



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

TRABAJO FINAL DE GRADO

LENTES INTRAOCULARES COMPENSADORAS DE LA PRESBICIA II: DISEÑO ÓPTICO

ALBA GONZÁLEZ CORTÉS

DIRECTORA: María Sagrario Millán García-Varela
DEPARTAMENTO: Óptica y Optometría

FECHA DE LECTURA: JUNIO DE 2021



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

RESUMEN

Las lentes intraoculares se empezaron a utilizar por primera vez en el año 1949 en operaciones de cataratas. Cada vez hay más necesidad de depender menos del uso de las gafas debido al estilo de vida. Por eso mismo se han empezado a usar en cirugías de altas ametropías y en corrección de la presbicia. Profundizaremos sobre todos los tipos de lentes intraoculares y sus diseños ópticos, los efectos adversos, las curvas de desenfoque y finalmente, demostraremos algunos de los efectos adversos en un experimento en banco óptico.

Este trabajo tiene como objetivo hacer un análisis crítico de artículos científicos sobre todos los tipos de lentes que hay en el mercado y su diseño, sobre sus efectos adversos y la posible calidad visual que proporcionan.

En la parte práctica, hemos observado experimentalmente el comportamiento de una lente trifocal, y hemos podido ver una serie de halos en los diferentes focos; y los hemos podido comparar con una lente monofocal sobre la que se ha simulado un patrón sinusoidal muy parecido al de la lente trifocal.

Las LIOs multifocales aun están en pleno desarrollo. Los diseños más actuales son el trifocal y el de rango extendido. Proporcionan buenas AV en distancias largas e intermedias, aunque para las distancias cercanas pueden necesitar ayuda de gafas. Se deben entender las recomendaciones de los diferentes diseños para poder escoger la lente ideal.



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRÍA

RESUM

Les lents intraoculars es van començar a fer servir per primer cop a l'any 1949 en operacions de cataractes. Cada cop hi ha més necessitat de dependre menys de l'ús de les ulleres degut a l'estil de vida. Per això mateix s'han començat a fer servir en cirurgies d'altres ametropies i en la correcció de la presbícia. Aprofundirem sobre tots els tipus de lents intraoculars i els dissenys òptics, els efectes adversos, les corbes de desenfoc i finalment, demostrarem alguns dels efectes adversos en un experiment en banc òptic.

Aquest treball té com objectiu fer una anàlisi crític d'articles científics sobre tots els tipus de lents que hi ha al mercat i el seu disseny, sobre els seus efectes adversos i sobre la possible qualitat visual que proporcionen.

A la part pràctica, hem observat experimentalment el comportament d'una lent trifocal, i hem pogut veure una sèrie d'halos en els diferents focus; i els hem pogut comparar amb una lent monofocal sobre la que s'ha simulat un patró sinusoidal molt semblat al de la lent trifocal.

Les LIOs multifocals encara estan en ple desenvolupament. Els dissenys més actuals són el trifocal i el de rang extens. Proporcionen bones AV en distàncies llargues i intermèdies, encara que en distàncies properes poden necessitar l'ajuda d'ulleres. S'han d'entendre les recomanacions dels diferents dissenys per a poder escollir la lent ideal.



BACHELOR'S DEGREE IN OPTICS AND OPTOMETRY

ABSTRACT

Intraocular lenses began to be used in 1949 in cataract operations. Nowadays, due to the lifestyle, there is an increasing need of spectacle independence. For this reason, these lenses have started to be used in high ametropia surgeries and presbyopia corrections. Later, it will be deepened in all the different types of intraocular lenses and their optic designs, adverse effects, defocus curves and, at the end, some adverse effects will be proven in an optical bench.

The goal of this project is to do a critic analysis of scientific articles of all the types of lenses of the market and their design, about their adverse effects and the potential visual quality they provide.

In the practical part, the behavior of a trifocal lens has been observed experimentally, and some halos have been seen in the different foci; and it has been compared with a monofocal lens above which a sinusoidal pattern similar to the trifocal lens has been simulated.

The multifocal IOLs are still in development. The most recent designs are the trifocal and extended range. They provide good distance and intermediate vision, although for near vision glasses may be required. To chose the ideal lens, recommendations of all designs must be understood.



ABREVIATURAS

LIO – Lente intraocular

AV – Agudeza visual

EDOF – Profundidad de foco extendido

PMMA – Polimetilmetacrilato

D – Dioptrías

MTF – Función de la transferencia de la modulación

VL – Visión lejana

VI – Visión intermedia

VP – Visión próxima

DMAE – Degeneración Macular Asociada con la Edad

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
3. LENTES INTRAOCULARES	4
3.1. MONOFOCALES	4
3.2. BIFOCALES	6
3.3. MULTIFOCALES	7
3.3.1. DIFRACTIVAS.....	7
3.3.2. REFRACTIVAS	9
3.3.2. TRIFOCALES.....	10
3.4. ACOMODATIVAS	11
3.5. DE FOCO EXTENDIDO	12
3.6. ASPECTOS DEL PACIENTE A CONSIDERAR EN LA SELECCIÓN DE LA LIO	14
4. CURVAS DE DESENFQUE	18
5. COMPLICACIONES DE LAS LENTES INTRAOCULARES	21
6. PARTE PRÁCTICA	24
6.1. MONTAJE DEL SISTEMA	24
6.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA LENTE TRIFOCAL ACRIVA TRINOVA	25
6.3. RESULTADOS LIO MONOFOCAL CON RED SINUSOIDAL SIMULADA ÓPTICAMENTE	29
7. CONCLUSIONES	33
8. BIBLIOGRAFÍA	35

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Diseño primera lente intraocular ^[2].
- Figura 2.** División de la energía luminosa entre dos focos de las LIO bifocales Acri Twin 733D/7370 ^[11].
- Figura 3.** Imagen de halos en condiciones escotópicas. ^[13].
- Figura 4.** Estructura de una LIO de diseño difractivo ^[10].
- Figura 5.** Estructura de una LIO refractiva ^[16].
- Figura 6.** Estructura de la LIO Lentis M plus y de una LIO refractiva de anillos concéntricos ^[19].
- Figura 7.** Esquema de la LIO acomodativa Synchrony ^[22].
- Figura 8.** LIO EDOF *Tecnis Symphony Toric* ^[25].
- Figura 9.** Curva de desenfoque LIO monofocal ^[26].
- Figura 10.** Curva de desenfoque LIO EDOF (rojo) comparada con una multifocal (azul) ^[27].
- Figura 11.** Curva de desenfoque LIO bifocal comparada con una trifocal ^[28].
- Figura 12.** Proliferación celular en la cápsula posterior ^[29].
- Figura 13.** Destellos producidos por implante de LIO ^[30].
- Figura 14.** Halos producidos por implante de LIO ^[31].
- Figura 15.** LIO Acriva Trinova ^[32].
- Figura 16.** Primera parte experimental, desde el láser hasta el polarizador (laboratorio del Grupo de investigación en Óptica Aplicada y Procesado de Imagen, UPC) ^[20].
- Figura 17.** Segunda parte experimental, zona del ojo artificial, cámara y modulador (laboratorio del Grupo de investigación en Óptica Aplicada y Procesado de Imagen, UPC) ^[20].
- Figura 18.** Imagen del foco de visión lejana.
- Figura 19.** Imagen de la transición del foco de VL a VI.
- Figura 20.** Imagen del foco de visión intermedia.
- Figura 21.** Imagen de la transición del foco VI a VP.
- Figura 22.** Imagen del foco de visión cercana.
- Figura 23.** Imagen del foco de visión lejana.
- Figura 24.** Imagen de la transición del foco de VL a VI.
- Figura 25.** Imagen del foco de visión intermedia.
- Figura 26.** Imagen de la transición del foco VI a VP.
- Figura 27.** Imagen del foco de visión cerca.

1. INTRODUCCIÓN

Las lentes intraoculares (LIO) se empezaron a utilizar por primera vez en el año 1949. Primeramente, eran de Polimetilmetacrilato o PMMA (*figura 1*), pero no daban buen resultado porque eran rígidas y no moldeables ^[1].



Fig. 1. Diseño primera lente intraocular^[2].

Generalmente han sido usadas en operaciones de cataratas, es decir, cuando se retira el cristalino parcial o totalmente y se implanta una lente intraocular para compensar el error refractivo producido ^[3]. Actualmente se implantan en la sanidad pública ya que dan resultados óptimos y son económicas. Estas lentes solo permiten enfocar a una distancia (buena visión de lejos).

