

# ACADEMIA DE CIENCIAS DE LA REGIÓN DE MURCIA

## CATARATAS Y CIENCIA

Discurso del Académico

**Ilmo. Sr. Prof. D. Pablo Artal**

Catedrático de Óptica, leído en la sesión solemne de inicio  
del curso académico el 18 de febrero de 2021



Academia  
asociada al  
Instituto de  
España







Academia de Ciencias de la Región de Murcia

## CATARATAS Y CIENCIA

Discurso del Académico

**Ilmo. Sr. Prof. D. Pablo Artal**

Catedrático de Óptica, leído en la sesión solemne de inicio del curso académico el 18 de febrero de 2021

Murcia 2021

Academia  
asociada al  
Instituto de  
España





Este discurso se ha impreso con subvención de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, a quien agradecemos su ayuda.

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con autorización de los titulares de la propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y ss. del Código Penal).

© Academia de Ciencias de la Región de Murcia, 2021

© Pablo Artal

ISBN: 978-84-09-27884-8

Depósito Legal: MU 138-2021

Impresión: Compobell S.L., Murcia

## **CATARATAS Y CIENCIA**



## Introducción

He tenido la mala suerte de que justamente mi turno para dar el discurso de inicio de curso en la Academia sea en el año de la pandemia del Covid-19. Esto obliga a una sesión mayormente en versión virtual, a las que por otro lado ya estamos muy acostumbrados. Quedan para otro año los trajes académicos y el entretenido vino al terminar el acto. En realidad, todos hemos tenido la mala suerte de que nos haya tocado vivir esta pandemia de la que, con ayuda de la ciencia por medio de test y vacunas esperamos y queremos, salir cuanto antes.

Ya han pasado 18 años desde ese lejano 2003 en el que ingresé en esta institución. Una mayoría de edad legal. La academia va mejorando, como los buenos vinos, con el tiempo, afianzándose en su misión fundamental de fomentar la ciencia en la región y aumentar su visibilidad. Durante varios años, que coincidieron con otra crisis, la económica del 2008, tuve el honor de ser, además, presidente de la academia. Ahora, en este comienzo de 2021 aun rodeados por la amenaza del virus, les brindo esta lección con la esperanza de que pasen un buen rato y aprendan alguna cosa sobre una condición que espero lleguen a tener, las cataratas, y a cuya solución he dedicado algunos esfuerzos.

No quiero comenzar sin agradecer a todos aquellos que han contribuido a este trabajo y de manera más amplia a los que durante los años de mi carrera científica me han ayudado, estimulado y comprendido.

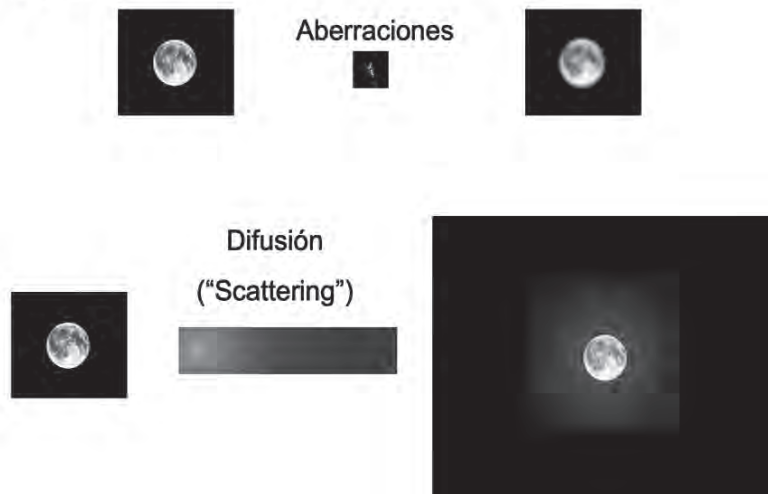
Si usted aún no ha tenido cataratas, sepa que es cuestión de tiempo. Y que sí, ojalá, vive lo suficiente las acabara teniendo. Así que las cataratas es uno de esos temas que deben interesar a todo el mundo. Las cataratas son, además, un claro paradigma de lo que la ciencia y la tecnología puede hacer por nosotros. Hasta hace relativamente poco tiempo en la historia de la humanidad, quien llegaba a viejo, tenía cataratas y quedaba ciego por ello. Ahora, basta con una simple cirugía ambulatoria de unos minutos para recuperar la visión. Una avalancha de mejoras en las técnicas quirúrgicas, en las lentes y en los sistemas de evaluación visual han logrado convertir en una simple rutina librarnos de la ceguera.

