

Líneas de Investigación en Óptica Visual y Tecnología del Color en el CD6

Jaume Pujol¹, Meritxell Vilaseca^{1*}, Montserrat Arjona¹, Marta de Lasarte¹, Mikel Aldaba¹, Harold Zuluaga¹,
Jorge A. Herrera¹ Fernando Díaz-Doutón², Sergio O. Luque², F. Sanabria², Juan Carlos Ondategui³

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

²*Visiometrics S.L.
Ctra. Nacional 150 Km. 14.5 IPCT-TR20
08227 Terrassa*

³*Centro Universitario de la Visión (CUV)
Universidad Politécnica de Cataluña,
Violinista Vellsolá, 37, 08222 Terrassa*

<http://www.cd6.upc.es>

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) realiza trabajos de investigación centrados en las áreas de óptica visual y tecnología del color. Ambas líneas de investigación representan actualmente campos de mucho interés, en las que se realizan numerosos proyectos tanto a nivel nacional como internacional.

En el campo de la óptica visual, en particular el estudio de la calidad óptica ocular es un tema con una gran actividad investigadora en los últimos años. El desarrollo de dispositivos para la evaluación objetiva de la calidad óptica ocular permite conocer de forma objetiva el funcionamiento básico del sistema visual a nivel óptico y por lo tanto, la investigación derivada puede aportar avances significativos en los campos de la oftalmología, la optometría, la óptica oftálmica, etc. En estos ámbitos es muy importante controlar la calidad óptica de los pacientes ya que permite evaluar el efecto de nuevos tratamientos sobre el sistema visual. Por ejemplo, es muy importante saber como afectan los diferentes tratamientos de cirugía refractiva existentes la calidad visual de los pacientes. En este contexto, se puede estudiar el cambio en la calidad óptica del ojo antes y después de ser sometido a una cirugía, ya sea con la implantación de lentes intraoculares o mediante técnicas láser, etc. En el caso de lentes intraoculares, la determinación de la calidad óptica de éstas permite avanzar en la optimización de diseños de fabricación, obteniendo mejores resultados. Además, también es interesante saber como es la calidad visual asociada a usuarios de gafas y lentes de contacto, para determinar cuales son los mejores diseños a utilizar para la fabricación tanto de lentes oftálmicas como de lentes de contacto, respectivamente.

Por otro lado, la tecnología del color es un campo que está en constante evolución y donde se realizan proyectos de investigación relevantes, debido principalmente a la aparición en el mercado de nuevas tecnologías de sensores optoelectrónicos, como cámaras digitales o escáneres, pantallas e impresoras. Gracias a estos desarrollos es posible mejorar notablemente las técnicas existentes para la medida y especificación del color en ámbitos en los que el control colorimétrico de productos es importante, ya que permiten superar ciertas limitaciones que presentan los instrumentos convencionales de medida, como son los colorímetros, espectroradiómetros y espectrofotómetros. Algunas de estas ventajas son la elevada resolución espacial de estos nuevos sensores, su bajo coste, el corto tiempo de medida etc., lo que permite que se puedan desarrollar herramientas para la automatización de procesos industriales de producción de productos manufacturados. De esta manera se puede analizar el color de objetos en sectores industriales muy diversos, como por ejemplo en la industria textil, papelera, química, automovilística, fotográfica, multimedia etc.

En este trabajo se presentan los proyectos de investigación más relevantes en óptica visual y tecnología del color desarrollados desde la última Reunión Nacional de Óptica celebrada en Alicante en 2006, y se apuntan las investigaciones y proyectos previstos en un futuro próximo.

* e-mail: mvilasec@oo.upc.edu

2. Proyectos de investigación

2.1. Óptica visual

En los últimos años una de las líneas más activas del grupo investigador se ha centrado en el desarrollo de herramientas y aplicaciones que utilizan el sistema de doble-paso [1] OQAS (*Optical Quality Analysis System*) [2] comercializado por la empresa *spin-off* del CD6 VISIOMETRICS S.L. para la evaluación objetiva de ciertos aspectos relacionados con la calidad de la visión. En este sentido, recientemente en colaboración con el Laboratorio de Óptica de la Universidad de Murcia (LOUM) se ha conseguido cuantificar de forma objetiva la difusión intraocular en pacientes mediante el sistema OQAS, además de determinar la calidad óptica del ojo. Para ello, el sistema proporciona un índice objetivo de difusión (OSI, *Objective Scattering Index*) correlacionado con la cantidad de luz difundida. Cabe destacar que es el único equipo existente en el mercado capaz de realizar este tipo de medidas, lo cual puede ayudar significativamente a determinar objetivamente, por ejemplo, el grado de madurez idóneo de las cataratas para que éstas sean intervenidas. Hasta el momento esta decisión recae exclusivamente al criterio subjetivo del oftalmólogo. En la figura 1 (1) se muestran las imágenes de doble-paso correspondientes a ojos con diferente grado de catarata y el parámetro OSI correspondiente [3].