Por eso mismo con el paso de los años, estas LIO se usan cada vez más en la corrección de ametropías altas en los casos en que la córnea no sea apta para una cirugía con láser ^[4].

La acomodación es la capacidad que tiene nuestro cristalino para variar su poder refractivo para poder enfocar objetos a diferentes distancias ayudado por la contracción del músculo ciliar. Este mecanismo empieza a perder su funcionalidad a partir de los 40 o 50 años ^[5].

A medida que la sociedad va avanzando, el uso de la gafa se pretende que sea cada vez menor y se prefiere no ser dependiente de ellas; es decir, las LIO han evolucionado para que no solo se utilicen en cirugías de cataratas, sino que también en cirugías refractivas. Por eso mismo, han ido apareciendo diferentes diseños de lentes, de monofocales a multifocales para que el uso de gafas sea cada vez menor.

Normalmente, cuando corregimos la presbicia con una LIO multifocal, acostumbra a quedar una distancia comprometida. Las lentes multifocales presentan dos o tres focos, dependiendo del diseño puede quedar la distancia intermedia o la cercana comprometidas. Este hecho nos indica que podría necesitarse la ayuda de las gafas en momentos puntuales ^[6].

2. OBJETIVOS

Actualmente, las cirugías de cataratas que también corrigen la presbicia están cada vez más presentes, ya que las necesidades y el estilo de vida de los pacientes son más estrictos y esto provoca que se quiera prescindir del uso de gafas o lentes de contacto.

Este trabajo se plantea los siguientes objetivos:

- Profundizar sobre los principales tipos de LIO que compensan parcialmente la presbicia (multifocales, acomodativas y de foco extendido), entender su funcionamiento y su diseño.
- Apreciar sus efectos adversos y posibles complicaciones.
- Entender y valorar su comportamiento para distintas distancias de enfoque. Para esto se considerarán dos métodos:
 - a) Las curvas de desenfoque, que se construyen a partir de los valores clínicos de las agudezas visuales de los pacientes implantados.
 - b) La formación de imágenes a lo largo del eje en un montaje experimental de laboratorio óptico.
- Poder entender las recomendaciones de los diversos tipos de lentes teniendo en cuenta la personalidad y hábitos del paciente.
- Realización práctica: comprobar experimentalmente el comportamiento óptico de una LIO multifocal comercial y relacionarlo con las principales características de su diseño. Visualizar en un montaje en banco óptico, los focos y las imágenes que se formaran.

3. LENTES INTRAOCULARES

En el siglo XX se empezaron a usar las LIO en operaciones de cataratas. Principalmente eran de PMMA, pero no era un material que daba buen resultado. Es un material muy rígido y poco moldeable, dificulta su implantación y puede traer complicaciones como vacuolas y estas provocar fenómenos fóticos^[1]. Estos fenómenos son una serie de efectos adversos que crean una incomodidad al paciente. Se producen tras la implantación de una lente, pueden provocar la percepción de halos o destellos.

Seguidamente, se empezó a usar la silicona, también era difícil su implantación porque resbalaba mucho y necesitaba una incisión más grande. Podía provocar con mayor facilidad problemas posoperatorios como infecciones^[1].

A medida que las necesidades fueron creciendo, se empezó a usar el acrílico hidrofóbico, un material mucho más moldeable derivado del PMMA. Su implantación era mucho más sencilla, pero esto aumenta su capacidad para descentrarse y producir fenómenos fóticos^[1].

El material hidrofílico es mucho más suave, moldeable y resistente. Cuando se implanta la lente las incisiones son mucho más pequeñas. Debido a la contracción de la capsula del cristalino hace que sean menos resistente a esta contracción y se pueda descentrar^[1].

3.1. MONOFOCALES

Las primeras LIO tenían un diseño esférico, pero este diseño no permitía tener un buen centrado y disminuir las aberraciones esféricas^[1]. Por lo tanto, las LIO monofocales acostumbra a tener un diseño asférico, esto se debe a que tienen que compensar parcial o totalmente la aberración esférica producida por la córnea^[6]. Por eso mismo, las LIO asféricas mostraron mejores resultados frente las esféricas, es decir, una mejor calidad óptica y una mejor sensibilidad al contraste^[1].

Para tener una calidad visual buena, se puede utilizar una LIO monofocal y a la misma vez hacer unas incisiones limbales para corregir el astigmatismo corneal; aunque se recomienda usar una LIO tórica. En casos de un astigmatismo de 0,75D, que se pretenda corregir con una LIO tórica, será de esperar un resultado más bajo de astigmatismo refractivo residual y una mejor calidad visual ^[7].

Las lentes monofocales tienen un único foco, es decir, los frentes de onda que inciden por la lente se cruzan en un solo punto en el espacio, si hablamos de condiciones ideales ^[9]. En la realidad estas lentes presentan aberraciones, y se produce una cierta profundidad de foco. Normalmente, estas lentes monofocales se calculan para una distancia de enfoque fija que suele ser la distancia lejana. No es extraño, sin embargo, hacer un cálculo de la potencia para que el paciente quede ligeramente miope. Así favorecemos ligeramente la visión en distancias más cercanas donde habitualmente se moverá.

De todos modos, esta técnica no permite una buena visión para distancias donde se necesite la acomodación. Por esta razón, se empezó a utilizar la monovisión. Primero de todo, valoraríamos cual es el ojo dominante y en este le implantaríamos la LIO que permite tener una buena visión de lejos (quedaría emétrope); y en el ojo no dominante implantaríamos la LIO que permite tener una buena visión de cerca (quedaría ligeramente miopizado). Esta técnica actualmente no es muy típica ya que se tiene que hacer un estudio para saber si el paciente es o no capaz de adaptarse. No produce muy buenos resultados ya que disminuye la estereopsis y la sensibilidad al contraste, aunque proporciona una buena visión próxima y visión intermedia ^[7], ya que nuestro cerebro tiene que ser capaz de poder diferenciar entre la imagen nítida y la borrosa ^[10].

3.2. BIFOCALES

Estas lentes están compuestas por dos focos, es decir, cuando inciden los rayos en el plano de la lente estos se cruzan en el espacio en dos puntos, un foco para la visión de lejos y un foco para la visión próxima (*figura 2*)^[9].

Las LIO bifocales pueden ser difractivas, y la energía de la luz se puede dividir entre los escalones que tienen, se basan en la visión simultánea. Así puede llegar el 40% de la energía en el orden 0, es decir, para el foco de visión de lejos, y el otro 40% de la energía en el orden 1, es decir, para el foco de visión de cerca^[8]. Esta distribución equitativa de la energía entre los focos da lugar a una mayor presencia de halos y efectos fóticos. Por esta razón, habitualmente, la mayor eficiencia energética se centra en el foco de lejos. Para aumentar la eficiencia, en algunos tipos de lentes rebajan la altura de los anillos difractivos (escalones) del centro a la periferia de la lente. En el centro acostumbra a ser más elevados que en la periferia, este fenómeno se llama apodización.

En la *figura 2* se puede apreciar esta división de la energía luminosa entre los dos focos. Las lentes que se representan son unas LIO bifocales difractivas y esféricas. La primera lente representada, el foco que domina es el de la visión lejana y acapara un 70% de esta energía luminosa entrante y el 30% restante al foco de la visión cercana. La segunda lente, actúa de manera inversa, focaliza el 30% de la energía para el foco de visión lejana y el 70% para el foco de la visión cercana.

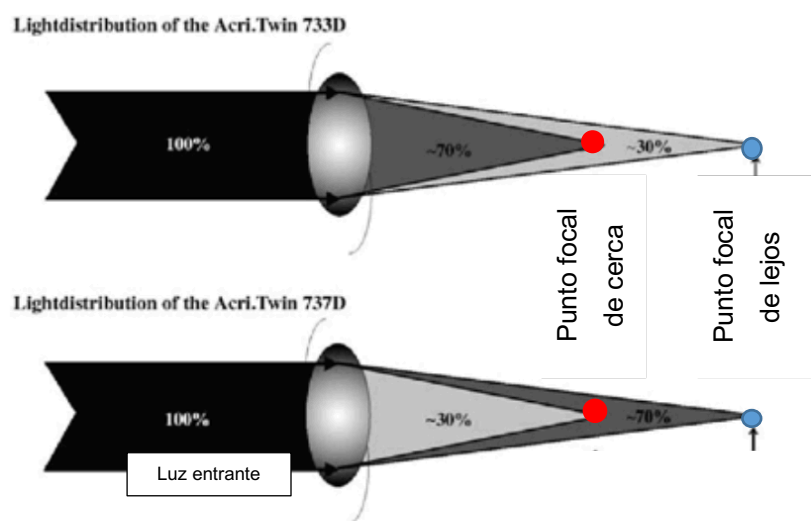


Fig. 2. División de la energía luminosa entre dos focos de las LIO bifocales Acri.Twin 733D/737D^[11].