Pero antes de describirles los avances en este campo, será de interés revisar algunas características del ojo y de la visión. El sistema visual es una combinación de diversos elementos que constituye nuestra principal ventana al mundo. Aunque el estudio desde diferentes disciplinas tiende a separar las diversas partes, lo maravilloso radica en su delicada integración. El objetivo del sistema visual es analizar de manera adecuada las imágenes que proporciona del mundo exterior. El primer paso es la formación de las imágenes del mundo en la película retiniana. Este es un proceso óptico pasivo, y muy simple. El ojo como un sistema óptico tiene la misión de proyectar en la retina imágenes de una calidad óptica aceptable bajo diversas condiciones para ser procesadas y analizadas. Si el elemento formador de la imagen retiniana no funciona correctamente, el sistema visual en su conjunto no funcionará correctamente. A pesar de la simplicidad de la óptica del ojo, su importancia radica en estar colocado el primero en la cadena del proceso visual. Las imágenes proyectadas en la retina se muestrean espacial, cromática y temporalmente en los

fotorreceptores y en otras células retinianas. Estas señales son finalmente proyectadas para su procesamiento e interpretación en la corteza visual.

Pero de manera natural, el ojo no es un sistema óptico perfecto, tiene aberraciones que producen imágenes en la retina que no son tan nítidas como podrían llegar a ser. Este emborronamiento de las imágenes impone el primer límite físico a la visión. Las aberraciones tales como el desenfoque y el astigmatismo, son muy conocidas y se pueden corregir de forma rutinaria en la práctica clínica. La corrección del desenfoque, causante de la miopía, la hipermetropía y la presbicia existe por lo menos desde el siglo XIII. El astigmatismo fue corregido a principios del siglo XIX por Thomas Young. La presencia en el ojo de otras aberraciones de alto orden, distintas del desenfoque y del astigmatismo ya era bien conocido desde la segunda mitad del siglo XIX, pero el tema se quedó en los laboratorios de investigación durante la mayor parte del siglo XX. Sin embargo, este escenario ha cambiado de forma espectacular muy recientemente. Al lograr poner a punto nuevos métodos, más precisos y cómodos para medir las aberraciones, los cuales se han convertido en aparatos clínicos. Esta evolución de las técnicas de medida de aberraciones se ha desarrollado de forma simultánea a los avances en cirugía refractiva. Además, varios laboratorios de investigación han logrado demostrar el potencial de la corrección de las aberraciones del ojo utilizando los principios de la óptica adaptativa. Esta es una tecnología, inicialmente desarrollada para aplicaciones en Astronomía para compensar el efecto de las turbulencias atmosféricas en los telescopios.

**Figura 1**



El ojo es un sistema óptico muy simple, compuesto solo por dos lentes, la cornea y el cristalino. En comparación con sistemas ópticos artificiales, que pueden tener muchas lentes, esto es un ejemplo de gran simplicidad. Además de las aberraciones, que causan emborronamientos de la imagen, otro efecto óptico



que afecta a la visión es la difusión de la luz en los medios oculares (referido comúnmente en inglés como "scattering"). El ojo joven es muy transparente y la luz se difunde relativamente poco. El efecto en la visión es menor y solo se pone de manifiesto en condiciones de deslumbramiento (cuando en la escena tenemos fuentes brillantes de luz). El impacto de la difusión es crear un halo de luz en la retina que tiene el efecto de reducir el contraste de las imágenes. La figura 1 presenta un ejemplo del efecto de las aberraciones y de la difusión de la luz en las imágenes de la retina.



## Cataratas

En todos los ojos, la difusión de la luz aumenta con la edad y en un momento alcanza tal magnitud que llegamos a tener cataratas. Están causadas por opacidades que se van generando en el cristalino del ojo que aumenta la difusión de la luz degradando la imagen de la retina y la visión. Las cataratas son el resultado de un proceso natural de envejecimiento progresivo que puede durar varios años y en el que las propiedades ópticas del cristalino se degradan gradualmente afectando la visión principalmente debido a un aumento de la difusión intraocular que reduce la sensibilidad al contraste. En los pacientes con cataratas, incluso en sus primeros estadios, se reduce su calidad visual enormemente, especialmente en la presencia de fuentes luminosas en el campo visual.

