

Halos y lentes intraoculares multifocales: Origen e interpretación

Halos and multifocal intraocular lenses: Origin and interpretation

F. Alba-Bueno¹, F. Vega¹, M.S. Millán¹.

1 - Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Óptica y Optometría.
Terrassa – Barcelona – España.

Contacto: francisco.alba-bueno@upc.edu.

Este trabajo se ha realizado con fondos del Ministerio de Educación y Ciencia y FEDER bajo el proyecto DPI2009-08879

Ninguno de los autores tiene interés comercial en ningún producto, equipamiento o proceso que se mencione en el trabajo.

Los autores certifican que este trabajo no ha sido publicado ni está en vías de consideración para publicación en otra revista. Asimismo transfieren los derechos de propiedad (copyright) del presente trabajo a la Sociedad Española de Oftalmología.

RESUMEN

TÍTULO: Halos y lentes intraoculares multifocales: Origen e interpretación.

PROPÓSITO:

Caracterización teórica y experimental del halo en lentes intraoculares (IOLs) multifocales.

MÉTODO:

El halo producido por una LIO multifocal (MIOL) se origina cuando sobre una imagen enfocada, se superpone otra desenfocada. Mediante óptica geométrica se demuestra que el diámetro de cada halo depende de la adición de la lente (ΔP), de la potencia base (P_d) y del diámetro de la lente iluminada que contribuye al foco “no-enfocado”. En plano imagen que corresponde al foco de lejos, el diámetro del halo (δ_{Hd}) viene dado por: $\delta_{Hd} = d_{pn} \Delta P / P_d$, donde d_{pn} es el diámetro de la LIO que contribuye al foco cercano. Análogamente, en el plano imagen del foco de cerca del diámetro del halo (δ_{Hn}): $\delta_{Hn} = d_{pd} \Delta P / P_d$, donde d_{pd} es el diámetro de LIO que contribuye al foco lejano.

Los pacientes perciben halos cuando observan objetos luminosos sobre un fondo relativamente oscuro. In vitro, el halo se puede caracterizar analizando el perfil de intensidad de la imagen de un pinhole que forma cada uno de los focos de una lente multifocal.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Hemos comparado los halos producidos por varias MIOLs de la misma potencia base (20D) en un banco óptico. Tal y como predice la teoría, cuanto mayor es la adición de la MIOL mayor es el diámetro del halo. Para pupilas grandes, a igualdad de adiciones y con diseños esféricos (SN6AD3 vs ZMA00) las lentes apodizadas

presentan un halo de menor diámetro que las no-apodizadas en visión lejana, mientras que en visión cercana el halo es del mismo tamaño pero la intensidad relativa es mayor en el caso de las apodizadas. Comparando lentes esféricas y asféricas con igual diseño difractivo (SN60D3 vs SN6AD3) el halo en visión lejana en la lente esférica es mayor mientras que en visión cercana la lente esférica produce un halo de menor tamaño pero de mayor intensidad debido a la aberración esférica del foco lejano en el plano imagen del foco cercano. En el caso de una lente trifocal (AT LISA 839MP) la característica más distintiva de la aparición de un doble halo debido a los focos lejano e intermedio de la LIO, sobre la imagen enfocada en visión cercana.

PALABRAS CLAVE

Lentes intraoculares multifocales, halo, deslumbramiento, calidad óptica, presbicia, banco óptico.

Multifocal intraocular lenses, halo, glare, optical quality, presbyopia, optical bench.

INTRODUCCIÓN

La intervención de cataratas lleva asociada el implante de una lente intraocular (LIO) en la mayoría de los casos. Hoy en día, la técnica quirúrgica (facoemulsificación e implante de una LIO) permite predecir el resultado refractivo con una precisión muy alta y es posible realizar la intervención incluso sin presencia de opacidades cristalinas, lo que se conoce como cirugía de cristalino transparente. Tras la intervención el paciente pierde su capacidad acomodativa y, si fue implantado con una lente monofocal, necesita corrección óptica para el enfoque a determinadas distancias (generalmente visión cercana). Para disminuir la dependencia de gafas actualmente se pueden implantar lentes con más de una focal para que se genere un foco adicional (o varios) que cubra en una primera aproximación las necesidades del paciente en visión cercana (y/o intermedia).

Una de las principales quejas de los pacientes implantados con lentes intraoculares multifocales (LIOMs) es la percepción de halos, especialmente en condiciones de baja iluminación (diámetros pupilares grandes), con estímulos luminosos intensos y con un fondo relativamente oscuro. Estas circunstancias se pueden dar con bastante frecuencia, por ejemplo, al conducir de noche. El concepto de halo se utiliza para definir un círculo borroso que percibe el paciente alrededor de estos estímulos. Este efecto se puede originar debido a diferentes factores como las aberraciones de alto orden (especialmente la aberración esférica) y sobre todo a la existencia y la percepción simultánea de más de una imagen como en el caso de las LIOMs, donde la imagen enfocada está superpuesta a otra (u otras) desenfocada(s). La mayoría de los trabajos publicados sobre de este efecto se basan en valoraciones subjetivas del paciente sobre la percepción de halos (generalmente

mediante cuestionarios)¹ y en muy pocas ocasiones se utilizan métodos objetivos para cuantificarlos.