3.3. MULTIFOCALES

Las lentes intraoculares multifocales han sido diseñadas generalmente para reducir la dependencia de las gafas, por lo tanto, permitirán obtener una buena visión próxima, intermedia y lejana ^[12].

El principal funcionamiento de la lente se basa en la división de la luz. Cuando incide la luz en la superficie de la lente, ésta se divide entre los diferentes focos. Proporcionando dos o tres focos de visión nítida ^[13]. Esta repartición energética puede producir halos (*figura 3*) en el paciente, son la resultante de la suma energética repartida en cada uno de los focos. En el centro aparece la parte nítida del foco, y en la periferia la suma de la energía de los otros dos focos. Debido a esto el paciente puede padecer una disminución de la sensibilidad al contraste, menos calidad visual e insatisfacción ^[7].



Fig. 3. Imagen de halos en condiciones escotópicas ^[13].

3.3.1. DIFRACTIVAS

El principio óptico de este tipo de lentes es la combinación de la difracción y refracción, para poder crear dos puntos focales, uno para la visión de lejos y otro para la visión de cerca ^[11]. Estas LIO se basan en el principio de la sumación de las ondas que inciden en ella creando interferencias constructivas ^[10]. En este diseño se suman las potencias de la cara anterior y posterior para poder conseguir la adición necesaria para las diferentes distancias ^[15].

Aparecen zonas concéntricas que forman un plano asimétrico, y proporcionan un perfil en forma de “sierra”. Este perfil se puede ver en la *figura 4* ^[10].

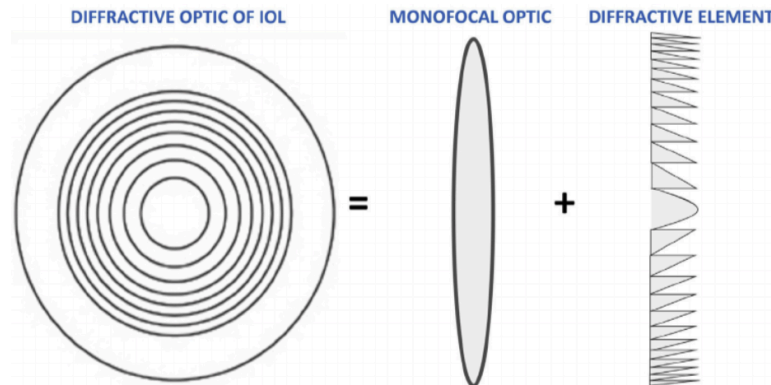


Fig. 4. Estructura de una LIO de diseño difractivo ^[10].

Estos escalones que vemos que forman el perfil en “sierra”, son los que nos proporcionan la adición. Cuanto menor es el radio del anillo, más adición nos proporciona ^[11].

Estas lentes dependen de la longitud de onda de la luz que incide, ya que están diseñadas para el pico máximo de sensibilidad de la retina, que corresponde con 555 nm. En el foco de cerca, el patrón difractivo contribuye a la aberración cromática junto con la dispersión del material, si se trata del orden 1 de difracción. En el foco de lejos, el orden de difracción es 0, solo la dispersión del material contribuye a la aberración cromática ^[10].

Refiriéndose a la visión y a la calidad óptica son mejores que las refractivas, ya que nos proporcionan muy buena AV en visión lejana y próxima, aunque la visión intermedia está más limitada. No influye de la misma manera el tamaño pupilar ni el descentramiento en comparación con las refractivas ^[15].

Una desventaja es que cuando incide la luz se reparte entre los focos que se producen y aproximadamente un 18% de esta se pierde, y esto nos proporciona una baja calidad óptica en condiciones escotópicas y mesópicas. Este diseño provoca que se acumule una mayor cantidad de depósitos de células en los escalones del perfil difractivo ^[15].

3.3.2 REFRACTIVAS

Un tipo de LIOs refractivas tienen un diseño simétrico formado por anillos concéntricos, es decir, están formadas por anillos que alternan las potencias de lejos y de cerca, y cada anillo tiene un índice de refracción diferente. Dependiendo de su diseño, tiene varias zonas, desde 2 hasta 5. Estas zonas, son concéntricas y van alternando la potencia para visión de lejos con la adición para la visión de cerca ^[11].

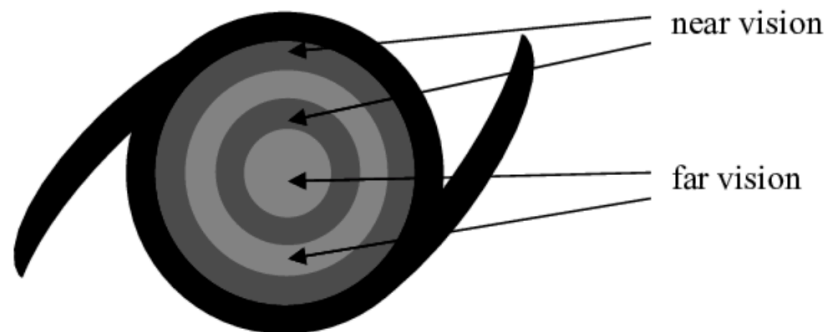


Fig. 5. Estructura de una LIO refractiva ^[16].

En la *figura 5* podemos ver este patrón de anillos concéntricos que alternan la potencia para focalizar en largas distancias (las zonas gris claras) y la potencia para distancias cortas (las zonas gris oscuras).

Tienen una superficie con diseño esférico. Este diseño permite que el foco se alargue longitudinalmente en el eje, es decir, aumenta el rango de visión nítida con un cambio de potencia de hasta 1,50 D ^[15].

Se ven muy limitadas por el descentramiento y por el diámetro pupilar, ya que su diseño concéntrico tiene unas limitaciones. Nos proporcionan una buena AV en visión intermedia y en visión lejana, pero en visión próxima no es tan buena la AV si comparamos con las LIO difractivas ^[15]. Estas lentes presentan una menor dispersión de la luz, reduciendo los fenómenos fóticos ^[11].

El diámetro pupilar es un factor clave a tener en cuenta en la implantación de estas lentes. Cuando un paciente tiene el diámetro pupilar pequeño la AV es mayor para distancias lejanas que para distancias más cercanas. Esto se debe a que la zona de la potencia para la visión cercana se encuentra en el segundo anillo y esto hace que para poder hacer uso de esta se deba tener un diámetro pupilar mayor ^[17].

Un ejemplo de un diseño nuevo de lente con diseño refractivo asimétrico es la Lentis M plus. Es una lente diseñada especialmente para reducir los efectos adversos de la lente y aumentar la calidad visual tanto en distancias lejanas como en distancias intermedias y cercanas. Esta lente tiene un segmento en la cara anterior donde se añade la adición necesaria para la visión de cerca, y la superficie posterior es esférica para disminuir las aberraciones, es un diseño que da mejores resultados. Es independiente al diámetro pupilar ya que la adición está en la zona inferior y no alterna con la potencia de la visión de lejos ^[18].

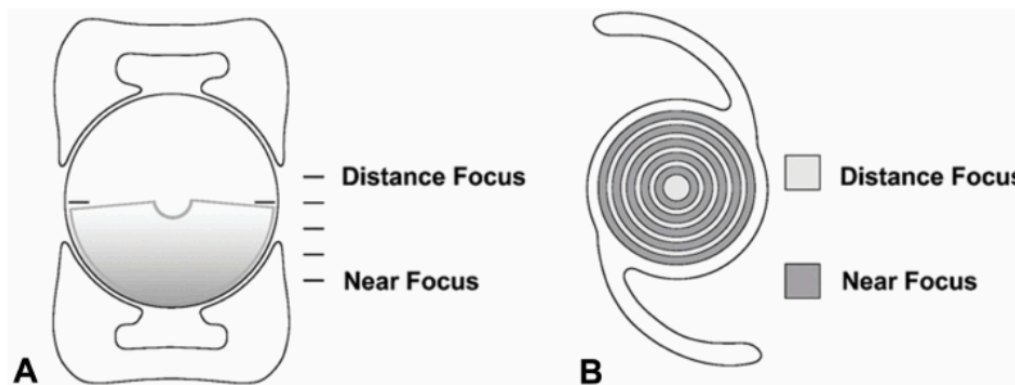


Fig. 6. Estructura de la LIO Lentis M plus y de una LIO refractiva simétrica de anillos concéntricos ^[19].