También se ha desarrollado un ojo artificial con características ópticas similares a las del ojo humano, acoplable al OQAS y que permite por ejemplo la evaluación de la calidad óptica “in-vitro” de lentes intraoculares. Con el sistema desarrollado se estudió el cambio en la calidad óptica de lentes intraoculares monofocales utilizadas para la corrección de la afaquia antes y después de ser inyectadas, procedimiento utilizado para introducir las lentes dentro del ojo. Los resultados obtenidos mostraron que la inyección de lentes no afecta en general a su calidad óptica. En la figura 1 (2) se muestran los resultados proporcionados por el sistema OQAS correspondientes a lentes intraoculares antes y después de ser inyectadas.

Durante los últimos años se han llevado a cabo varios estudios clínicos para la determinación de la calidad óptica del ojo y la difusión intraocular en diferentes grupos de pacientes mediante el instrumento OQAS. Concretamente, los estudios se han realizado en el Instituto de Microcirugía Ocular (IMO) de Barcelona i en el Hospital Mútua de Terrassa. Se han realizado estudios para analizar el cambio en la calidad de la imagen retiniana en pacientes miopes operados mediante la técnica LASIK (Laser in situ keratomileusis), PRK (Photorefractive Keratotomy) y pacientes implantados con lentes intraoculares. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que aunque todas las técnicas permiten la corrección de la miopía de una forma segura y efectiva, los pacientes sometidos a técnicas láser presentan una disminución de su calidad óptica meses después de la operación mientras que los pacientes implantados con lentes intraoculares recuperan totalmente su calidad óptica previa [4]. En la figura 1 (3) se pueden observar algunos ejemplos de imágenes de doble-paso correspondientes a pacientes implantados con lentes intraoculares y pacientes sometidos a la técnica LASIK.

Otra de las líneas activas del grupo ha sido el estudio de la acomodación ocular. Se ha desarrollado un método objetivo para la medida del retraso acomodativo mediante la técnica de doble paso, basado en hallar la mejor imagen retiniana para cada demanda acomodativa. Las imágenes de doble paso contienen información tanto de la difusión intraocular como de todas aberraciones, por lo que esta técnica puede proporcionar medidas más precisas del retraso acomodativo. Además, el método desarrollado permite el registro de las imágenes retinianas, lo que proporciona información sobre la influencia de la calidad de la imagen retiniana en la respuesta acomodativa. Por otro lado, recientemente se ha desarrollado un sistema binocular acoplable al OQAS que permite la evaluación objetiva de la amplitud de acomodación con un estímulo externo. Los resultados obtenidos presentan gran interés especialmente en pacientes pseudofáquicos, es decir, en pacientes operados de cataratas y a los que se les ha implantado una lente intraocular que sustituye al cristalino, puesto que este método objetivo permite superar las limitaciones de los métodos subjetivos.

Además de continuar con el desarrollo de nuevos sensores e instrumentación para la evaluación de la calidad óptica y visual, algunas de las líneas de trabajo futuro de nuestro grupo en el campo de la óptica visual, se centraran en el desarrollo de sistemas para la evaluación objetiva de la multifocalidad del ojo humano. En este sentido, se pretenden desarrollar nuevos sensores que permitan avanzar en la comprensión del sistema visual cuando se forman diferentes imágenes simultáneamente sobre la retina. Se pretende desarrollar nuevos sistemas capaces de evaluar objetivamente la calidad óptica del ojo cuando éste incorpore algún sistema multifocal como por ejemplo una lente intraocular, una lente de contacto o la córnea ablacionada con un perfil multifocal. Por otro lado, recientemente se ha observado

que la calidad de la imagen retiniana varía mucho en función de la calidad de la lágrima del paciente. Es por este motivo que, conjuntamente con el LOUM, se pretende realizar una herramienta que permita la evaluación de la calidad de la lágrima mediante el sistema OQAS, lo que representaría un avance importante frente a otros tests ya existentes debido a que éste es un sistema no invasivo. Finalmente, se continuarán llevando a cabo estudios clínicos sobre diferentes grupos de pacientes, que permitan avanzar en el conocimiento de diferentes técnicas quirúrgicas.

