y se pondera en una escala de cuatro grados (FI1, FI2, FI3 y FI4) según la amplitud y velocidad de una fluctuación.

■ SELECCIÓN MATERIAL EN MUSEOS SEGÚN LA EVALUACIÓN AMBIENTAL

La Figura 1 muestra el diagrama general de bloques del software interactivo diseñado para determinar el tipo de material u objeto que puede estar expuesto en una determinada

condición ambiental. De esta forma, un material podrá ser exhibido si las condiciones ambientales y el índice FI concuerdan con los requerimientos de exhibición de un objeto dado (Zamora *et al*, 2020).

La lógica de la Figura 1 fue informatizada mediante el software gráfico LabVIEW de National Instruments Corporation, lo que permitió diseñar una interfaz para el procesamiento rápido de la información revisada en un ambiente, seleccionando eficientemente el material de exhibición factible. Los datos son almacenados en hojas de cálculo, ordenados por

fecha y hora, y comparados diaria y mensualmente con la tabla integral, también desarrollada en esta metodología. La interfaz se incorporó a un instrumento de medición construido para registrar cada una de las variables que forman las condiciones ambientales. La T (°C) se midió con un sensor termorresistente de platino recubierto con una lámina de polietileno de aluminio para aislar la medición de la incidencia de radiación, con una incertidumbre en la medición de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ (proceso de calibración). La HR(%) se midió con un sensor de humedad capacitivo (incertidumbre de medida:

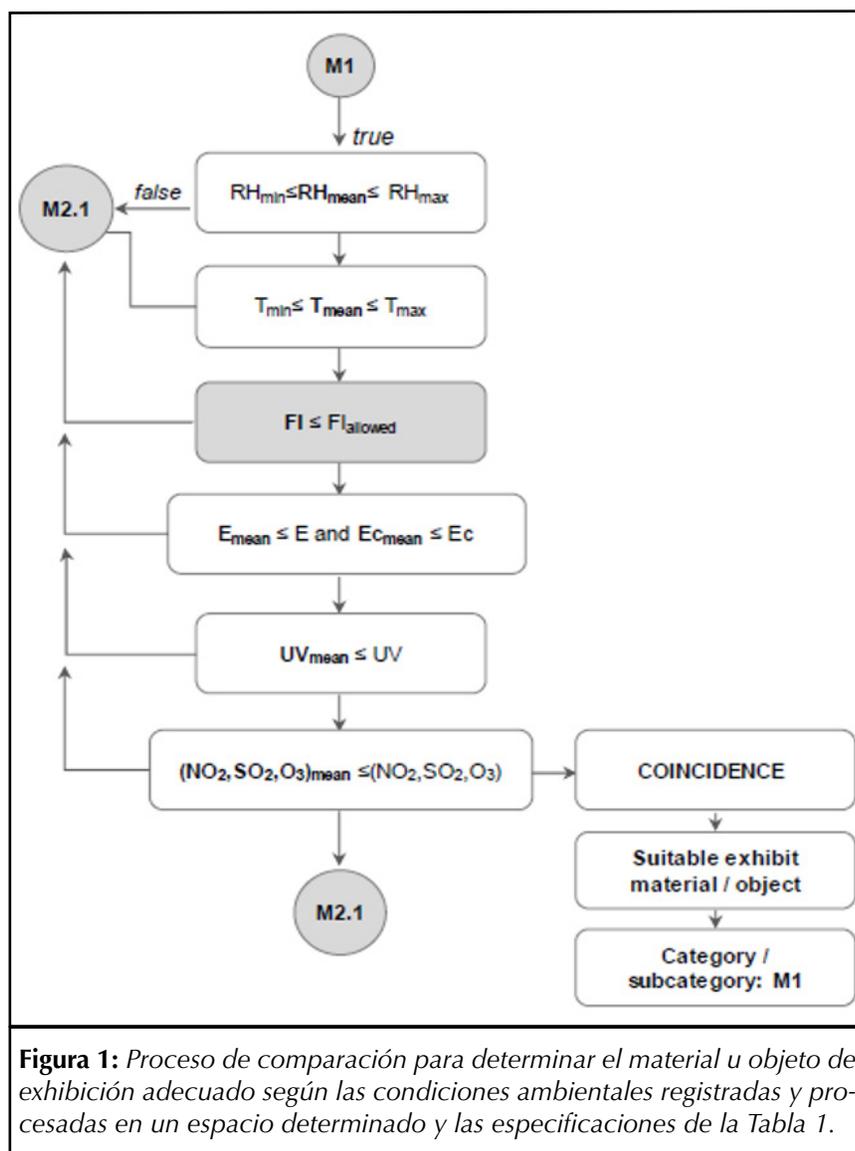


Figura 1: Proceso de comparación para determinar el material u objeto de exhibición adecuado según las condiciones ambientales registradas y procesadas en un espacio determinado y las especificaciones de la Tabla 1.

