

# INVESTIGACIÓN EN ÓPTICA FISIOLÓGICA Y COLOR EN EL CENTRO DE DESARROLLO DE SENSORES, INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMAS

Jaume Pujol<sup>(1)</sup>, Montserrat Arjona<sup>(1)</sup>, Meritxell Vilaseca<sup>(1)</sup>, Fernando Díaz-Doutón<sup>(1)</sup>, Sergio Oscar Luque<sup>(1)</sup>, Joan Gispets<sup>(1)</sup>, Marta de Lasarte<sup>(1)</sup>, Mikel Aldaba<sup>(1)</sup>, Juan Carlos Ondategui<sup>(2)</sup>, Virginia Lapuente<sup>(1)</sup>, Sanabria Ferran<sup>(1)</sup>

Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6)<sup>(1)</sup>,  
Centro Universitario de la Visión<sup>(2)</sup>

## 1. Introducción

La Óptica Fisiológica y el Color son dos de los campos de investigación que se desarrollan en el Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6) de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC). En Óptica Fisiológica la actividad se centra fundamentalmente en el estudio y evaluación de la calidad óptica del ojo y el desarrollo de instrumentación para dicha evaluación, y en el campo de color nuestro interés se dirige fundamentalmente a la adquisición, caracterización y gestión de imágenes en color (*Color imaging*).

En este trabajo se presentan las investigaciones más relevantes desarrolladas desde la última Reunión Nacional de Óptica y se apuntan las investigaciones y proyectos previstos en un futuro próximo.

## 2. Óptica Fisiológica.

Los trabajos realizados en estos últimos años se han centrado fundamentalmente en los siguientes aspectos: evaluación de la calidad óptica empleando la técnica de doble-paso utilizando el instrumento OQAS (Optical Quality Analysis System) y realizando nuevos desarrollos en el mismo, aberrometría ocular, difusión intraocular, acomodación y la caracterización del sistema formado por el ojo y lentes de contacto.

El OQAS[1] es un nuevo instrumento para la determinación objetiva en un entorno clínico de la calidad óptica del ojo basado en un diseño asimétrico de un sistema de doble paso (DP). Fue desarrollado, mediante contrato, para la empresa la empresa VISIOMETRICS S.L. y en colaboración con al Laboratorio de Óptica de la Universidad de Murcia. En los últimos años hemos realizado importantes desarrollos en el mismo que han permitido que, en la actualidad, esté siendo utilizado en clínicas oftalmológicas y universidades de referencia. También se han realizado diversos estudios como el que permite obtener una evaluación objetiva de la agudeza visual y la función de sensibilidad al contraste a partir de la Función de Transferencia de Modulación Ocular[2] o la comparación entre medidas de calidad óptica obtenidas con DP y las obtenidas con un sensor de Hartmann-Shack (HS). Los resultados muestran que con la técnica del DP se obtiene información sobre las aberraciones y la difusión intraocular mientras que los sensores HS únicamente miden aberraciones, sobreestimando la calidad de la imagen retiniana en los casos donde existe difusión intraocular[3]. Ahora estamos trabajando en la realización de diferentes estudios clínicos comparando la calidad óptica frente a diferentes técnicas de cirugía refractiva, diferentes tipos de lentes intraoculares...etc.

La aberrometría ocular constituye una de nuestras líneas de investigación en el campo de la óptica visual. Cabe destacar la implementación con éxito, por primera vez para su

aplicación en el ojo humano, de un sensor de curvatura basado en el análisis de la variación de intensidad de la luz en planos perpendiculares a su dirección de propagación. El cual resuelve los principales inconvenientes de los Sensores convencionales, principalmente en cuanto a orden de aberración alcanzable y rango dinámico. Se ha estudiado su viabilidad analizando su comportamiento en función de las características del detector utilizado (cámara CCD en nuestro caso) por medio de simulaciones numéricas, que a su vez han ayudado a la optimización del diseño del sistema óptico. Los resultados experimentales hallados, tanto en ojo artificial como en ojo real, son comparables a los de una técnica ya consolidada como es el sensor de HS [4,5]. Siguiendo esta línea de trabajo, se esperan perfeccionar las prestaciones de este sensor, de manera que se alcance todo su potencial de medida de aberraciones de muy alto orden.

También hemos avanzado en el desarrollo de un sistema que permita la medida objetiva de la difusión intraocular en la práctica clínica. En primer lugar, implementamos la polarimetría para determinar el grado de difusión intraocular. Se midió la despolarización sufrida por un haz láser al viajar a través de la óptica ocular pero estas medidas no brindaron resultados lo suficientemente repetitivos para poder ser implementado en el ámbito clínico. Actualmente se están llevando a cabo medidas comparativas entre un sensor de frente de onda y un sistema doble paso, que permitan la cuantificación de la luz difusa intraocular, en sujetos con diferentes condiciones oculares (por ejemplo, principio de catarata, post-cirugía LASIK y en personas de avanzada edad).