En la *figura 6* podemos observar que en la parte A es la estructura de la LIO *Lentis M plus* y en la parte B una lente con el diseño de anillos concéntricos. En la A, vemos como la lente tiene unos hápticos más grandes que harán que haya una mayor sujeción de la lente cuando se implante. Por la parte superior de la lente está la potencia para la visión de lejos, y en la parte inferior vemos el segmento que proporcionará la adición para la visión de cerca. En la B observamos el mismo patrón que he mencionado anteriormente, anillos concéntricos alternando la potencia de lejos y de cerca. El color gris claro corresponde con el foco de visión de lejos y el color gris oscuro corresponde con el foco de visión de cerca ^[19].

3.3.2. TRIFOCALES

Estas lentes están compuestas por tres focos, es decir, cuando inciden los rayos en el plano de la lente estos se cruzan en el espacio en tres puntos, un foco para la visión de lejos, un foco para la visión intermedia y un foco para la visión próxima ^[9].

Estos focos son la resultante del perfil de la base refractiva de la lente junto con la potencia asociada de los órdenes de difracción ^[16].

Las LIO trifocales son unas lentes relativamente nuevas. Tienen un diseño híbrido, es decir, combinan los dos diseños anteriormente mencionados. Tienen una base de diseño refractivo junto a un perfil difractivo de anillos concéntricos fijado en una de sus superficies. Gracias a esto, estas lentes proporcionan una mejor calidad visual en todas las distancias, y sobretodo, una mejor AV en la visión próxima ^[20].

Estas lentes no tienen tanta dependencia del tamaño pupilar como las que tienen solo un diseño refractivo. Aunque para diámetros más pequeños la calidad visual será menor que para diámetros mayores en distancias más largas. En cambio, para distancias mas cercanas la calidad visual será más buena gracias a la combinación de ambos diseños ^[17].

3.4. ACOMODATIVAS

El Dr. Stewart Cumming a finales de la década de los 80 estudió el proceso de desplazamiento óptico en pacientes con lentes monoculares implantadas, y pudo apreciar que había una mejora notable en la AV en visión cercana e intermedia ^[5].

Las LIO acomodativas funcionan gracias a los mecanismos pseudoacomodativos de la capsula del cristalino. Estos mecanismos ayudan a restaurar en una pequeña parte la acomodación. Por eso mismo, producen un incremento en la AV en la visión de cerca e intermedia y, un incremento en la profundidad de foco que proporciona una mejor calidad óptica. Además, se relacionan con el incremento de la potencia gracias al esfuerzo para reenfocar en diferentes distancias. Aunque esta función se puede mejorar más debido a los mecanismos no acomodativos, como la miosis y la inducción de aberraciones ^[21].

La traslación hacia delante de la lente junto con la curvatura de la cornea hacen que se produzca la acomodación. La miosis es un mecanismo esencial para una mejor AV tanto en visión cercana como intermedia ^[21].

Estas lentes aún están en pleno desarrollo ya que producen complicaciones como la fibrosis capsular, si se detecta en fase temprana se puede solucionar con láser YAG. Si se encuentra en una fase más avanzada, se puede necesitar el reposicionamiento o la introducción de un anillo de tensión capsular. Actualmente, se han diseñado una serie de lentes que permiten la variación de la forma de estas para poder tener una amplitud de acomodación mayor que la que nos proporciona la traslación axial ^[21].

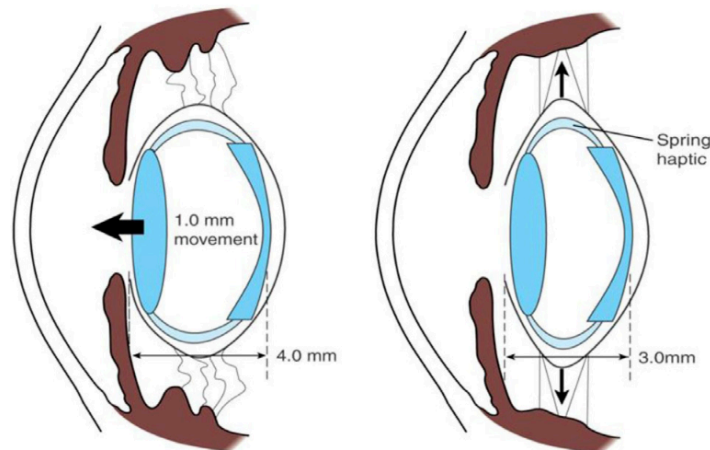


Fig. 7. Esquema de la LIO acomodativa Synchrony ^[22].

En la *figura 7* observamos el esquema de la LIO acomodativa Synchrony. En el esquema de la izquierda vemos que el saco que antes ocupaba el cristalino está “abombado”, es decir, que esta focalizando un objeto en visión cercana. Por eso mismo, las fibras de la capsula se relajan para poder enfocar. En el esquema de la derecha vemos que el cristalino está más “estirado”, es decir, que esta focalizando un objeto en visión lejana. Por eso mismo, las fibras de la capsula están más tensas para poder ver nítido. Aunque la diferencia entre uno y el otro es de tan solo 1 mm, nos permite buena visión para ambas distancias ^[22].

3.5. DE FOCO EXTENDIDO

Cuando los frentes de onda inciden en la lente, se cruzan en un punto en la retina formando un foco. Este diseño permite que el foco que se forma se alargue longitudinalmente para permitir una buena visión en diferentes distancias ^[9].

Las LIO de foco extendido pueden alargar el foco de varias formas diferentes; utilizando aberraciones esféricas negativas o con el efecto *pinhole*. Así, proporciona una mejor AV en la visión intermedia ^[8]. Estas lentes han sido diseñadas para el fin de atenuar los fenómenos fóticos y, para hacer menos agresivo la transición entre focos ^[20].

Estas lentes pueden ser monofocales y de foco extendido, es decir, permiten un rango más amplio de visión clara y así, se puede evitar el uso de gafas. Proporcionan una agudeza visual buena y una mejor calidad de visión, por tanto, los fenómenos fóticos disminuyen. Estas lentes proporcionan una buena visión intermedia ^[23].

Pueden tener un diseño de pequeña apertura. Estas lentes se implantan en la cámara anterior, generalmente monocularmente. Esto produce que los pacientes presenten una mejor AV en distancias intermedias y cercanas, ya que bloquea los rayos que inciden por la periferia y solo deja pasar los centrales. En el otro ojo podemos implantar cualquier otro tipo de LIO para corregir las distancias más lejanas. No se recomienda la implantación en los pacientes que tengan las pupilas grandes ya que aumentará el riesgo de padecer fenómenos fóticos ^[24].

Otro diseño actual es el bioanalógico. Este diseño tiene una forma muy similar a la del cristalino, no tiene hápticos para sujetarse y la potencia va disminuyendo a medida que nos alejamos del centro de la lente hacia la periferia. El paciente ideal para este diseño de lentes es el que tenga una profundidad de cámara anterior ancha ^[24].

Las lentes EDOF pueden tener un diseño difractivo. Tienen el perfil en forma de "sierra" en una de sus superficies para incrementar la AV sobretodo en visión intermedia. Este diseño aumenta el riesgo de padecer fenómenos fóticos ^[24].

Finalmente, el diseño no difractivo. Estas lentes se dividen en tres zonas, la zona central que contiene aberraciones esféricas positivas, la zona intermedia que contiene aberraciones esféricas negativas y la zona periférica que es monofocal. Los pacientes con diámetros pupilares pequeños no son buenos candidatos ^[24].

En implantaciones bilaterales de LIOs EDOF el ojo dominante quedará emétrope (ideal para la VL) y en el ojo no dominante se deja corregido ligeramente miope (ideal para VP) [7].