±3,5%); la iluminancia (radiación visible) con un fotodiodo sensible en el rango de 400-780nm, adaptado a la sensibilidad espectral del sistema visual humano $V(\lambda)$ (incertidumbre de medida: ±5lx); la radiación UV con un fotodiodo sensible en el rango de 280-400nm (±5μW/m²) y la radiación IR mediante un fotodiodo sensible en el rango de 800-1100nm (±2μW/cm²). Para evaluar la contribución de la radiación infrarroja tanto natural como artificial en las fluctuaciones de temperatura, incorporamos un sensor de temperatura de las mismas características sin la lámina protectora.

La metodología fue aplicada para caracterizar integralmente la biblioteca de uno de los museos más importantes de la historia de la Independencia Argentina, el Museo Nacional de la Independencia, analizando el grado de adecuación del patrimonio expuesto a las condiciones ambientales de la sala. Como resultado se resumen las principales

contribuciones de la metodología desarrollada:

- Ofrece un nuevo método para registrar y procesar las condiciones ambientales en los museos, facilitando enormemente la tarea de procesamiento.
- La tabla integral desarrollada resume la información necesaria sobre los niveles de exposición recomendados según la sensibilidad material de un objeto determinado, incluido el efecto de las fluctuaciones hidrotermales (índice FI).
- La organización de los datos en hojas de cálculo permite al museo disponer de sus propios registros ambientales que, en el futuro, constituirán la base de datos ambiental histórica de sus salas y colecciones y permitirá el intercambio de colecciones entre instituciones.

- La automatización de esta metodología constituye una herramienta tecnológica que permite corregir anomalías y favorecer la prevención del riesgo en colecciones de museos.

■ REFERENCIAS

1. V. D'agostino, F.R.D. Alfano, B.I. Palella, G. Riccio, The museum environment: A protocol for evaluation of microclimatic conditions, *Energy and Buildings*, 95, 2015, pp. 124–129.
2. J.L. Pedersoli, C. Antomarchi, S. Michalski, *A Guide to Risk Management of Cultural Heritage*, ICCROM - CCI, 2016.
3. Zamora M. S. O'Donnell B.M. Ajmat R. F. Development of a methodology for materials selection to control exhibition objects in Housemuseums. *International Journal of conservation science* Volume 11, Issue 3, July-September 2020: 689-702 www.ijcs.ro

9. ILUMINACIÓN DE MUSEOS, SU INFLUENCIA EN LA ATENCIÓN Y PREFERENCIA DE USUARIOS

■ **Natalia Bazán, Raúl Ajmat, Luis Issolio**

La necesidad de conocer a sus públicos para atender correctamente sus necesidades, ha determinado que los estudios de público y de satisfacción hayan ido adquiriendo un papel cada vez más importante para la gestión de museos. El estudio de la satisfacción global en museos o el nivel de satisfacción que el visitante alcanza al finalizar su visita, es un campo todavía en desarrollo dentro de la museología, por lo que los parámetros que la conforman pueden

variar según el autor, aunque puede decirse que se compone por todas aquellas variables inherentes al visitante y al museo que influyen su formación tanto de manera positiva como negativa (Bazán *et al*, 2018). Estudios previos han comprobado que la iluminación en museos influye decisivamente tanto en el nivel de satisfacción global de los visitantes como de sus variables componentes (Bazán *et al*, 2018a-c; Bazán, 2020; Bazán & Ajmat, 2021).

En este sentido, la iluminación se incluye dentro del conjunto de recursos contextuales que permitirán establecer un diálogo entre los objetos y los visitantes y entre los objetos entre sí y con su entorno de manera más o menos exitosa. La iluminación tiene la capacidad de funcionar como elemento atractor de la atención hacia ciertas partes de una escena visual, lo que se conoce como "saliencia" (Goldstein, 2013).