En este trabajo proponemos una aproximación teórica en el marco de la óptica geométrica de primer orden (también conocida como óptica paraxial u óptica de Gauss) para caracterizar el diámetro del halo y un método experimental para analizar *in vitro* su tamaño y su intensidad relativa. El método se aplicará a diferentes diseños de LIOs mono y multifocales.

MÉTODO

Aproximación paraxial para la estimación del diámetro del halo

Para una mejor comprensión de la formación del halo, consideraremos una aproximación paraxial para ver cómo pueden influir la potencia y la adición de la LIO así como el diámetro pupilar. De este modo, la formación del halo en condiciones de visión lejana y cercana estaría esquematizada en la figura 1. Se asume, en este ejemplo, que el paciente ha sido implantado con una LIOM con dos focos (lejos y cerca) y es pupilodependiente. La parte central contribuye al foco de lejos y también al foco de cerca, mientras que la parte exterior sólo lo hace al foco de lejos. Por eso, en la figura 1, aunque se ilumina la LIOM con un haz de diámetro d_{pd} que cubre toda su apertura, sólo la zona central de la LIOM de diámetro d_{pn} , envía luz al foco de cerca.

Para calcular el diámetro del halo utilizaremos la fórmula correspondencia objeto-imagen a través del sistema óptico (ojo) en óptica paraxial:

$$\frac{n_v}{f'_i} = \frac{n_a}{a_i} + \frac{n_v}{a'_i}, \text{ con } i = \{n, d\} \quad (1)$$

donde n_v es el índice de refracción del vítreo ($n_v=1.336$), n_a es el índice de refracción del aire ($n_a=1$), i puede ser “d” o “n” para el foco de lejos o de cerca, respectivamente, a es la distancia del objeto al plano principal objeto (H) del sistema (ojo), a' es la distancia del plano principal imagen (H') a la imagen lejana o cercana y f es la distancia focal del ojo para el i -foco. Consideramos que los planos H y H' no cambian significativamente en visión cercana y lejana y que:

$$P_d = \frac{n_v}{f'_d}, P_n = \frac{n_v}{f'_n} \text{ y } \Delta P = P_n - P_d, \quad (2)$$

donde P_d y P_n son las potencias refractivas del foco lejano y cercano del ojo, y ΔP es la adición.

En condiciones de visión lejana (figura 1a), y desde la aproximación paraxial (no se tiene en cuenta la contribución de las aberraciones de alto orden ni del scattering), el halo se forma debido a la imagen desenfocada del foco cercano. En este caso $a_d = \infty$, así que $f'_d = a'_d$ y $f'_n = a'_n$. De este modo tenemos que:

$$\frac{\delta_{Hd}}{f'_d - f'_n} = \frac{d_{pn}}{f'_n}, \quad (3)$$

donde δ_{Hd} es el diámetro del halo en condiciones de visión lejana y d_{pn} es el diámetro del sector central iluminado de la LIO que contribuye al foco cercano. Utilizando las ecuaciones (2) en la ecuación (3), el diámetro del halo en estas condiciones viene dado por:

$$\delta_{Hd} = d_{pn} \frac{\Delta P}{P_d}. \quad (4)$$

Por otro lado cuando el objeto se encuentra a distancia finita del ojo, es decir, en condiciones de visión cercana (figura 1b) el halo se forma debido a la imagen desenfocada del foco lejano (de nuevo en aproximación paraxial, que ignora la contribución de las aberraciones de alto orden). En esta situación $a'_n \approx f'_d$ y puesto que la posición de los planos principales en visión cercana y lejana no cambia significativamente la distancia al objeto tanto para el foco de cerca como el de lejos es $a = n_d / \Delta P$; y $a'_d = n_v / (P_d - \Delta P)$, y de este modo el diámetro del halo en visión cercana δ_{Hn} puede ser calculado a partir de:

$$\frac{\delta_{Hn}}{a'_d - a'_n} = \frac{d_{pd}}{a'_d}, \quad (5)$$

donde d_{pd} es el diámetro de la zona iluminada de la LIO que contribuye al foco lejano. Nuevamente, utilizando las ecuaciones (2) en la ecuación (5) se obtiene que:

$$\delta_{Hn} = d_{pd} \frac{\Delta P}{P_d}. \quad (6)$$

Tal y como se muestra en las ecuaciones 4 y 6, el diámetro del halo en visión lejana y cercana depende de la potencia refractiva de la LIO para el foco lejano P_d , de la adición ΔP y del diámetro iluminado de la LIO que contribuye a la imagen desenfocada (d_{pn} ó d_{pd} respectivamente). Cuando el diseño de la LIO hace que $d_{pd} = d_{pn}$, como sucede en las lentes difractivas no-apodizadas (p.ej. ZMA00), el diámetro del halo debe ser el mismo en condiciones de visión cercana y lejana tal y como publicaron Pieh y colaboradores². Por el contrario con lentes apodizadas (p.ej. ReSTOR), cuyo diseño difractivo se limita a la zona central de la lente y la

periferia es puramente refractiva, el halo puede tener diferente tamaño en condiciones de visión lejana y cercana.