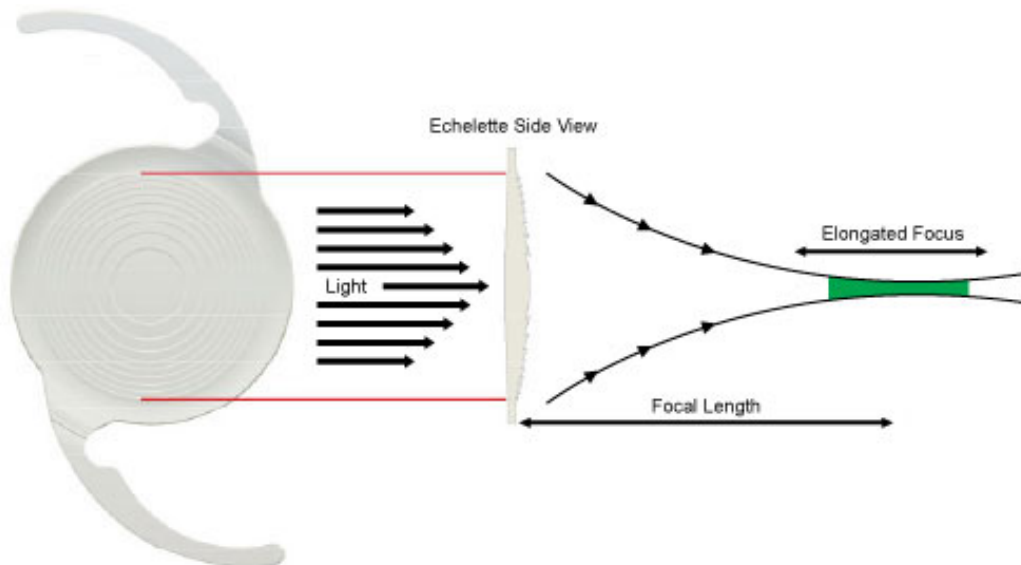


Fig. 8. LIO EDOF Tecnis Symphony Toric [25].

En la *figura 8* podemos observar la LIO de foco extendido *Tecnis Symphony toric*. La figura nos muestra el esquema del rango de la visión nítida que obtendrá el paciente con la lente. También proporcionará una buena visión para distancias intermedias [25].

3.6. ASPECTOS DEL PACIENTE A CONSIDERAR EN LA SELECCIÓN DE LA LIO

Para poder escoger la lente adecuada hay que seguir una serie de pasos para la mayor satisfacción del paciente y el buen resultado de la operación [26].

Primeramente, valorar las características del ojo, la cantidad de astigmatismo corneal que existe y valorar la superficie corneal. Normalmente, los pacientes que se someten a una cirugía de cataratas por la sanidad privada quieren y esperan una mayor independencia de las gafas después de la cirugía, y por eso las que más se utilizan son las lentes con profundidad de foco extendida (EDOF) y multifocales; aunque, el 100% de estas no cumplen todas las expectativas y esto siempre hay que tenerlo en cuenta [7].

Hay que valorar las características objetivas, como su historia médica, la salud ocular, la mácula, la potencia y el astigmatismo corneal, y si hay alguna cirugía refractiva anterior. Y las características subjetivas como su estilo de vida, perfil profesional, personalidad y sus aficiones [7].

Antes que nada, hay que tener en cuenta la edad del paciente, sus necesidades y su estilo de vida, ya que si la lente le impide seguir con su normalidad es probable que esté insatisfecho [26].

Si el paciente tiene una personalidad muy tranquila, es decir, sus necesidades visuales no son muy estrictas, quedará más satisfecho. Si el paciente tiene una personalidad muy perfeccionista, es decir, con necesidades visuales muy elevadas y correctas, puede provocar insatisfacción. Siempre será necesario explicar al paciente qué sentirá con la lente y como verá, ya que se tendrá que acostumbrar a las difotopsias y a sus posibles efectos adversos [7].

Hay que tener en cuenta principalmente la historia ocular y en especial si ha habido alguna patología de la superficie ocular, como el síndrome del ojo seco. La inestabilidad de la película lagrimal puede llevar a errores a la hora de calcular la potencia corneal y un falso astigmatismo corneal inducido. Este síndrome se puede asociar con el uso de las lentes de contacto, por otras patologías sistémicas y oculares. Si este síndrome no está controlado antes de la cirugía, puede llevar a la insatisfacción del paciente en cuanto a su calidad visual medida a través de la AV y a un mayor nivel de los síntomas. Se recomienda mantener un seguimiento y un control del ojo seco ya que así se podrá valorar este síndrome y que haya un mayor éxito después de la cirugía [7].

Observar otros tipos de afecciones oculares para evitar astigmatismos inducidos no deseados. Si hay pterigion, hay que tener en cuenta los síntomas y la profundidad de este sobre la córnea. Ya que, si es muy profundo, el astigmatismo se tendrá que corregir en el momento de la cirugía y, es probable que influya en la potencia de la LIO si este cubre más de 2,4 mm de la córnea [7].

Si el paciente previamente se ha sometido a una cirugía refractiva de láser LASIK puede provocar una falsa expectativa hacia un resultado visual muy elevado ($AV=1.0$); y esto mismo, puede producir un falseamiento de la potencia de la curvatura de la córnea debido al cambio de radio producido por el láser. Si en vez de haberse sometido a una cirugía con LASIK se ha sometido a una queratotomía radial, los resultados serán más inexactos y pueden provocar una menor satisfacción en el resultado y ser estos menos predecibles ^[7].

Otro tipo de patología ocular avanzada a tener en cuenta es el glaucoma. Produce una reducción en condiciones escotópicas o mesópicas de la sensibilidad al contraste y una disminución de la agudeza visual. Junto a esto, hay que valorar el diámetro pupilar en las mismas condiciones ^[7].

En casos de glaucoma incipiente (daño en el nervio óptico) la decisión de usar una LIO multifocal, una EDOF, es mucho más acertada y tendrá mejores resultados. Cuando hay alguna patología de la mácula, como por ejemplo DMAE, estarían contraindicadas por diversas afecciones asociadas ^[7].

Si el paciente padece de una membrana epirretiniana, esta patología provoca el crecimiento de un tejido fibroso por encima de la mácula. Provocando distorsiones en el campo visual y una disminución de la AV ya que la superficie de la retina central se arruga. Por tanto, es difícil la precisión para escoger la LIO adecuada y por eso son malos candidatos, ya que también se produce un aumento de las metamorfopsias, la baja sensibilidad al contraste y riesgo de edema macular ^[7].

Además, aunque no exista ningún tipo de patología, hay que valorar la sensibilidad al contraste del paciente y su estructura ocular. Valorar el tamaño de la pupila y su reacción dependiendo de las condiciones de iluminación, ya que es muy importante para valorar el tipo de lente que implantaremos para una mayor comodidad e intentar reducir los efectos adversos de las LIO. Esto también se relaciona con la evidencia de las LIO, es decir, tener la información necesaria sobre las LIO propuestas para la implantación y conseguir así la menor cantidad de fenómenos fóticos ^[26].

Cuando se ha de implantar una LIO en niños, la precisión para calcular la potencia de esta es muy complicado, ya que como están en pleno crecimiento es diferente cubrir la necesidad a los 4 años que a los 10 años de edad. El incremento de la potencia entre una edad y la otra es de $4,00 D$ ^[15]. Pero una de las grandes ventajas respecto a los adultos, la capacidad de la neuroadaptación es mucho más rápida ya que la plasticidad es mayor que en un adulto; pero hay que seguir siempre las recomendaciones del cirujano porque es importante entender el proceso por el cual van a pasar para llegar a la visión nítida y clara ^[15].

4. CURVAS DE DESENFQUE

Las curvas de desenfoque se realizan en estudios clínicos para valorar la agudeza visual después de implantar una lente intraocular ^[11]. Permiten mostrar una idea ilustrativa de la LIO.

Para conseguir la curva de desenfoque de una LIO, se utilizan diferentes lentes de prueba, generalmente las lentes comprendidas entre -4,00 D a +1,00 D, que se van superponiendo en pasos de 0,50D. Estas definen la zona de visión próxima, comprendida entre -4,00 D y -2,00 D que corresponde con la distancia de 25 a 50 cm. La zona de visión intermedia, comprendida entre -2,00 D y -0,50 D que corresponde con la distancia de 2 m a 50 cm. Y finalmente, la zona de visión lejana, comprendida entre -0,50 D a +1,00 D que corresponde con el infinito ^[26].