En el campo de la museología, la definición de qué elementos generan más atención en los visitantes, así como las causas subyacentes a estos hechos es de importancia para la evaluación del diseño de exposiciones. Mientras que existen trabajos en los que se ha estudiado la influencia de otros factores, como la ubicación de las obras (Lu & Peponis, 2014; Krukar & Dalton, 2020), sobre la atención suscitada en salas de exhibición, no se encuentran en la bibliografía trabajos que la analicen en relación a la iluminación en entornos reales (Garbutt *et al*, 2020), por lo que la profundización en su estudio resulta relevante.

Las tecnologías actuales de seguimiento de movimiento ocular (eye-trackers) se han impuesto como herramientas de valor en un amplio rango de disciplinas, en su búsqueda por entender qué tipo de información deciden procesar los individuos al momento de realizar cierta tarea o actividad. Su utilización en museos es aún incipiente, pero su funcionamiento las posiciona como herramientas de gran valor para el ámbito de la museografía y la evaluación de exposiciones (Quian

Quiroga & Pedreira, 2011; Garbutt *et al*, 2020).

La investigación se centra en el desarrollo de un diseño metodológico y su aplicación para la evaluación de la relación entre la dirección de la mirada y la atención de los visitantes con: 1) la museografía existente, 2) mediciones fotométricas realizadas in situ en los museos (luminancia) y 3) la valoración del ambiente iluminado por parte del visitante (sensación lumínica y satisfacción con la iluminación). Este enfoque se orienta a identificar y evaluar el efecto de los componentes del ambiente visual de museos en la atención de los visitantes sobre la museografía, lo que permitiría generar pautas de estructuración de puestas museográficas en base a patrones objetivos de atención de los visitantes.

Se seleccionó una sala del Museo de Arte Sacro (MAS) de San Miguel de Tucumán, Argentina. El museo cuenta con seis salas, con un tipo de iluminación predominantemente artificial en todas a excepción de la seleccionada, la sala 5 (Figura 1), donde el aporte de luz natural au-

menta debido a su conexión con el acceso principal y los patios interno y posterior.

Las mediciones se llevaron a cabo mediante la selección de escenas clave a lo largo del recorrido (Bazán *et al*, 2018; Bazán, 2020) sobre las que se relevaron cuatro conjuntos de datos, los dos primeros de carácter objetivo y los dos siguientes de carácter subjetivo:

- 1) Puntos de fijación de la mirada, patrones de movimiento ocular y tiempos de fijación.
- 2) Registro de luminancias en cada una de las escenas seleccionadas.
- 3) La valoración de la iluminación realizada por el visitante en la sala analizada (post-recorrido).
- 4) El registro (post-recorrido) de pautas que den cuenta de procesos de atención involucrados en los patrones de fijación observados, mediante la implementación de técnicas de evaluación subjetiva complementarias a los puntos anteriores, como el pensamiento retrospectivo en voz alta.