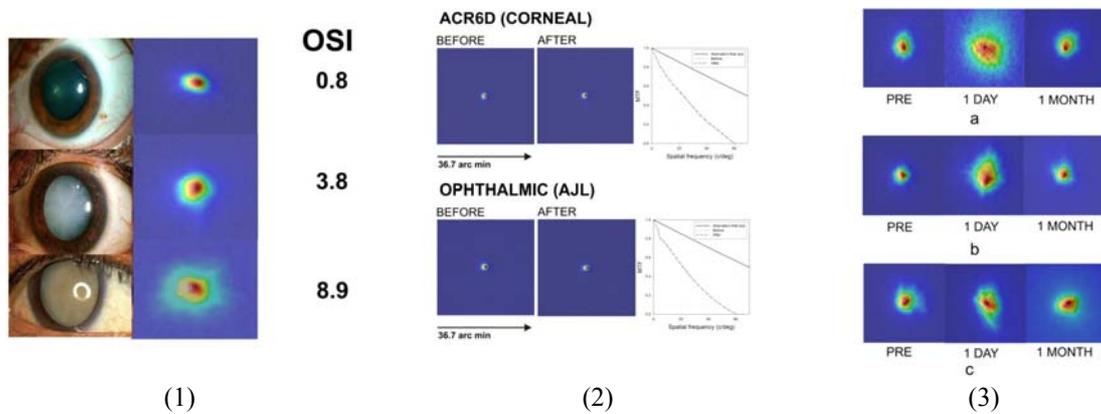


Figura 1: (1) Imágenes de doble-paso de ojos con distinto grado de catarata y OSI correspondiente; (2) Imágenes de doble-paso de dos lentes intraoculares monofocales antes y después de ser inyectadas; (3) Imágenes de doble-paso obtenidas antes de la operación y 1 día y 1 mes después para un paciente implantado con una lente intraocular Verisyse (a), una lente intraocular Veriflex (b) y un paciente sometido a la técnica LASIK (c).

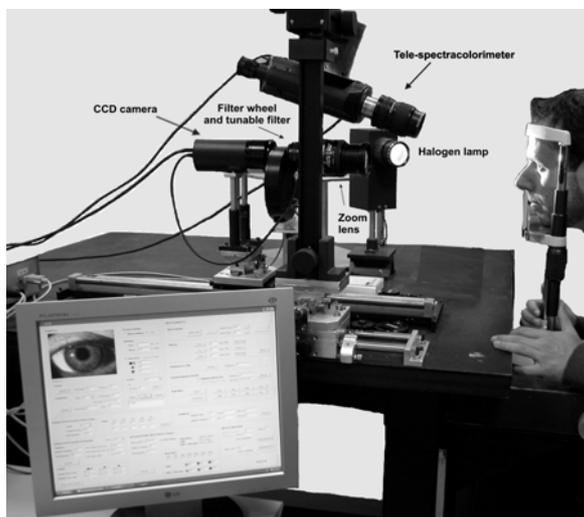
2.2. Tecnología del color

El trabajo realizado en ésta área se ha centrado en los campos de la adquisición y gestión de imágenes en color (*Color Imaging*) y sobretodo en la ciencia multispectral (*Multispectral Imaging*). Las técnicas multispectrales permiten la caracterización espectral de objetos a partir de la utilización de medidas realizadas a través de varios canales de una cámara. Mediante la utilización de procedimientos matemáticos, la ciencia multispectral permite recuperar las características espectrales de los objetos presentes en la escena captada.

