

# Trabajos de Investigación en Óptica Visual y Tecnología del Color en el CD6

**Jaume Pujol<sup>1\*</sup>, Montserrat Arjona<sup>1</sup>, Meritxell Vilaseca<sup>1</sup>, Mikel Aldaba<sup>1</sup>, Fernando Díaz-Doutón<sup>1</sup>, Sergio O. Luque<sup>1</sup>, Harold Zuluaga<sup>1</sup>, Jorge A. Herrera<sup>1</sup>, F. Sanabria<sup>1</sup>, Edgar Ferrer<sup>1</sup>, Joan A. Martínez<sup>2</sup>, Juan Carlos Ondategui<sup>2</sup>, Francisco J. Burgos<sup>1</sup>, Anna Giner<sup>1</sup>, Elena Torrecilla<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6),  
Universidad Politécnica de Cataluña,  
Rambla San Nebridio 10, 08222 Terrassa*

<sup>2</sup>*Centro Universitario de la Visión (CUV)  
Universidad Politécnica de Cataluña,  
Violinista Vellsola, 37, 08222 Terrassa*

<sup>3</sup>Unidad de Tecnología Marina (UTM, CSIC)  
Paseo Marítimo de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona.

pujol@oo.upc.edu

**Resumen:** El grupo de óptica visual y color del Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6) de la Universidad Politécnica de Cataluña lleva años realizando trabajos de investigación en las áreas de óptica visual y tecnología del color. Ambas áreas de investigación representan campos de mucho interés científico, tecnológico y social, en las que se realizan numerosos proyectos tanto a nivel nacional como internacional. En esta presentación se explican los proyectos de investigación más relevantes desarrollados desde la última Reunión Nacional de Óptica y se apuntan las investigaciones y proyectos previstos en un futuro próximo.

## 1. Introducción

El grupo de óptica visual y color del Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) ha desarrollado durante años una amplia actividad de investigación en las áreas de óptica visual y tecnología del color, que son campos de gran interés científico, tecnológico y con importante impacto social.

Las investigaciones en curso incluyen actualmente 10 proyectos de tesis doctoral y las vías de financiación son básicamente a través de proyectos de investigación financiados por las administraciones o convenios con empresas. Además, el grupo mantiene intensas relaciones con grupos de otras Universidades o instituciones nacionales e internacionales.

A continuación se hace un breve resumen de las temáticas de trabajo desarrolladas por nuestro grupo desde la última Reunión Nacional de Óptica, se incluyen algunas de las referencias más relevantes de los resultados alcanzados durante este período y se apuntan las investigaciones y proyectos previstos en un futuro próximo. Algunos de los trabajos nombrados serán expuestos con más detalle en varias comunicaciones presentadas en esta X Reunión Nacional de Óptica.

## 2. Proyectos de investigación

### 2.1. Óptica visual

En los últimos años el grupo investigador se ha centrado en el desarrollo de nueva instrumentación [1] y aplicaciones que permitan, utilizando la técnica de doble paso (DP) [2], evaluar objetivamente la calidad óptica ocular y progresar en nuevas y/o mejores aplicaciones que las existentes hasta la fecha.

La experiencia alcanzada por nuestro grupo de investigación, tanto en su investigación fundamental como en su vertiente aplicada o clínica, ha permitido avanzar durante estos tres últimos años en tres grandes temas: estudios fundamentales para comprender y evaluar ciertos procesos o patologías involucrados en la visión humana, diseño de nueva instrumentación para medir la calidad óptica ocular en distintas condiciones y realización

de estudios clínicos y de validación que han aportado avances significativos en varios campos como oftalmología, optometría y óptica oftálmica.