Medidas *in vitro*

Cuando calculamos un parámetro geométrico, como es el diámetro del halo, con las ecuaciones (4) y (6), no tenemos en cuenta la posible apodización del perfil difractivo que tendrá un efecto tanto en el tamaño como en la intensidad del halo. Asimismo, tampoco se consideran los efectos de las aberraciones de alto orden del sistema ni del scattering. La caracterización *in vitro*, en cambio, sí permite evaluar la contribución de todos estos efectos. Esta caracterización se puede realizar con un modelo de ojo que cumple el estándar de la normativa internacional (ISO-11979). En nuestro caso, el modelo de ojo cumple estos requisitos con la excepción de la córnea artificial que, en lugar de ser una lente libre de aberraciones, como sugiere dicha norma, utiliza una lente que induce una cantidad de aberración esférica sobre la LIO similar a la de la córnea humana promedio³⁻⁶. Un esquema de la configuración en laboratorio del banco óptico se muestra en la figura 2.

Para realizar el análisis tanto del diámetro del halo como de su intensidad relativa respecto a la imagen enfocada en cada foco de la LIO se consideró como objeto un orificio (pinhole) de $200\mu m$, iluminado por un LED verde quasi-monocromático ($521nm$). Después se captó con un microscopio conectado a una cámara CCD la imagen en los planos de mejor enfoque del modelo de ojo (córnea artificial y LIO) obteniendo imágenes del tipo del que se muestra en la figura 3, izquierda. Una vez obtenidas las imágenes se utilizó su representación logarítmica y en falso color para facilitar la visualización del halo (figura 3, centro) y se representaron dos

perfiles de intensidad (vertical y horizontal) de cada imagen también en escala logarítmica (figura 3, derecha).

RESULTADOS

El método experimental propuesto para la caracterización del halo se aplicó a diferentes lentes mono y multifocales para dos diámetros pupilares (4.7mm y 2.4mm en el plano de la LIO). Las principales características de las lentes incluidas en este trabajo se resumen en la tabla 1.

Lentes monofocales

Las imágenes formadas por el modelo de ojo en el banco óptico para tres diseños de LIOs monofocales y sus correspondientes perfiles se muestran en la figura 4. Como se puede observar el halo de mayor diámetro lo presenta la lente esférica (SN60AT) para un diámetro pupilar grande. Las lentes esféricas (SN60WF y ZA9003), en cambio, no muestran diferencias apreciables entre ellas en cuanto a diámetro del halo ni a su intensidad, independientemente del grado de asfericidad de cada una. Para pupilas pequeñas, las diferencias entre la lente esférica y las esféricas se reducen notablemente.

Lentes multifocales

Las imágenes logarítmicas correspondientes a los planos de mejor imagen en el foco lejano, intermedio (en el caso de la lente trifocal) y cercano, así como sus correspondientes perfiles de intensidad, se muestran en las figuras 5 y 6 para los diámetros pupilares en el plano de la LIO de 2.4 y 4.7mm respectivamente. Tal y como se puede deducir de las ecuaciones (4) y (6), el tamaño del halo es mayor cuanto mayor sea el diámetro pupilar. Puesto que las diferencias son más notables

para diámetros pupilares grandes, analizaremos detenidamente los resultados obtenidos en la figura 6 (mayor diámetro pupilar).

Lentes refractivas: NXG1 y LS-313

En estas lentes podemos observar la influencia del diseño simétrico (NXG1) vs asimétrico (LS-313). Vemos que, mientras la lente NXG1 (figura 6a) presenta un halo circular, en la lente LS-313 (figura 6b) el halo es asimétrico con un patrón de intensidad que recuerda a una aberración tipo coma.

Lentes difractivas esféricas con adición 4.0D: ZMA00 y SN6AD3

La comparación de estas lentes pone de manifiesto la diferencia en tamaños e intensidades con lentes de similar diseño base y adición (ambas son esféricas y presentan la misma adición) pero con diferente diseño difractivo, una lente con perfil difractivo en toda su superficie (ZMA00) y la otra con perfil difractivo apodizado únicamente en la zona central (SN6AD3).