En los últimos años el grupo investigador ha desarrollado sistemas para la medida del color y caracterización espectral basada en sensores optoelectrónicos de imagen. Concretamente, se ha diseñado un sistema espectrofotométrico multispectral para el rango visible, el cual utiliza una cámara digital de 12 bits. La utilización de técnicas multispectrales ha permitido desarrollar nuevas herramientas de calibración espectral y colorimétrica específicas que han permitido mejorar la precisión y exactitud de los resultados obtenidos en proyectos anteriores. Esto se ha llevado a cabo optimizando varias propiedades del dispositivo, como el número de canales o bandas espectrales, el número de muestras para “entrenar” el sistema [5], y la separación de gamas de colores [6]. El sistema desarrollado ha sido aplicado a la medida del color y las diferencias de color en muestras textiles. Además ha sido optimizado para la realización de varios proyectos concretos que se resumen a continuación. En primer lugar, se ha implementado un sistema para el análisis del color del iris basado en una cámara CCD-RGB con una elevada resolución espacial (ver figura 2 (1)) que permite determinar su reflectancia espectral a partir de una simple imagen en color [7]. El sistema ha permitido analizar la gama de colores asociados a iris humanos y estudiar su patrón espacial. Los resultados obtenidos podrán ser de gran aplicación en la industria de fabricación de prótesis oculares y lentes de contacto coloreadas, ya que permitirán la obtención de productos con una apariencia más realista que la existente en la actualidad. Por otro lado, destacar el desarrollo de un sistema para el análisis del color de la piel formado por una cámara CCD-RGB que actualmente se utiliza para la medida de los efectos de productos cosméticos sobre la piel [8] (ver figura 2 (2)).

El trabajo futuro está encaminado a desarrollar y optimizar sistemas multispectrales para diversas aplicaciones de alto interés industrial. Se pretende desarrollar un sistema que permita la adquisición de imágenes en las bandas UV, VIS e IR. Este sistema se optimizará para su aplicación a diferentes campos de indudable interés como técnicas reflectográficas en arte, que permiten visualizar capas subyacentes de

la obra y obtener información relevante para su restauración, caracterización espectral de la piel humana o imágenes de fondo de ojo. Otra línea de trabajo es la impresión multispectral mediante el desarrollo de nuevas técnicas para la calibración de impresoras basadas en dispositivos multispectrales formados por una cámara o sensor y leds de diferente longitud de onda y el estudio de la reproducción del color en impresoras que utilizan un número mayor de tintas que el habitual para proponer modelos de caracterización de este tipo de dispositivos.



(1)



(2)

Figura 2: (1) Sistema para el análisis de iris humanos; (2) Sistema para la medida del color de la piel.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del proyecto DPI2008-06455-C02-01. Marta de Lasarte, Mikel Aldaba, Harold Zuluaga y Jorge A. Herrera agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación y a la Generalitat de Catalunya las becas predoctoral recibidas.

Bibliografía

- [1] 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).
- [2] 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).
- [3] J. Pujol, M. Vilaseca, A. Salvadó, M. J. Romero, G. Pérez, L. Issolio, P. Artal, “Cataract evaluation with an objective scattering index based on double-pass image analysis”, *ARVO Abstract 2008*.
- [4] M. Vilaseca, A. Padilla, J. Pujol, J. C. Ondategui, P. Artal, J. L. Guell, “Optical quality one month after Verisyse and Veriflex phakic IOL implantation and Zeiss MEL 80 LASIK for myopia from 5.00 to 16.50 diopters”, *J Refract Surg.* (aceptado septiembre 2008). Disponible en: <http://www.journalofrefractive surgery.com/preprint.asp>
- [5] M. de Lasarte, J. Pujol, M. Arjona, M. Vilaseca, “Influence of the size of the training set on colour measurements performed using a multispectral imaging system”, proceedings of the 4rd European Conference on Colour in Graphics, Imaging and Vision, p. 437 (2008).
- [6] M. de Lasarte, J. Pujol, M. Arjona, M. Vilaseca, “Influence of colour ranges on colour measurements performed with a colorimetric and a multispectral imaging system”, proceedings of the 4rd European Conference on Colour in Graphics, Imaging and Vision, p. 444 (2008)
- [7] M. Vilaseca, R. Mercadal, J. Pujol, M. Arjona, M. de Lasarte, R. Huertas, M. Melgosa, F. H. Imai “Characterization of the human iris spectral reflectance with a multispectral imaging system”, *Appl Opt.* **47**, p.5622 (2008).
- [8] Pladellorrens J., Pintó A., Segura J., Cadevall C., Antó J., Pujol J., Vilaseca M., Coll J., “A device for the color measurement and detection of spots on the skin”, *Skin Research Tech* **14**, p. 65 (2008).