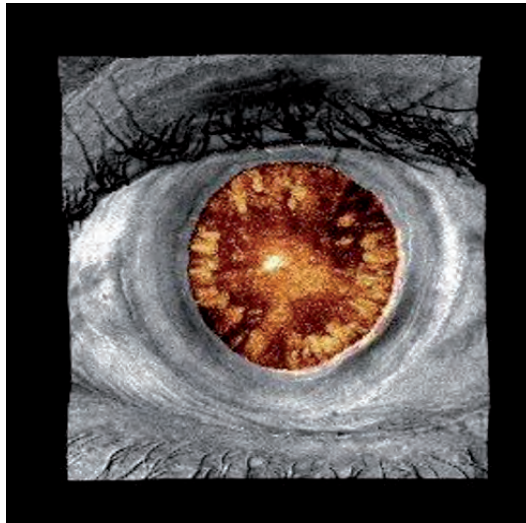
Esto puede dar una pista para reconocer si tienen cataratas. Si les molestan más que antes las luces de frente de los coches al conducir de noche o si cuando se miran en un espejo que tiene incorporada una fuerte luz notan una bajada del contraste en la imagen, es posible que empiecen a tener cataratas. Con varias pruebas simples, su oftalmólogo sabrá si las tiene y en qué grado. Si se confirma que tiene cataratas, debe saber que no le van a revertir. Solo irán aumentando y su visión continuará degradándose. Por ello, parece razonable operarse cuando los primeros síntomas son evidentes y no pasar años con una mala visión hasta que el problema sea acuciante.

El aumento de la difusión y la presencia de cataratas no parece estar debida de manera dominante a factores genéticos, si no más bien ambientales. Las investigaciones sobre los factores que influyen en la aparición de cataratas habían sugerido entre otros, el aporte de antioxidantes, la actividad física, la exposición al sol o el uso de esteroides. La figura 2 muestra una imagen obtenida de un cristalino en un ojo cataratoso.

Reconocida la razón de las cataratas a las opacidades del cristalino, ya desde la antigüedad se realizaron cirugías consistentes en el simple abatimiento del cristalino. La extracción del cristalino se fue perfeccionando mediante mejores técnicas durante los siglos XVIII y XIX. Eliminar el cristalino, aunque con éxito clínico supone que el paciente queda áfaquico, lo que requiere correcciones con lentes gruesas que además de problemas estéticos conllevan otras limitaciones de aumentos, reducción de campo etc.

La gran revolución en la cirugía de la catarata llegó a mitad del siglo XX con las lentes intraoculares. Curiosamente para la mentalidad actual, los pioneros en esta técnica tuvieron que vencer muy serias resistencias hasta que se convirtió en algo común varias décadas después. En 1949, Ridley implantó la primera lente intraocular en la cámara posterior, después de una extracción extracapsular llevada a cabo en el Hospital St. Thomas, de Londres. En los 12 años posteriores, implantó 1.000 lentes. Pese al elevado porcentaje de éxitos (del 70%), fue duramente criticado por los más afamados oftalmólogos de la época. Durante décadas tuvo que enfrentarse a muchas situaciones desagradables, hasta que, a mediados los ochenta del siglo XX, las lentes

intraoculares se popularizaron. Como quien dice, hace 'dos días', aunque nos pueda parecer ahora que ha sido así siempre.



*Figura 2*

Otro avance significativo también estuvo relacionado con la incorporación de tecnología. En 1967, Kelman introdujo la faco-emulsificación, técnica que utiliza ultrasonidos para fragmentar el cristalino cataratoso y eliminarlo mediante aspiración a través de una pequeña incisión. Esto permitió realizar la cirugía de catarata y la implantación de lentes en un acto clínico rápido y seguro que se realiza en millones de pacientes en todo el mundo.

### Avances ópticos en lentes intraoculares

A pesar de todos estos enormes avances, a finales del siglo XX quedaba un aspecto al que se prestaba poca atención: las características ópticas de las lentes intraoculares. Hubo múltiples avances en los materiales, pero la óptica empleada era muy sencilla y se suponía que no tendría un gran impacto en la visión de los pacientes.