En la figura 6c se puede ver cómo la lente ZMA00 presenta aproximadamente el mismo diámetro de halo tanto de lejos como de cerca. En cambio, en la figura 6e, vemos cómo la lente con perfil difractivo apodizado (SN6AD3) presenta menor diámetro e intensidad de halo en visión lejana que en visión cercana debido al reparto asimétrico de intensidades entre los focos lejano y cercano para esta pupila. En visión lejana, el tamaño del halo de la lente SN6AD3 es menor que el de la lente ZMA00 mientras que en visión cercana presentan aproximadamente el mismo tamaño, siendo de mayor intensidad en el caso de la lente SN6AD3.

Lentes apodizadas: SN60D3, SN6AD3 y SN6AD1

Estas tres lentes, dado que la zona difractiva es apodizada y ocupa sólo una parte central de la LIO (3.6mm) se cumple que $d_{pn} \leq d_{pd}$ por lo que, de acuerdo con las ecuaciones (4) y (6), presentan menor tamaño e intensidad de halo en el foco lejano que en el cercano.

Al realizar la comparación entre lentes de igual adición pero con diferentes diseños base (esférico SN60D3 y esférico SN6AD3, figuras 6d y 6e) vemos cómo la lente esférica (SN60D3) presenta mayor diámetro de halo en el foco lejano que la lente esférica debido a la mayor aberración esférica (AE) total del sistema. En el foco cercano, en cambio, se observa que el halo de la lente esférica (SN60D3) es de menor diámetro que en el caso de la lente esférica (SN6AD3). Para comprender mejor este resultado podemos referirnos a la figura 7. En ella se esquematiza la energía destinada al foco lejano de una lente con AE (figura 7a) y sin ella (figura 7b). La energía que iría al foco cercano no se ha representado para facilitar la comprensión de la figura. Como podemos ver, en el caso de la lente con AE positiva (figura 7a), la energía que proviene de la periferia de la lente converge antes (mayor potencia) por lo que en el plano de cerca (C) esta energía se distribuye en una menor superficie, generando un halo de menor tamaño (segmento rojo) y de mayor intensidad relativa que en el caso de la lente libre de AE (figura 7b).

Al comparar las lentes esféricas con diferente adición (SN6AD3, con adición de $+4.0D$ y SN6AD1, con adición de $+3.0D$; figuras 6e y 6f) vemos cómo en el foco lejano el tamaño e intensidad del halo es algo mayor con la lente de mayor adición de acuerdo con la ecuación (4), si bien la diferencia no es muy grande debido a que ambas lentes presentan la misma superficie difractiva (3.6mm centrales) que destina poca energía relativa al foco cercano. En cambio, el halo que se genera en el

foco cercano presenta claramente un mayor diámetro en el caso de la lente de mayor adición (SN6AD3) debido a la mayor adición de esta LIO que origina una distancia más grande entre ambos focos (ecuación (6)). Por otra parte la intensidad del halo en esta situación (foco cercano) es mayor en la lente de menor adición (SN6AD1) ya que la energía total destinada al foco lejano es la misma en ambas lentes pero en esta (SN6AD1) se encuentra distribuida en una menor superficie.

Lente AT-LISA trifocal

La periferia de esta lente es puramente bifocal (que origina los focos lejano y cercano) y la zona central es trifocal (que genera los focos lejano, intermedio y cercano). Las imágenes correspondientes a los focos lejano, intermedio y cercano y sus perfiles de intensidad se muestran en la figura 6g. En el foco lejano el diámetro del halo es similar al de la lente difractiva de apertura completa (ZMA00) y la intensidad es ligeramente superior. En el foco intermedio se aprecia la presencia de dos halos de diferente intensidad generados por las potencias (fuera de foco en el plano intermedio) lejano y cercano. En el foco cercano es donde se observan con más claridad los dos halos generados, en este caso, por las potencias lejano (de mayor diámetro y menor intensidad) e intermedia (de menor diámetro y mayor intensidad), ambas fuera de foco.

DISCUSIÓN

Tal y como predice la óptica geométrica en aproximación paraxial, el diámetro del halo es dependiente del diámetro pupilar que contribuye al foco no-enfocado, de la potencia base de la lente (potencia de lejos) y de la adición. Con diámetros

pupilares pequeños las diferencias entre lentes se reducen considerablemente. Para una mejor predicción que la dada por esta aproximación paraxial, se podrían realizar simulaciones de trazado de rayos exacto. Por desgracia, esto no es en general posible debido a que los fabricantes no suelen proporcionar los valores de las curvaturas, asfericidades, elevaciones, etc. de las lentes.

Las lentes monofocales asféricas SN60WF y ZA9003 presentan menor tamaño e intensidad de halo que cualquier otra lente multifocal y no se aprecian diferencias significativas entre los dos modelos examinados (SN60WF y ZA9003). El halo producido por la aberración esférica de una lente monofocal esférica (SN60AT) puede ser, para pupilas grandes, del mismo tamaño o superior que los halos que se producen en algunos diseños multifocales.