Dentro de los estudios fundamentales se distinguen tres trabajos. En el primero se ha desarrollado un nuevo método para la medida objetiva de la respuesta acomodativa (AR) basado en la técnica de doble paso. Se ha validado el método comparándolo con la AR hallada mediante un aberrómetro de Hartmann-Shack [3] (Fig. 1) y se ha extendido el estudio a un amplio rango de edad [4]. En el segundo estudio se investiga en evaluar mejor la difusión intraocular. Se ha desarrollado un nuevo parámetro, denominado FSI (*Fourier Scattering Index*), que permite una estimación objetiva a partir de la MTF de la imagen obtenida con un sistema de doble-paso. La validez del parámetro se ha probado en un grupo 50 pacientes con diferentes grados de evolución de la catarata y sobre un grupo control de 10 pacientes jóvenes y sanos. Se ha hallado que el parámetro FSI presenta una buena correlación con la clasificación estándar LOCS III y con el parámetro OSI, basado en el análisis directo de la imagen retiniana (Fig. 2).

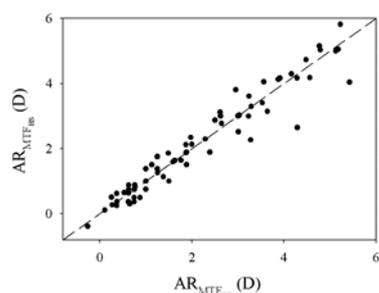


Figura 1. Correlación de la medida de AR obtenida con las técnicas de DP y Hartmann-Shack con las métricas de la MTF<sub>DP</sub> y MTF<sub>HS</sub>

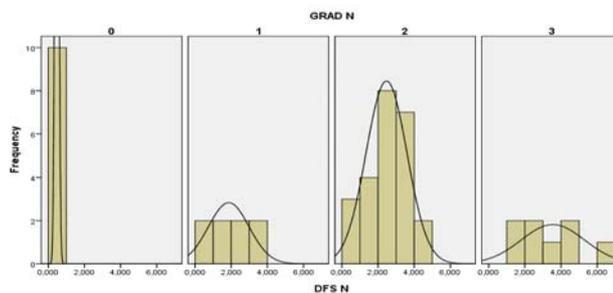


Figura 2. Gráficas de la frecuencia de los valores del parámetro FSI según el grado de evolución de la catarata LOCS III (1,2 y 3) y del grupo de control (0).

El tercer trabajo consiste en el estudio de la detección de patologías oculares a través de la valoración de la calidad óptica ocular de diferentes grupos de interés. Uno de los principales trabajos ha sido normalizar epidemiológicamente [5] los valores clínicos obtenidos mediante el instrumento OQAS (Optical Quality Analysis System) comercializado por Visiometrics S.L., spin-off del CD6. Otro trabajo ha consistido en determinar los cambios de calidad óptica en pacientes sometidos a diferentes tipos de cirugía refractiva (Lasik, PRK, lentes intraoculares) o que presenten algún tipo de patología ocular como ambliopía y cataratas [6][7].

En la vertiente de diseño de nueva instrumentación, se ha avanzado en el diseño y construcción de dos instrumentos. En el primero se ha diseñado y construido un prototipo de laboratorio compacto y funcional para el registro de imágenes retinianas que incorpora notables avances tecnológicos. En cuanto al segundo, se ha construido un prototipo de laboratorio, basado en un sistema de doble paso con enfoque asimétrico, para la medida in vivo de la calidad óptica ocular de pacientes con lentes de multifocales bajo diferentes situaciones de enfoque [8].

El trabajo futuro de nuestro grupo en el campo de la óptica visual se centra en el desarrollo de sistemas para la evaluación global de la calidad óptica ocular, la evaluación objetiva de la multifocalidad en sujetos implantados con IOLs y de la amplitud de acomodación del ojo humano bajo condiciones de binocularidad. También se continuará con el análisis de nuevos parámetros para evaluar el grado de difusión de los medios oculares, los estudios clínicos que permitan avanzar en el conocimiento del efecto de ciertas patologías y defectos visuales que afectan a la calidad óptica ocular y a la visión.