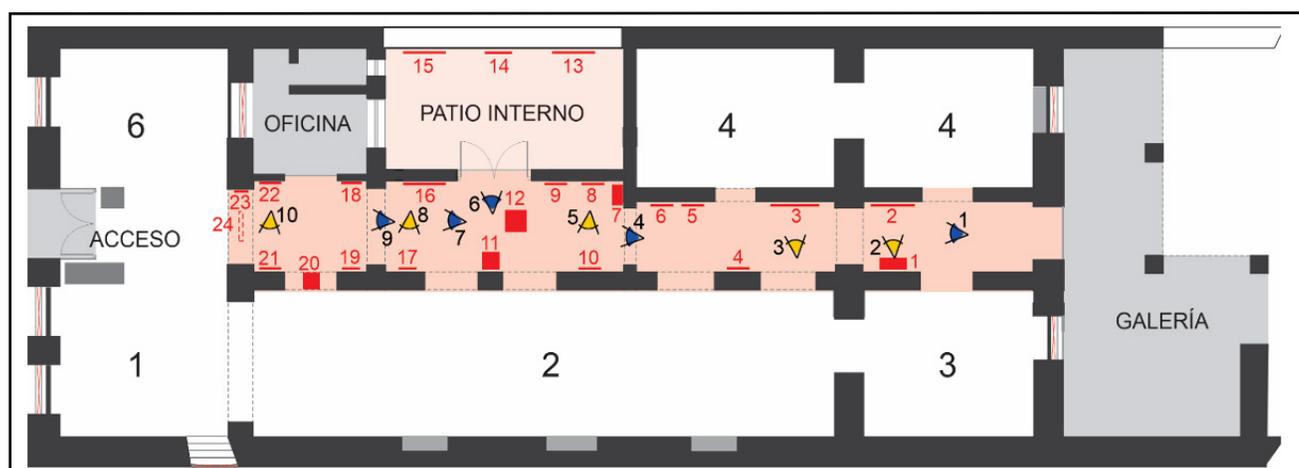


Figura 1: Planta del MAS, ubicación de obras numeradas (rojo) y de escenas panorámicas (azules) y acercamientos (amarillos) en sala seleccionada.

Se seleccionó un total de 10 escenas, entre las que pueden distinguirse cinco denominadas “panorámicas”, con un punto de vista general de la sala en el sentido del recorrido y cinco “acercamientos”, o puntos de vista directos frente a obras específicas (figura 1).

La etapa actual de análisis de las mediciones registradas está enfocada en los dos primeros conjuntos de datos y las escenas panorámicas.

A partir de la determinación de áreas de interés (AOIs – areas of interest) seleccionadas dentro de las escenas en base a pautas museográficas (sectores de ubicación de objetos) y lumínicas (puntos de mayores valores de luminancia), se realizó el análisis de los datos sobre dos premisas: 1) Si el orden de fijación en las AOIs de cada escena está relacionado con los valores de luminancias; 2) si los tiempos de fijación en cada AOI están relacionados a los valores de luminancias.

Se encontró que el contraste de los datos fotométricos y de movimientos oculares sobre las AOIs permite identificar relaciones entre el comportamiento visual de los visitantes y la escena iluminada. Los valores de luminancias parecen guiar hasta cierto punto la dirección de la mirada del observador, influyendo tanto en el orden de fijación como en el tiempo que insume cada fija-

ción. Una escena panorámica como la 4, con condiciones cambiantes de iluminación por ingreso de luz natural a través del patio interno, presentó diferencias apreciables en la atención visual de los visitantes sobre las AOIs dependiendo del nivel de uniformidad presente al momento de realizar el recorrido.

■ REFERENCIAS

1. Bazán, L. N. (2020). Influencia de las condiciones ambientales en museos en la satisfacción de los visitantes. Su evaluación (Tesis doctoral, Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión). Conicet: Buenos Aires. Disponible en Repositorio institucional Conicet Digital <http://hdl.handle.net/11336/114637>
2. Bazán, L., & Ajmat, R. (2021). Considerations on visitor satisfaction as part of an integral evaluation methodology. *Intervención*, 23 (1), 231-255. <https://doi.org/10.30763/intervencion.246.v1n23.25.2021>
3. Bazán, L., Ajmat, R. y Sandoval, J. (2018). Iluminación en museos, experiencia y satisfacción de visitantes en contextos patrimoniales. Casos de estudio en el noroeste argentino. *Anales AFA [S.I.]*, 39-48. <https://doi.org/10.31527/analesafa.2018.in-VisionT.39>
4. Garbutt, M., East, S., Spehar, B., Estrada-Gonzalez, V., Carson-Ewart, B., & Touma, J. (2020). The embodied gaze: Exploring applications for mobile eye tracking in the art museum. *Visitor Studies*, 23(1), 82-100. <https://doi.org/10.1080/10645578.2020.1750271>
5. Goldstein, E. Bruce. (2013). *Sensation and perception* (9th Ed.). USA: Cengage Learning. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(99\)00163-7](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(99)00163-7)
6. Krukar, J., & Dalton, R. C. (2020). How the visitors' cognitive engagement is driven (but not dictated) by the visibility and co-visibility of art exhibits. *Frontiers in psychology*, 11, 350. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00350>
7. Lu, Y., & Peponis, J. (2014). Exhibition visitors are sensitive to patterns of display covisibility. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 41(1), 53-68. <https://doi.org/10.1068/b39058>
8. Quiroga, R. Q., & Pedreira, C. (2011). How do we see art: An eye-tracker study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, Article 98. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00098>.