Las lentes multifocales presentan halos que pueden variar de forma y tamaño en cada uno de sus focos en función del diseño de la lente. De este modo, las lentes multifocales asimétricas generan halos también asimétricos (LS-313); las lentes difractivas de apertura completa (ZMA00) presentan prácticamente el mismo tamaño de halo en visión cercana que en visión lejana; las lentes apodizadas presentan menor tamaño e intensidad de halo en visión lejana pero mayor en cercana; y la lente trifocal (AT-LISA) en cada plano imagen, presenta dos halos de diferente tamaño e intensidad, uno por cada potencia que está fuera de foco en dicho plano.

Existen numerosos trabajos que caracterizan la calidad óptica de lentes intraoculares in vivo,^{7,8} pero por lo general no contemplan caracterizar los halos que generan las LIOs y que se forman en la retina de los pacientes implantados con éstas. También existen aparatos llamados “halómetros”⁹ que se pueden utilizar

para caracterizar la percepción del halo en estos pacientes pero con los que aún no se han realizado mediciones *in vivo* en pacientes implantados con LIOs. La principal diferencia entre estos “halómetros” y el método *in vitro* que proponemos es que en nuestro método únicamente evaluamos el halo inducido por el sistema óptico mientras que mediante el uso de un “halómetro” se evalúa la percepción del halo por parte del paciente (es un método subjetivo) que incluye la calidad óptica y el procesado neuronal por parte de la retina-cerebro.

Podemos concluir que en este trabajo se ha diseñado un método *in-vitro* experimental para cuantificar objetivamente las características del halo que se formaría en la retina de pacientes implantados con diferentes LIOs.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con fondos del Ministerio de Economía y Competitividad y FEDER bajo el proyecto DPI2009-08879

BIBLIOGRAFIA

1. Calladine D, Evans J R, Shaah S, Leyland M. Multifocal versus monofocal intraocular lenses after cataract extraction. *Cochrane Database Sys Rev.* 2012; Issue 9.
2. Pieh S, Lackner B, Hanselmayer G, Zöhrer R, Sticker M, Weghaupt H, et al. Halo size under distance and near conditions in refractive multifocal intraocular lenses. *British Journal of Ophthalmology.* 2001 Jun 30;85(7):816–21.

3. Alba-Bueno F, Vega F, Millán MS. Design of a Test Bench for Intraocular Lens Optical Characterization. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2011 Feb 25;274:012105.
4. Vega F, Millán MS, Wells B. Spherical lens versus aspheric artificial cornea for intraocular lens testing. *Opt Lett. Optical Society of America*; 2010;35(10):1539–41.
5. Wang L, Booth MA, Koch DD. Comparison of intraocular lens power calculation methods in eyes that have undergone LASIK. *Ophthalmology*. 2004 Oct;111(10):1825–31.
6. Guirao A, Redondo M, Geraghty E, Piers P, Norrby S, Artal P. Corneal optical aberrations and retinal image quality in patients in whom monofocal intraocular lenses were implanted. *Arch. Ophthalmol.* 2002 Sep;120(9):1143–51.
7. Montes-Micó R, Lopez Gil N, Pérez-Vives C, Bonaque S, Ferrer-Blasco T. In vitro optical performance of nonrotational symmetric and refractive-diffractive aspheric multifocal intraocular lenses: impact of tilt and decentration. *J Cataract Refract Surg* 2012;38(9):1657-63.
8. Artigas J M, Menezo J L, Peris C, Felipe A, Díaz-Llopis M. Image quality with multifocal intraocular lenses and the effect of pupil size. *J Cataract Refract Surg* 2007;33(12):2111-17.
9. Castro J J, Ortiz C, Pozo A M, Anera R G. A visual test based on a freeware software for quantifying and displaying night-vision disturbances: study in subjects after alcohol consumption. *IWBBIO 2013 Proceedings*.

LEYENDAS DE TABLAS E ILUSTRACIONES

Tabla 1: Características principales de las lentes caracterizadas.

Figura 1: Esquema de la formación del halo en visión lejana (a) y cercana (b) en un ojo implantado con una LIOM. Se considera una lente apodizada en la que únicamente la parte central de la LIOM contribuye al foco de cerca.

Figura 2: Esquema de la configuración del banco óptico utilizado para las medidas *in vitro*.

Figura 3: Imagen real (a); imagen logarítmica en falso color (b); y perfiles de intensidad vertical (línea roja) y horizontal (línea azul) de la imagen (c).

Figura 4: Imágenes logarítmicas en falso color y perfiles de intensidad vertical (rojo) y horizontal (azul) del plano de mejor imagen de lentes monofocales para un diámetro pupilar (en el plano de la LIO) de 4.7mm, (izquierda) y de 2.4mm (derecha).

Figura 5: Imágenes logarítmicas y perfiles de intensidad en los planos de mejor imagen de cada LIO para un diámetro pupilar de 2.4mm

Figura 6: Imágenes logarítmicas y perfiles de intensidad en los planos de mejor imagen de cada LIO para un diámetro pupilar de 4.7mm

Figura 7: Origen del halo en visión cercana de una lente a) con aberración esférica (AE) y b) sin AE. El diámetro del halo en visión cercana está marcado en rojo. Las flechas verdes indican la energía destinada al foco lejano. No se representa la energía destinada al foco cercano.

