

# 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 término 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  $r_1$  ( $MTF_{DP[r_1]}(\nu)$ ) y  $r_2$  ( $MTF_{DP[r_2]}(\nu)$ ), 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:

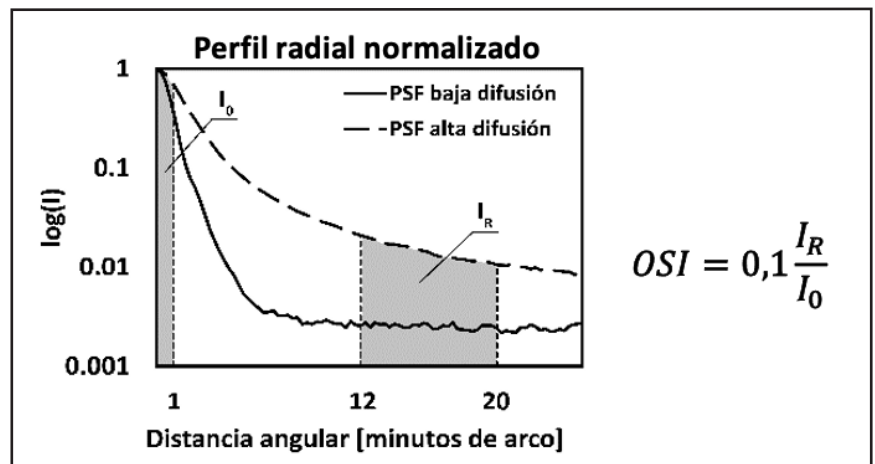
$$MTF_{DP[r_2 - r_1]}(\nu) = \frac{MTF_{DP[r_2]}(\nu)}{MTF_{DP[r_1]}(\nu)} \quad (1)$$

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

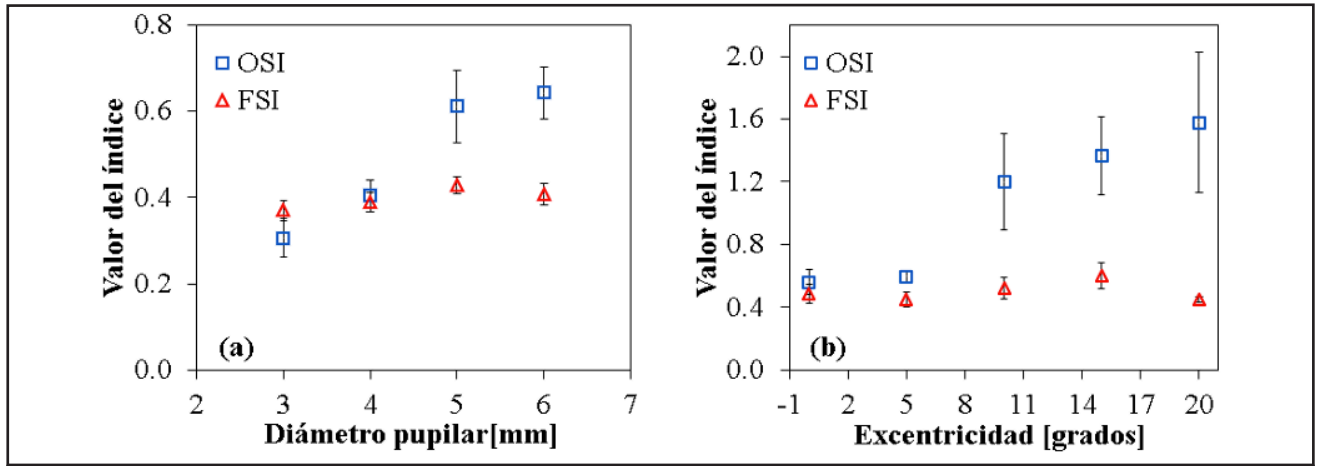
$$FSI = \frac{n}{\sum_1^{n(\nu \sim 3cpd)} MTF_{DP[r_2 - r_1]}(\nu)} - 1 \quad (2)$$

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.



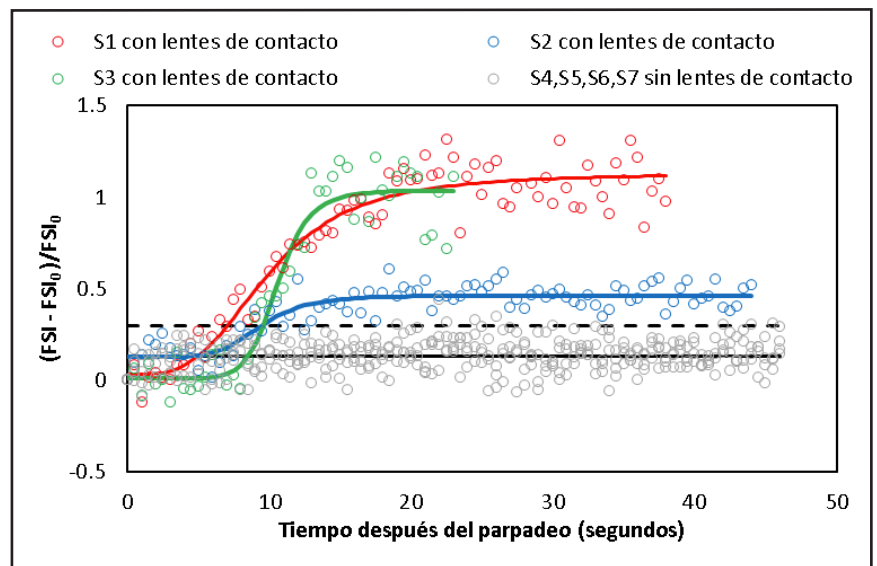
**Figura 2:** Valores de los índices OSI (cuadrados) y FSI (triángulos) en función del diámetro pupilar (a) y de la excentricidad retiniana (b). Las barras de error corresponden a un desvío estándar.

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 sigmoïdal 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 hasta la saturación en la curva, 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, Jaime 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-