En el tema de acomodación, hemos desarrollado y validado una técnica objetiva para la determinación de la amplitud de acomodación a partir del análisis de la calidad de la imagen retiniana halladas con el OQAS, hallándose una muy buena correlación para el caso de ojos presbítas. Con esta técnica se realizó un estudio a pacientes implementados con diferentes tipos de lentes intraoculares, alguna de ellas con propiedades acomodativas, obteniendo valores similares de amplitud de acomodación[6]. En la actualidad estamos trabajando en la separación de la componente de acomodación y pseudoacomodación con esta técnica.

Otro campo en el que estamos trabajando es en el de la caracterización óptica del sistema formado por el ojo y lentes de contacto multifocales. Actualmente estamos analizando la correlación entre medidas objetivas, psicofísicas y subjetivas para intentar definir sistemas objetivos de valoración de la satisfacción final del usuario de lentes de contacto.

### **3. Color**

Los trabajos realizados en los últimos años se han centrado fundamentalmente en la visión del color en el infrarrojo (Infrared color visión), en el desarrollo de nuevos sistemas espectrofotométricos para la medida del color y en el desarrollo y aplicación de técnicas multiespectrales.

Hemos desarrollado un sistema para la reconstrucción de espectros y visualización de imágenes en el infrarrojo próximo (800-1000 nm) a partir del registro de imágenes multiespectrales con una cámara CCD convencional. Se estudio la configuración óptima del sistema para la reconstrucción de espectros, llegándose a la conclusión que era óptimo trabajar con cinco canales distintos ya que se obtenían una buena reconstrucción de una amplia gama de objetos[7], y también se analizo la influencia del iluminante en

este tipo de sistemas[8]. En cuanto a los sistemas de visualización se han desarrollado fundamentalmente dos tipos: los relacionados con la visión del color y los permiten la máxima discriminación entre objetos [9]. Algunos de los resultados de la investigación desarrollada han sido transferidos a la empresa Biosystems S.A.

Para el desarrollo de sistemas espectrofotométricos de medida del color a partir de Sensores optoelectrónicos de imagen, se llevó a cabo la optimización de un algoritmo de corrección de la no-uniformidad espacial que corrige tanto el ruido de patrón fijo del propio sensor como la no-uniformidad de la iluminación de la escena [10]. Con el fin de optimizar la medida del color se han utilizado diversas configuraciones del sistema: una colorimétrica (RGB) y otra multiespectral (siete filtros interferenciales). Hemos ampliado su rango dinámico mediante la aplicación de un algoritmo de adaptación luminosa y se ha mejorando la precisión en la estimación de los valores XYZ mediante la ampliación de la base de entrenamiento del sistema.

Por último, hemos evaluado la eficiencia de un sistema multiespectral basado en una cámara CCD para ser utilizado como instrumento de medida de espectros de reflectancia de iris humanos. A partir de las imágenes de sujetos con distinta coloración de iris, se hallaron los niveles digitales de las varias zonas del iris, a partir de los cuales se han obtenido las curvas de reflectancia espectral y los espectros de reflectancia correspondientes a un conjunto de muestras de entrenamiento.

## **Bibliografía**

- [1] J.L. Guell, J. Pujol, M. Arjona, F. Díaz-Doutón, P. Artal, J. Cataract Refract. Surg., **30**, 1598-1599 (2004)
- [2] M. Arjona, J.L. Guell, F. Díaz-Douton, S.O. Luque, F. Sanabria, J. Pujol ARVO annual meeting (2004)
- [3] F. Díaz-Douton, A. Benito, J. Pujol, M. Arjona, J.L. Guell, P. Artal Inv. Ophthalmol. Vis. Sci. **47**, 1710-1716 (2006)
- [4] F. Díaz-Doutón, J. Pujol, M. Arjona, S. O. Luque Opt. Lett. (enviado)
- [5] F. Díaz-Doutón, J. Pujol Patente P200600739 (2006)
- [6] J. L. Güell, F. Velasco, J. Pujol, M. Arjona, F. Diaz-Doutón, S.O. Luque, P. Artal ARVO annual meeting (2004)
- [7] M. Vilaseca, J. Pujol, M. Arjona, M. de Lasarte, Applied Optics (aceptado, 2005)
- [8] M. Vilaseca, J. Pujol, M. Arjona, F.M. Martínez-Verdú, JIST, **49** (246-255), 2005
- [9] M. Vilaseca, J. Pujol, M. Arjona, F.M. Martínez-Verdú, Proc. CGIV'04, (431-436), 2004
- [10] Marta de Lasarte, Jaume Pujol, Montserrat Arjona, and Meritxell Vilaseca. Appl. Opt. (aceptado, 2006)
- [11] M. Vilaseca, M. de Lasarte, J. Pujol, M. Arjona, F.H. Imai, Proc. CGIV'06, 2006.

## **Agradecimientos**

Al Ministerio de educación y ciencia por la financiación de los proyectos DPI2005-08999-C02-01 y CIT 020400-2005-24. M. Vilaseca y S.O. Luque agradecen a la Generalitat de Cataluña y F. Díaz-Doutón, M de Lasarte y M. Aldaba al Ministerio de Educación y Ciencia por las becas de formación predoctoral recibidas.