Tabla 1: Características principales de las lentes caracterizadas.

Referencia (Nombre comercial)	Tipo	Corrección de la AE	Potencia Base (D)	Adición (D)
SN60AT		No	20	-
SN60WF (AcrySof IQ)	Monofocal	Parcial	20	-
ZA9003 (Tecnis)		Total	20	-
ZMA00 (Tecnis multifocal)	Difractiva (Apertura completa) - Bifocal	Total	20	4
SN60D3 (AcrySof ReSTOR)		No	20	4
SN6AD3 (AcrySof ReSTOR)	Difractiva apodizada - Bifocal	Parcial	20	4
SN6AD1 (AcrySof ReSTOR)		Parcial	20	3
AT.lisa 389 MP	Centro trifocal - Periferia bifocal	Partial	20	3.33 / 1.66
NXG1 (ReZoom)	Refractiva - Simétrica	No	20	3.5
MPlus	Refractiva - Sectorial	?	20	3

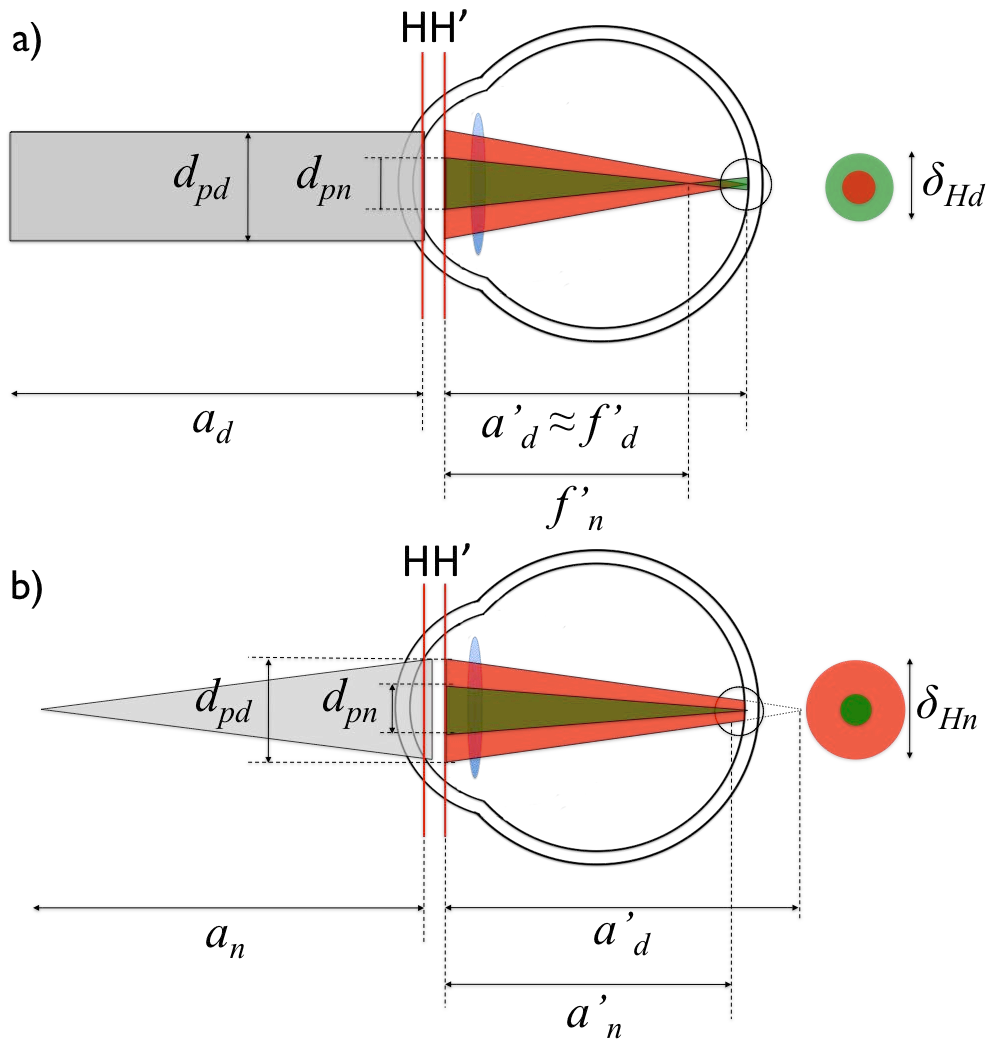


Figura 1: Esquema de la formación del halo en visión lejana (a) y cercana (b) en un ojo implantado con una LIOM. Se considera una lente apodizada en la que únicamente la parte central de la LIOM contribuye al foco de cerca.