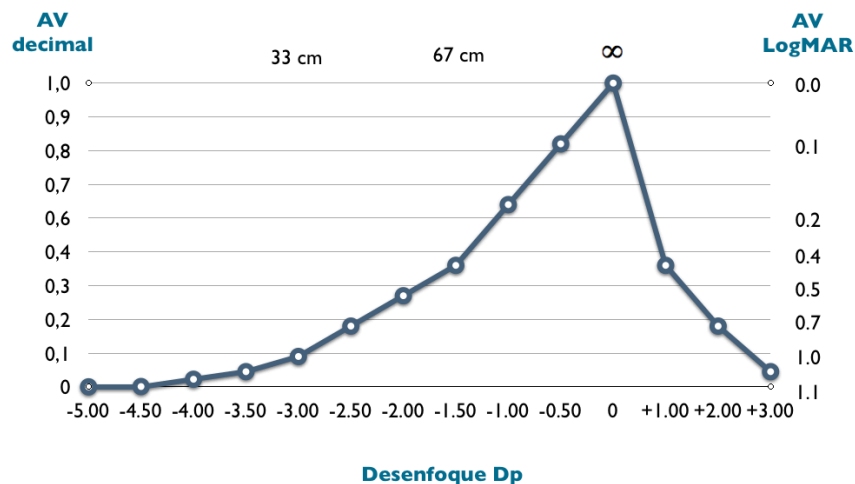


Fig. 9. Curva de desenfoque LIO monofocal ^[26].

Como podemos observar en la *figura 9*, en este caso de implante con LIO monofocal utilizan el rango desde -5,00 D hasta +3,00 D. Podemos observar un pico para 0,00 D, esto se relaciona con su diseño, es decir, como solo tiene un foco y, por tanto, tiene la máxima corrección para una distancia fija y su AV es LogMAR 0.0, en este caso es la máxima AV en el infinito. Podemos afirmar que es un paciente présbita, y seguramente necesitará ayuda de lentes adicionales en la media distancia y en la distancia próxima ya que la AV para el rango de visión intermedia es LogMAR 0.5 y para el rango de visión cercana es LogMAR 1.0 ^[26].

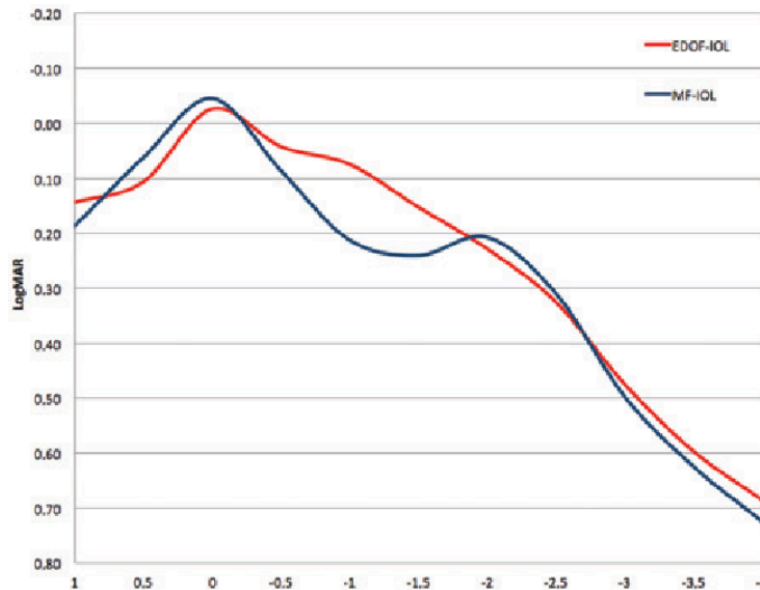


Fig. 10. Curva de desenfocament LIO EDOF (rojo) comparada con una multifocal (azul) [27].

En la figura 10 podem observar que el rang va des de +1,00 D fins a -4,00 D. En esta gràfica veiem que comparem dos LIO, una amb disseny multifocal i una altra amb disseny de foc estès. Si parlem de la LIO de foc estès, podem observar que hi ha un pic un mica més pronunciat en la zona de visió llunyana (+0,50D a 0,00D) i veiem que la AV és màxima. Aquest pic no decau de manera brusca, ho fa progressivament. Observem que la AV en visió intermèdia (-0,50D a -1,50D) és LogMAR 0.2, això ens indica que és una AV bona però que no és la màxima i és possible que en alguns casos el pacient estigui incòmode. I finalment, la corba cau en la visió propera (-2,00D a -2,50D) i veiem que la AV és LogMAR 0.6, i podem sospesar que necessitarà ajuda de unes lentes en aquest rang de visió. Si parlem de la LIO multifocal, podem observar que hi ha dos pics, aquesta vegada més pronunciat. Un pic en la zona de visió de llunyans (rang +0,50D a 0,00D), ens indica que la AV és LogMAR 0.0 i és la màxima visió. El segon pic que observem, correspon amb el rang de visió intermèdia (-0,50D a -1,50D), encara que la AV és LogMAR 0.2, permetrà als pacients una bona visió, però no perfecta com la visió de llunyans. Finalment, la corba decau per al rang de la visió de propera (-2,00D a -2,50D) i la AV és LogMAR 0.6 – 0.7, això ens indica que no tindrà una bona visió de propera i podrà necessitar ajuda de lentes addicionals. Si comparem ambdues corbes, podem observar que segueixen un patró molt semblant, encara que la LIO multifocal té aquests dos pics més pronunciat per a la visió intermèdia i llunyana. La lent EDOF permet que la progressió d'un foc a l'altre no sigui tan brusca, i proporcionarà millor AV en el rang de distància entre la de llunyans i la intermèdia [27].

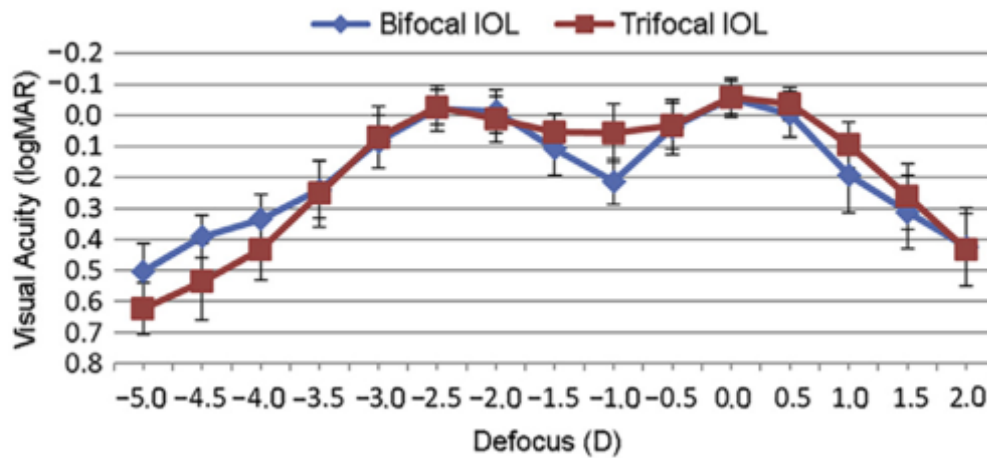


Fig. 11. Curva de desenfoque LIO bifocal comparada con una trifocal^[28].

En la *figura 11* podemos observar el rango va desde +2,00 D hasta -5,00 D. Si valoramos primero la curva de la LIO bifocal, podemos observar dos picos no muy pronunciados pero diferenciados. El primer pico corresponde con 0,00 D y con LogMAR 0.0, esto significa que la AV es máxima para la visión lejana. El segundo pico corresponde con -2,50 D y con LogMAR 0.0, esto significa que la AV para visión próxima es máxima. Estos dos picos corresponden con los dos focos que crea el diseño de la lente. La zona que correspondería con la visión intermedia, vemos que hay un descenso y la AV corresponde con LogMAR 0.2, y podemos saber que la AV no será la máxima. Si nos fijamos en la curva de la LIO trifocal, podemos ver que no tiene dos picos tan pronunciados como la bifocal, aunque sigue un patrón muy similar. Vemos que para la distancia lejana (0,00 D) y para la distancia cercana (-2,50 D) la AV es máxima y corresponde LogMAR 0.00. Entre estos dos picos, observamos que hay un pequeño descenso hacia LogMAR 0.1, corresponde con la media distancia y vemos que la AV no es máxima, pero es mejor que la de las lentes bifocales^[28].