En mi laboratorio habíamos ido avanzando en el conocimiento de la óptica del ojo. En particular, descubrimos que la córnea y el cristalino presentan un acoplamiento de las aberraciones que mejoran la calidad de la imagen retiniana. Demostramos que el ojo se comporta ópticamente como un sistema aplanático, con una corrección parcial de la aberración esférica y el coma. También descubrimos que las aberraciones del ojo aumentan con la edad y que esto es debido al desacople de las aberraciones de la córnea y el cristalino que ocurre conforme envejecemos. Estos resultados fueron utilizados como las bases teóricas para una nueva generación de lentes intraoculares esféricas posteriormente usadas y comercializadas en todo el mundo.

Entonces, las lentes intraoculares normales (esféricas) presentaban una aberración esférica positiva que se sumaba a la ya presente en la cornea del paciente. Nosotros propusimos que el sustituto ideal del cristalino no es una lente con la mejor calidad posible medida de forma aislada, sino una diseñada para compensar las aberraciones de la cornea. De acuerdo con estos resultados, un diseño de lente intraocular mejorado deberá tener un perfil de aberración que compense las aberraciones de la cornea para maximizar la calidad de la imagen retiniana y eventualmente producir una mejor calidad de visión. La solución ideal sería una lente personalizada a las aberraciones corneales del paciente. Un primer paso en esta dirección son las lentes que compensan, no todas las aberraciones, sino sólo la aberración esférica de la cornea. Este tipo de lentes, llamadas "asféricas" de alguna forma "copian" las propiedades ópticas del cristalino en ojos jóvenes, de forma que pacientes en la cirugía de cataratas puedan beneficiarse de un ojo con menos aberraciones que finalmente conlleve una mejor calidad de visión. En estos momentos, millones de personas en el mundo han sido implantadas con este tipo de lentes. También sugerimos otras ideas de lentes intraoculares para corregir el coma y la aberración cromática. Las primeras no han tenido un éxito clínico todavía y los conceptos de las segundas se han incorporado en nuevas generaciones de lentes para aumentar la profundidad de foco.

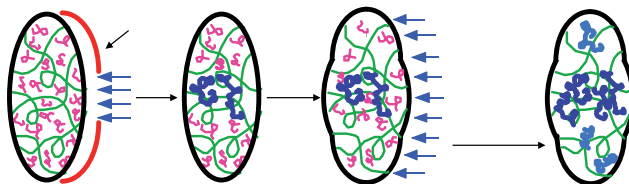


### Lentes intraoculares ajustables con luz

Una de las limitaciones de la cirugía de cataratas es la relativamente baja previsibilidad de la refracción final en los ojos que lleva a la necesidad de gafas después de la cirugía. Los errores de refracción de más de 1 D no son inusuales en algunos pacientes. Y esto puede ser peor en el caso de algún tipo de pacientes, en particular aquellos con cirugía refractiva previa. Además, tanto el astigmatismo corneal inducido como el natural, si es bajo, no se suele corregir. La combinación del desenfoque y el astigmatismo residual después de la implantación de lentes intraoculares puede generar una degradación de la visión importante. Por supuesto, los errores refractivos pueden corregirse con gafas, lentes de contacto o cirugía refractiva, pero desde un punto de vista conceptual, sería mejor tener algún método avanzado para la producción de una cerca de la refracción perfecta después de la cirugía.

La solución que hemos estudiado durante varios años en el laboratorio y en el Hospital "Virgen de la Arrixaca" en colaboración con el Dr. José María Marín han sido las lentes intraoculares ajustables con luz. Esta es una tecnología para resolver este problema proporcionando refracciones casi perfectas a los pacientes después de la cirugía de catarata. Estas lentes contienen moléculas fotosensibles que permiten el ajuste postoperatorio de la forma de la lente al iluminarla con luz ultravioleta (UV). Mediante la aplicación de diferentes perfiles de irradiación, la forma de la lente se controla para producir el resultado de final deseado. Después de la cirugía, los pacientes deben llevar gafas de protección durante un período de dos semanas para evitar que la luz UV del ambiente pueda afectar a la lente. Normalmente se aplican hasta dos procedimientos de ajuste para corregir cualquier error refractivo residual dentro de un rango de 2 D. Una vez que se consigue la refracción deseada, se deben realizar dos tratamientos adicionales de foto-bloqueo para asegurar que la lente queda definitivamente estable.