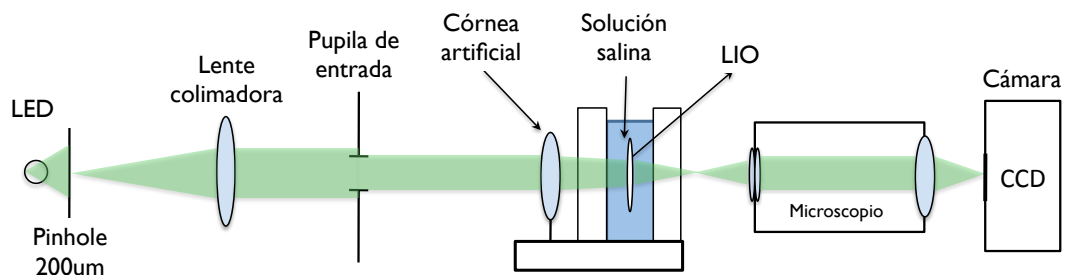


Figura 2: Esquema de la configuración del banco óptico utilizado para las medidas in vitro.

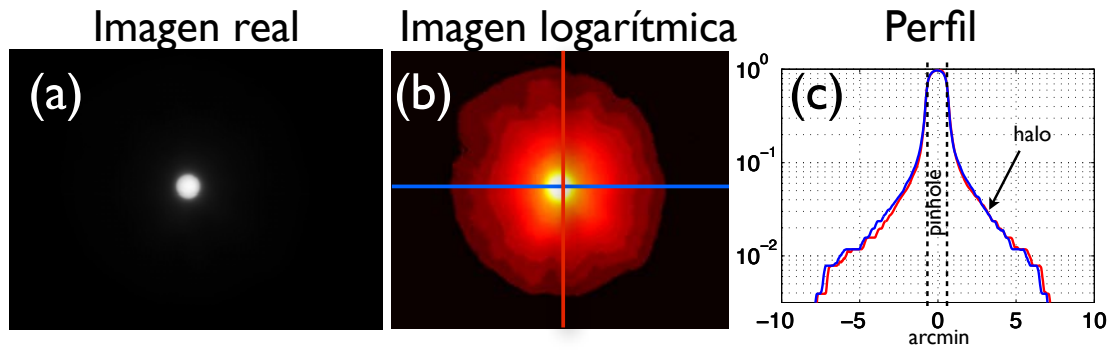


Figura 3: Imagen real (a); imagen logarítmica en falso color (b); y perfiles de intensidad vertical (línea roja) y horizontal (línea azul) de la imagen (c).

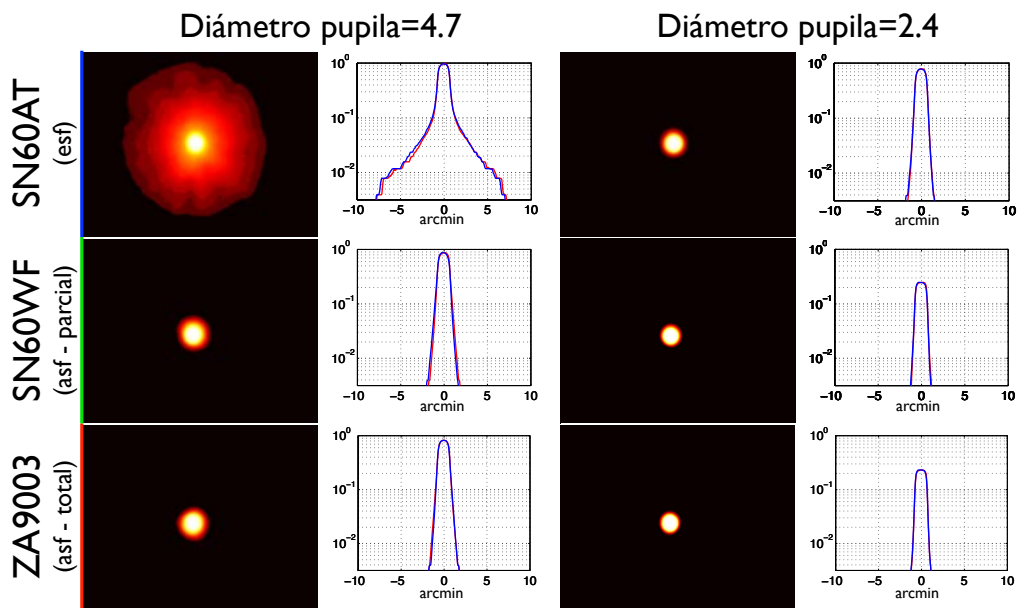


Figura 4: Imágenes logarítmicas en falso color y perfiles de intensidad vertical (rojo) y horizontal (azul) del plano de mejor imagen de lentes monofocales para un diámetro pupilar (en el plano de la LIO) de 4.7mm, (izquierda) y de 2.4mm (derecha).