## 2.2. Tecnología del color

El trabajo realizado en ésta área se ha centrado sobre todo en el desarrollo de sistemas multispectrales e hiperspectrales. Uno de los sistemas multispectrales desarrollados

está formado por dos cámaras monocromáticas (CCD e InGaAs) y con la novedad de incluir 23 LEDs colocados en un anillo que cubren el rango espectral de 380 a 1650 nm y con una geometría de iluminación/observación D/0 (Fig. 3). Ha sido necesario realizar previamente un estudio exhaustivo para determinar sus características de emisión, color y estabilidad que ha permitido seleccionar los LEDs más adecuados [10]. El sistema ha sido utilizado con éxito para analizar las pinturas murales góticas del pintor Ferrer Bassa que decoran la celda de San Miguel del Real Monasterio de Pedralbes (Barcelona). También estamos ultimando una metodología de selección de iluminantes y desarrollo de un iluminador de museos de emisión espectral regulable también basado en LEDs.

Otro de los trabajos ha sido el análisis de repetitividad, reproducibilidad y exactitud de un sistema hiperespectral sincronizada con sistema mecánico móvil que permite realizar un escaneado lineal que muestre la escena espectralmente y espacialmente (Fig. 4) siguiendo las directrices especificadas en la norma ASTM E2214-08 [11], También se han desarrollado algoritmos de control y se ha calibrado el sistema. Los resultados obtenidos muestran que este sistema proporciona resultados muy buenos en términos de repetitividad y aceptables en términos de reproducibilidad, similares a los encontrados por otros autores en espectrofotómetros comerciales [12]. El sistema también presenta una muy buena exactitud en términos tanto espectrales como radiométricos. Esta prevista la aplicación de este sistema al control de la reproducción de muestras con patrones de color espacialmente complejos.

También se han desarrollado herramientas hiperespectrales para aplicaciones relacionadas con la tecnología marina. Con este objetivo se han puesto a punto sistemas y técnicas para la monitorización y caracterización de la columna de agua mediante sensores ópticos integrados en plataformas de observación marina con la finalidad de extraer información de forma automática de los componentes presentes en las muestras de agua (por ejemplo su contenido en fitoplancton, algas etc.) [13].

Finalmente, indicar que actualmente se está trabajando en la construcción de una fuente de luz espectral sintonizable basada también en LEDs con el objetivo es obtener una fuente espectral en el rango visible del espectro con una elevada uniformidad espacial, para que pueda ser acoplada a sistemas multiespectrales de medida. En trabajos futuros se adaptará dicha fuente para que se puedan realizar medidas en diferentes configuraciones de iluminación y medida, es decir, en un sistema goniomultiespectral.

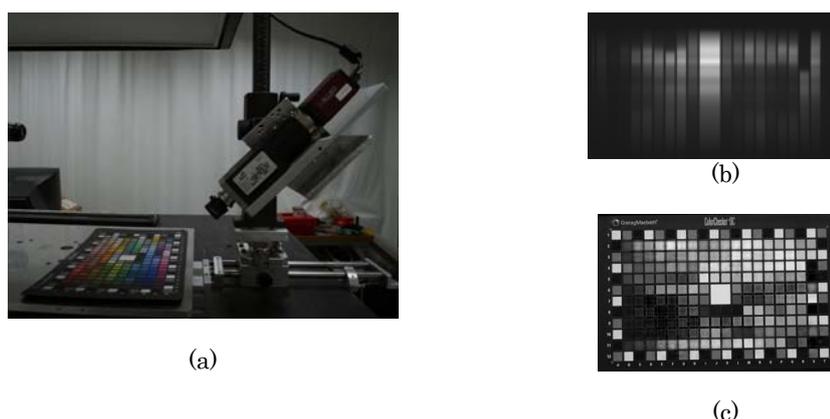


Figura 4. Funcionamiento de un sistema multiespectral: (a) Adquisición de una única línea por parte de la cámara; (b) Escaneado lineal; (c) Obtención de la imagen espectral completa.

### Agradecimientos

Al Ministerio de Educación y Ciencia y Ministerio de Ciencia e Innovación y a la Unión Europea por la financiación de los proyectos: DPI2008-06455-C02-01/DPI y DPI2011-30090-C02-01.