5. COMPLICACIONES DE LAS LENTES INTRAOCULARES

Las lentes intraoculares tienen como desventaja una serie de complicaciones y estas, pueden comprometer la satisfacción del paciente y su comodidad ^[9].

El descentramiento de las LIO puede provocar una disminución de sus propiedades y de su calidad. En términos generales, hay tres factores principales que afectan al mal centrado de estas: cuantos grados se descentra respecto del centro pupilar, el diseño de la LIO y el tamaño de la pupila. Cuando hablamos de las lentes multifocales, las pupilas pequeñas acostumbran a proporcionar peor AV en visión de cerca; y cuando hablamos de lentes monofocales el tamaño de la pupila y el descentramiento no afectan tanto a la AV porque solo tienen un foco. Las LIO multifocales tienen un diseño diferente al de las lentes monofocales, por eso mismo, permiten tener una buena visión en diferentes distancias ^[15].

Otra complicación es la inclinación, cuando mezclamos lentes hidrofílicas con hápticos poco rígidos, estos son muy moldeables y pueden implantarse por una incisión en la córnea muy pequeña. Pero cuando se empieza a desarrollar la contracción de la cápsula del cristalino, hace que estos hápticos no sean resistentes y se incline la LIO ^[15].

Un tamaño inadecuado de la pupila puede ser un factor clave para el mal funcionamiento de la LIO multifocal. Un diámetro pupilar pequeño, hace que haya un baja AV en visión próxima, y un diámetro pupilar grande, hace que aparezcan mayor cantidad de fenómenos fóticos. Proporcionan una mejor calidad los modelos concéntricos, ya que tendrá mejor AV tanto en visión próxima como en visión lejana ^[15].

Por otro lado, tenemos el error refractivo residual. Hay varios factores que influyen en esto como el mal cálculo biométrico, escoger de manera inadecuada la potencia de la LIO, cuando hay una ametropía muy elevada y esto nos limita el cálculo de la LIO o una mala posición de esta.

Para mejorar estos factores, hay dos técnicas principales utilizadas, el LASIK y el cambio de la LIO. El LASIK ha sido el que mejor resultados han proporcionado ya que tiene más eficacia que el otro método y tiene menor riesgo de que se reduzca la AV al paciente ^[15].

Otro efecto adverso a largo plazo muy típico es la opacificación de la cápsula posterior (PCO), esto ocurre por la proliferación celular en la parte posterior de la LIO, empeorando la visión e incrementando los fenómenos fóticos. Para poder solucionar esta complicación se realiza una capsulotomía con láser YAG, consiste en la eliminación de las células que han proliferado en la cápsula posterior de la lente mediante un laser ^[15].

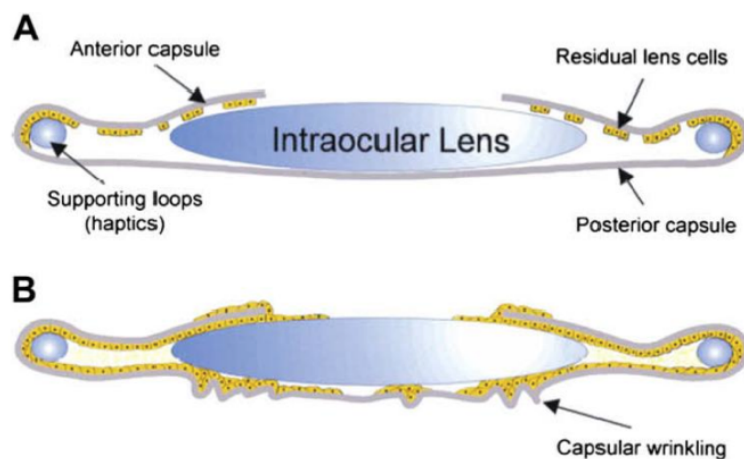


Fig. 12. Proliferación celular en la cápsula posterior ^[29].

Como ya se introdujo al describir las LIOs multifocales, una complicación postoperatoria puede ser la presencia de disfotopsias. Has dos tipos de disfotopsias, las positivas y las negativas.

La disfotopsia positiva (*figura 13*) acostumbra a manifestarse como un arco de luz que imita al borde de la LIO, está cubierto por el borde anterior de la capsula del cristalino ^[1].



Fig. 13. Destellos producidos por implante de LIO ^[30].

La disfotopsia negativa (*figura 14*) acostumbra a manifestarse como un halo o una sombra oscura en forma de media luna ^[1].



Fig. 14. Halos producidos por implante de LIO ^[31].

Estas disfotopsias se relacionan principalmente con las LIO multifocales, ya que por su diseño tienen tendencia a que se produzcan en mayor cantidad. No se recomienda la implantación en pacientes con un diámetro pupilar muy grande en condiciones escotópicas ya que aumentarían las disfotopsias. También ocurre en pacientes que conducen mucho durante la noche ^[15].

Finalmente, hablamos de ojo seco. Es una enfermedad producida por una inestabilidad de la película lagrimal y la insuficiencia de esta, se manifiesta con un malestar ocular. Esta complicación se debe a las incisiones que se realizan al implantar la LIO, que pueden dañar la estructura corneal ^[15].

6. PARTE PRÁCTICA

En la parte práctica se realizará una observación experimental de los focos de una LIO trifocal y la repartición energética en cada uno de ellos. En este caso trabajamos con la LIO *Acriva Trinova*.

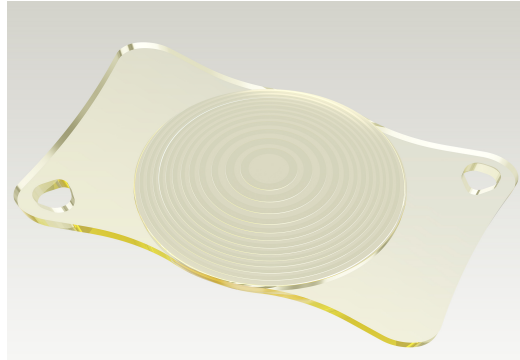


Fig. 15. LIO *Acriva Trinova* [32].

6.1. MONTAJE DEL SISTEMA

Esta LIO se caracteriza por tener en la superficie una red sinusoidal, es decir, en vez de presentar en su patrón difractivo saltos más altos y con bordes más afilados, estos bordes son menores y más redondos [32].

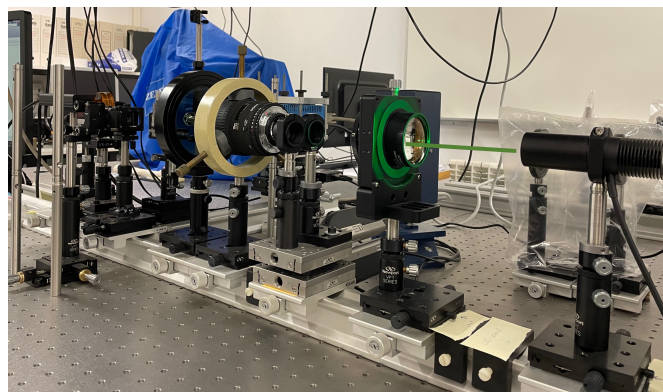


Fig. 16. Primera parte experimental, desde el láser hasta el polarizador (laboratorio del Grupo de investigación en Óptica Aplicada y Procesado de Imagen, UPC) [20].

En la *figura 16*, es la primera parte del montaje y podemos observar que se usa una fuente de luz verde, que es la más eficiente ya que en este punto se produce el punto más alto en visión escotópica y fotópica. Seguidamente vemos que la luz atraviesa una lente, un *pinhole* y un polarizador.

En la *figura 17* se puede observar finalmente, la zona donde está una cubeta con agua y dentro se introduce la lente, hay una cámara (1) que será la que capte las imágenes de los focos, y un modulador (2). En este caso hace la función de espejo y no envía ninguna información, es un dispositivo programable y controlable por ordenador que modifica el frente de onda de luz que recibe. Permite simular ópticamente varios tipos de componentes. En esta experiencia, se utilizó para que actúe, en unas ocasiones como espejo plano, y en otras, como una lente difractiva.