Figura 3



Pilar Soriano

Durante varios años realizamos estudios para la mejora de la predictibilidad de los resultados de esta lente y para su uso en la inducción de aberración esférica para proporcionar tras la cirugía de la catarata una buena visión, tanto de lejos como de cerca. Como anécdota, mi madre, Pilar Soriano, fue una de las primeras pacientes en el mundo que se operó con estas lentes con un perfil que le permitió durante años una visión de muy alta calidad a todas las distancias hasta su fallecimiento en agosto del año pasado. La figura 3 presenta un esquema del funcionamiento de estas lentes, una de las lentes y una foto de mi madre en la fecha de la cirugía llevando unas gafas de protección a los rayos UV para prevenir el daño de las lentes.



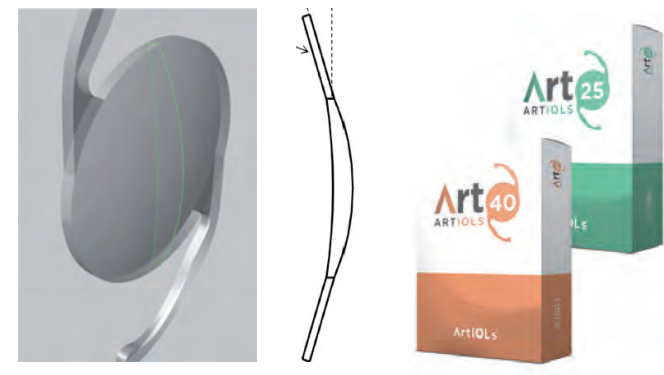
### Lentes intraoculares y visión periférica

Hoy en día, las lentes intraoculares son muy finas para que puedan implantarse dentro del ojo por incisiones muy pequeñas de forma que la cirugía sea mínimamente invasiva. A pesar del éxito incontestable de estas lentes, había algo de ellas que no me acababa de gustar. Ser tan delgadas las hace fundamentalmente diferentes a la lente del cristalino al que sustituyen que tiene un espesor mucho mayor. Y esto debería tener alguna consecuencia. Quisimos saber más de las diferencias entre los ojos normales y con lentes implantadas estudiando personas en las que en un ojo mantenían su cristalino y en el otro tenían una lente intraocular. Aunque la visión central era similar en ambos casos, en la retina periférica los ojos con lentes intraoculares presentaban una peor calidad óptica.

El consenso sobre el éxito de las lentes actuales parecía casi unánime a pesar de algunos datos preocupantes que suelen pasar inadvertidos. Hay un mayor número de accidentes y caídas tras las cirugías de cataratas. Una explicación aceptada es que se produce un aumento de la movilidad entre las personas que recuperan la visión, lo que sin duda aumenta las posibilidades de tener un accidente. implantan actualmente producen una pobre visión periférica que tiene un impacto en muchas actividades cotidianas.

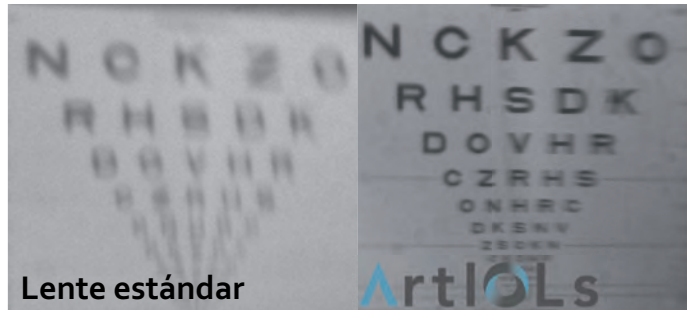
Una vez identificado el problema, diseñamos unas nuevas lentes intraoculares inspiradas en las propiedades del cristalino natural. Si nuestra teoría era correcta, algo tan sencillo como la elección del tipo de lente que se implanta ayudaría a reducir las posibles caídas en muchas personas mayores aumentando su esperanza y calidad de vida. Tras recorrer el proceso desde la idea y la invención, a la fabricación de las lentes y su certificación, más de 700 personas llevan ya estas lentes en sus ojos. Y hemos confirmado que se mantiene la visión periférica mejor que con el resto de las lentes y los pacientes son capaces de detectar objetos con menores contrastes.