## Bibliografía

- [1] J. L. Guell, J. Pujol, M. Arjona, F. Díaz-Doutón, P. Artal, “OQAS: A new instrument for objective clinical evaluation of the ocular optical quality”, *J Cataract Refract Surg.*, **30**, p.1598 (2004).
- [2] J. Santamaría, P. Artal, J. Bescós, “Determination of the point-spread function of the human eye using a hybrid optical-digital method”, *J Opt Soc Am A*, **4**, p. 1109 (1987).
- [3] M. Aldaba, M. Vilaseca, F. Díaz-Doutón, M. Arjona, J. Pujol , “Measuring the accommodative response with a double-pass system. Comparison with the Hartmann-Shack technique”, *Vision Research* (accepted)
- [4] J. Pujol, M. Aldaba, M. Vilaseca, F. Díaz-Doutón, M. Arjona, “Double-pass accommodative response measurements in a wide age range population”, Annual Meeting Association for the Research in Vision and Ophthalmology (ARVO), Fort Lauderdale, Florida. USA (2012)
- [5] J. A. Martínez-Roda, M. Vilaseca, J.C. Ondategui, A. Giner, F. J. Burgos, G. Cardona, J. Pujol, “Optical quality and intraocular scattering in healthy young population”, *Clinical and Experimental Optometry*, **94**(2), 223-229 (2011)
- [6] J.C. Ondategui, J. Martínez-Roda, M. Vilaseca, Sanabria, F, J. Pujol, “Use the Double-Pass Technique to Quantify Optical Quality and Intraocular Scattering in amblyopic Eyes: A Pilot Study”, Annual Meeting Association for the Research in Vision and Ophthalmology (ARVO), Fort Lauderdale, Florida. USA (2012)
- [7] J. C. Ondategui, M. Vilaseca, M. Arjona, A. Montasell, G. Cardona, J. L. Güell, J. Pujol. “Optical quality after myopic photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis: Comparison using a double-pass system”, *J Cataract Refrac Surg.* **38**, 16-27 (2012).
- [8] H. Zuluaga, S.O. Luque, F. Diaz Douton, M. Aldaba, M. Arjona, J. Pujol, “Defocus Curve of Multifocal Intraocular Lenses Measured With a New Asymmetric Focus Double Pass System”, Annual Meeting Association for the Research in Vision and Ophthalmology (ARVO), Fort Lauderdale, Florida. USA (2010)
- [9] J. A. Herrera, M. Vilaseca, J. Pujol, “Automatic multispectral ultraviolet, visible and near-infrared capturing system for the study of artwork”, *IS&T/SPIE Electronic Imaging* (EI 2011), SPIE Proceedings 7869, 1-7 (2011)
- [10] O. Martínez, M. Vilaseca, M. Arjona, C. Pizarro, J. Pujol, “Use of light-emitting diodes in multispectral systems design: variability of spectral power distribution according to angle and time of usage”, *Journal of Imaging Science and Technology* **55**(5), 050501-1 050501-8 (2011)
- [11] E. Chorro, M. Vilaseca, J. A. Herrera, E. Perales, F. M. Martínez-Verdú, J. Pujol, “Evaluation of the repeatability and reproducibility levels for colour measurement obtained by digital imaging capture devices”, *5<sup>th</sup> European Conference on Colour in Graphics, Imaging and Vision (CGIV 2010)*, IS&T Proceedings, 366–371(2010)
- [12] Barbara Schael, Meritxell Vilaseca, Edgar Ferrer, Jaume Pujol “Repeatability and reproducibility of a hyperspectral camera as a means of measuring color”, Enviado al congreso AIC 2012 “In Color We Live – Color and Environment”, Septiembre 2012 (Taiwan)
- [13] E. Torrecilla, J. Piera, I. F. Aymerich, S. Pons, O. N. Ross, M. Vilaseca. “Hyperspectral remote sensing of phytoplankton assemblages in the ocean: Effects of the vertical distribution”, *2nd Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (Whispers 2010)*. Reykjavik (Islandia)