Diámetro pupila=4.7mm

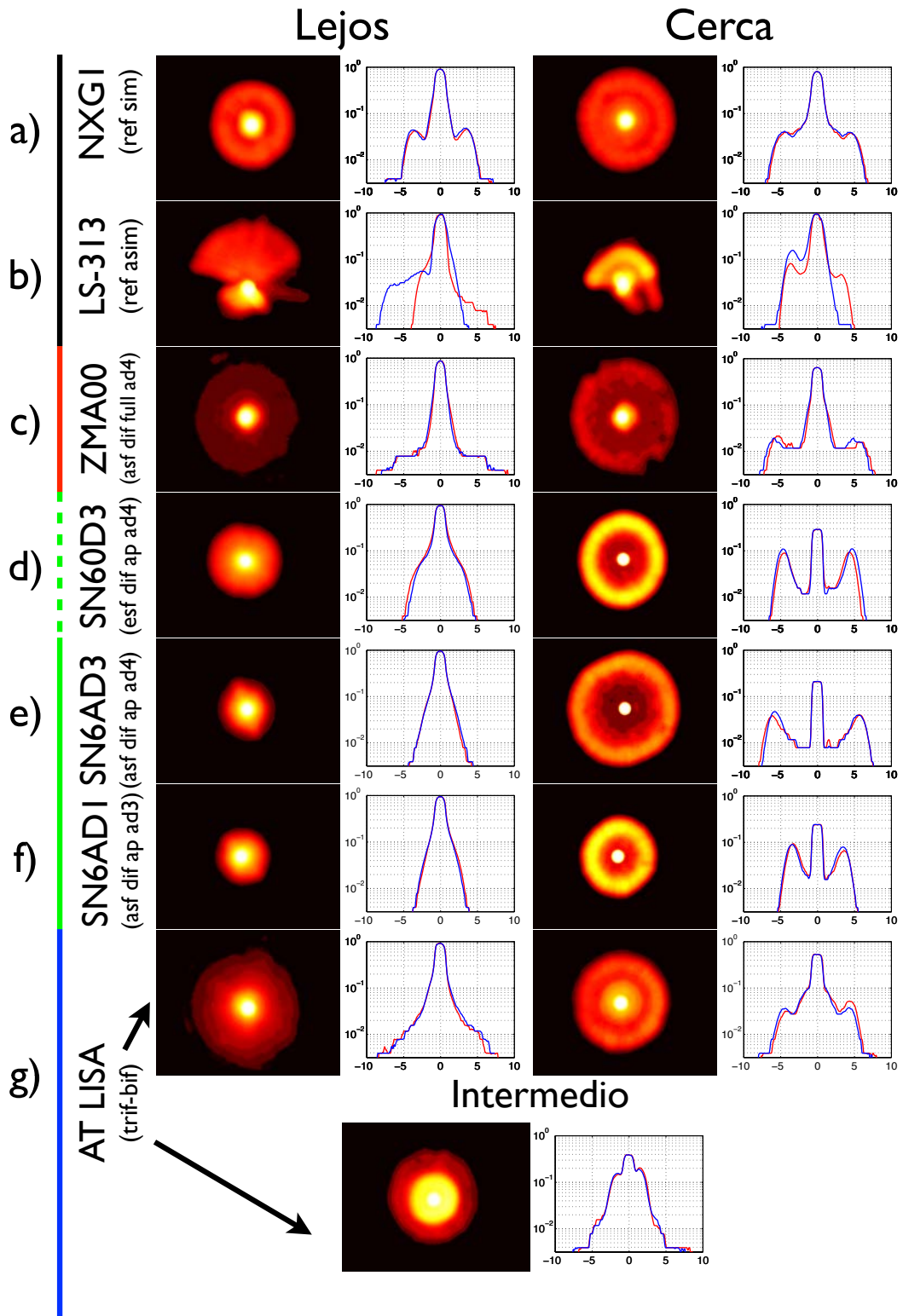


Figura 6: Imágenes logarítmicas y perfiles de intensidad en los planos de mejor imagen de cada LIO para un diámetro pupilar de 4.7mm

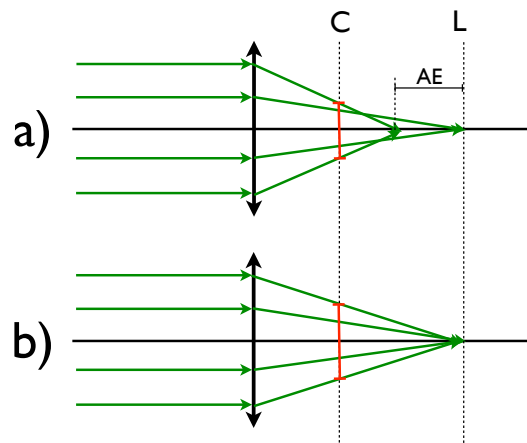


Figura 7: Origen del halo en visión cercana de una lente a) con aberración esférica (AE) y b) sin AE. El diámetro del halo en visión cercana está marcado en rojo. Las flechas verdes indican la energía destinada al foco lejano. No se representa la energía destinada al foco cercano.