**Figura 4**



Se trata de unas lentes con una forma de menisco que controla la curvatura de campo y reducen el astigmatismo periférico. Las lentes con el nombre comercial ArtIOL se comercializan por la empresa Voptica SL. La figura 4 muestra la forma de estas lentes y la figura 5 un ejemplo de la mejora en calidad de imagen que producen en la periferia al compararlas con lentes estándar. Es un sueño hecho realidad ver la mejora en la calidad de vida de muchas personas mayores que esto puede suponer.

*Figura 5*



## Conclusiones

La ciencia y la tecnología han traído mejores tratamientos y soluciones para los pacientes. En las cataratas tenemos un ejemplo muy bello de cómo un problema dramático, y sin solución durante largos tiempos, se ha convertido en algo simple a través de la palanca de las innovaciones. Mi campo de trabajo, las tecnologías ópticas y fotónicas, están de hecho presentes en muchas otras ramas de la medicina y creo que jugarán un papel aún más decisivo en el futuro. Por nuestra parte, seguiremos trabajando para desarrollar nuevos métodos de diagnóstico y tratamiento visual y en que estos lleguen a más personas para mejorar su calidad de vida por más tiempo.



## Referencias

- P. Artal, J. Tabernero, "The eye's aplanatic answer" *Nature Photonics* 2, 586-589 (2008).
- P. Artal, "History of IOLS that correct spherical aberration", *J. Cataract Refract. Surg.*, 35, 962–963 (2009).
- P. Artal, "Optics of the eye and its impact in vision: a tutorial," *Adv. Opt. Photon.* 6, 340-367 (2014).
- P. Artal, "Image Formation in the Living Human Eye", *Annual Review of Vision Science* Vol. 1: 1-170 (2015).
- A. de Castro, A. Benito, S. Manzanera, J. Mompeán, B. Cañizares, D. Martínez, J.M. Marín, I. Grulkowski, P. Artal, "Three-Dimensional Cataract Crystalline Lens Imaging with Swept-Source Optical Coherence Tomography", *Invest Ophthalmol & Vis Sci. (IOVS)*, vol. 59 (2), 897-903 (2018).
- L. Hervella; E.A. Villegas; C. Robles; P. Artal, "Spherical Aberration Customization to Extend the Depth of Focus with a Clinical Adaptive Optics Visual Simulator", *Journal of Refractive Surgery*, vol. 36 (4), 223-229 (2020).
- A. Guirao, M. Redondo, E. Geraghty, P. Piers, S. Norrby, P. Artal, "Corneal optical aberrations and retinal image quality in patients in whom monofocal intraocular lenses were implanted" *Arch Ophthalmol.*, 120(9):1143-51 (2002).
- P. A. Piers, E. J. Fernández, S. Manzanera, S. Norrby, P. Artal, "Adaptive optics simulation of intraocular lenses with modified spherical aberration" *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 45, 4601-4610 (2004).
- J. Tabernero, P. Piers, P. Artal, "Intraocular lens to correct corneal coma" *Opt. Lett.*, 32, 406-408 (2007).
- K. A. Togka, A. Livir-Rallatos, D. Charstaras, S. Tsoukalas, N. Papasyfakis, P. Artal, and H. Ginis, "Peripheral image quality in pseudophakic eyes", *Biomedical Optics Express*, vol. 11 (4), 1892-1900 (2020).
- E. A. Villegas, E. Alcón, S. Mirabet, I. Yago, J. M. Marín, P. Artal, "Extended Depth of Focus With Induced Spherical Aberration in Light-Adjustable Intraocular Lenses", *Am. J. Ophthalmol.*, 157 (1), 142-149, (2014).
- E.A. Villegas, E. Alcon, E. Rubio, J. Marín, P. Artal, "Refractive accuracy with light-adjustable intraocular lenses" *J Cataract Refract Surg*, 40, 1075-1084, (2014).

*Los artículos publicados por el Laboratorio de Óptica de la UMU están accesibles en su página web: <http://lo.um.es/paper/>*





Este trabajo ha sido publicado con el patrocinio de la  
Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