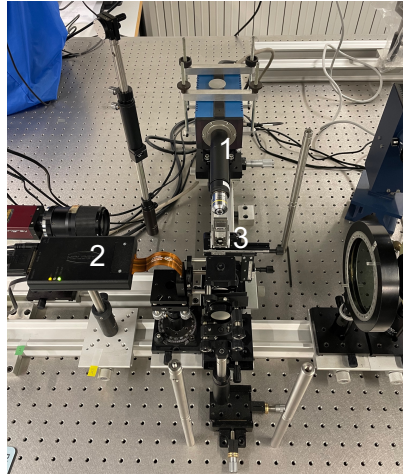


Fig. 17. Segunda parte experimental, zona del ojo artificial, cámara y modulador (laboratorio del Grupo de investigación en Óptica Aplicada y Procesado de Imagen, UPC) [20].

En la primera parte del experimento, introducimos la LIO *Acriva Trinova* en la cubeta (potencia base 20D) y ponemos en marcha todo el sistema. Los pasos van de 0,4 mm, el tiempo de exposición de la cámara son 135ms, el modulador está en función espejo plano y capturamos las imágenes.

6.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA LENTE TRIFOCAL ACRIVA TRINOVA

Los resultados obtenidos con este experimento muestran los tres focos principales, y para poder valorarlos son capturados por una cámara, con un tiempo de exposición de 135 ms. La lente tiene una potencia base de +20D, junto con un patrón difractivo en forma de ondas sinusoidales. Este patrón solo utiliza los órdenes de difracción -1, 0 y +1; que son los que más energía tienen. El modulador en este montaje hace efecto de espejo plano, ya que no queremos que nos modifique el diseño de la lente.

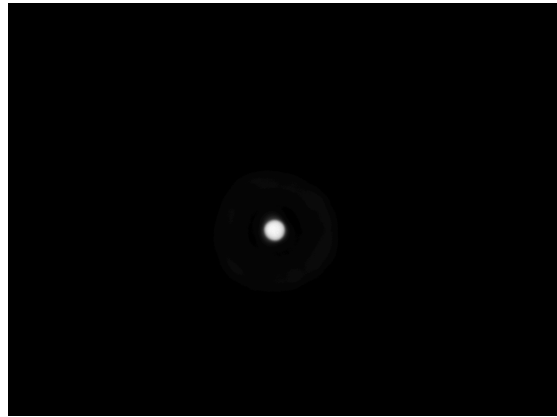


Fig. 18. Imagen del foco de visión lejana.

En la *figura 18* podemos observar el foco de visión lejana, se trata del orden de difracción -1. En esta imagen se puede apreciar un punto brillante en el centro, es la imagen nítida (foco). Se puede intuir un pequeño halo, aunque no se puede apreciar bien porque se trata de una fotografía.

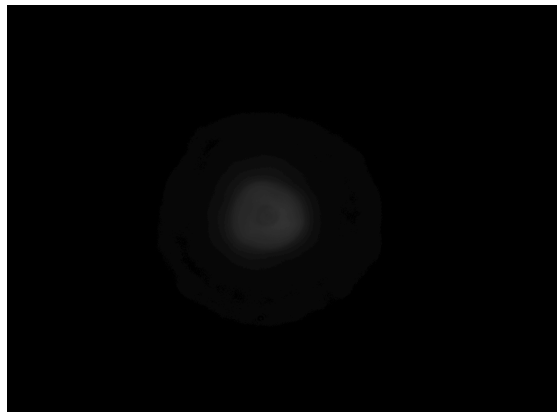


Fig. 19. Imagen de la transición del foco de VL a VI.

En la *figura 19* podemos observar el foco desenfocado de la transición del foco de visión lejana al foco de visión intermedia. En el caso de la transición no se observa ningún punto nítido, se ve un desenfoque, es decir, cuando intentamos enfocar en alguna zona que no corresponda con la distancia fija del foco nítido, se verá desenfocado. Y los halos son mucho más pronunciados. Las condiciones lumínicas son muy importantes para poder apreciar en mayor o menor cantidad estos halos.

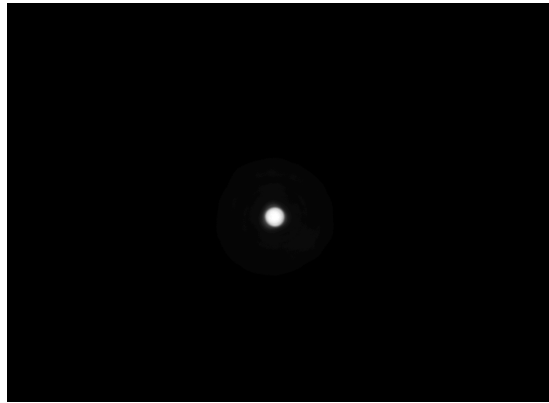


Fig. 20. Imagen del foco de VI.

En la *figura 20* podemos observar el foco de VI, se trata del orden de difracción 0. Existe un punto nítido que correspondería con la imagen que se forma en el foco.

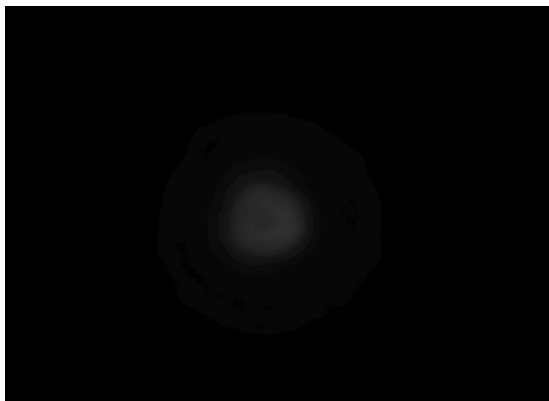


Fig. 21. Imagen de la transición del foco de VI a VC.

En la *figura 21* podemos observar de la transición de el foco de visión intermedia al foco de visión cercana. No se observa ningún punto nítido, pero se pueden ver unos halos alrededor de un punto central borroso. Hay que tener en cuenta que en esta transición no se vería nítido y, por tanto, la AV no sería 20/20.

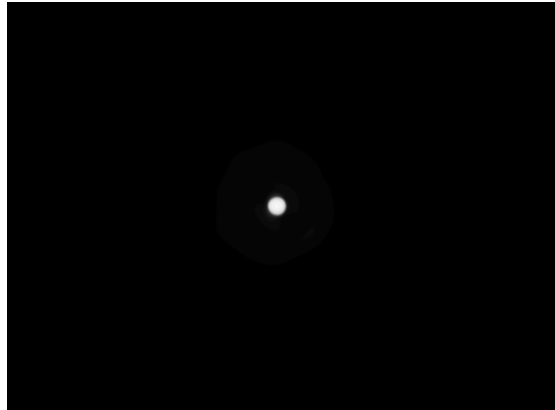


Fig. 22. Imagen del foco en visión cercana.

En la *figura 22* podemos observar el foco de VC, que se trata del orden de difracción +1. Existe un punto nítido central que se corresponde con la imagen nítida, que también corresponde con el punto de mayor AV para VC. En este caso, no se pueden apreciar los halos, ya que las imágenes son aproximadas.

Como conclusión, debemos recalcar que las imágenes son aproximaciones de lo que el paciente percibiría al observar un pequeño objeto circular. Hay que valorar las necesidades del paciente para poder recomendarle o no este tipo de lente. Tendremos que hacer un cálculo exhaustivo del cálculo de la potencia de la lente para que quede lo más emétrope posible sobretodo en la distancia lejana.

Este experimento es para una pupila estándar con una abertura fija de 3mm, y esto también puede disminuir o aumentar la satisfacción del paciente; y variar significativamente los posibles efectos adversos de estas. Trabajar en una condición luminosa fija también hará variar los efectos adversos de las lentes, ya que en condiciones con más iluminación los efectos pasan más desapercibidos que cuando las condiciones de iluminación son menores, los efectos son mucho más agresivos. Estos puntos hay que tenerlos presentes y explicarlos muy bien a los pacientes para evitar insatisfacciones.

6.3. RESULTADOS LIO MONOFOCAL CON RED SINUSOIDAL SIMULADA ÓPTICAMENTE

En la segunda parte del experimento, los resultados obtenidos se capturan con la misma cámara con tiempo de exposición de 135 ms. Utilizamos como lente, una LIO monofocal de la misma potencia base, +20 D. En esta lente le proyectamos con un modulador el patrón difractivo lo más parecido al de la LIO *Acriva Trinova*, de manera que nos proporcione un resultado similar. El patrón trabaja con los mismos ordenes de difracción; -1, 0 y +1. Al ser un experimento simulado, los resultados pueden variar y no ser los mismos, ya que el patrón es propiedad del fabricante y no es accesible.

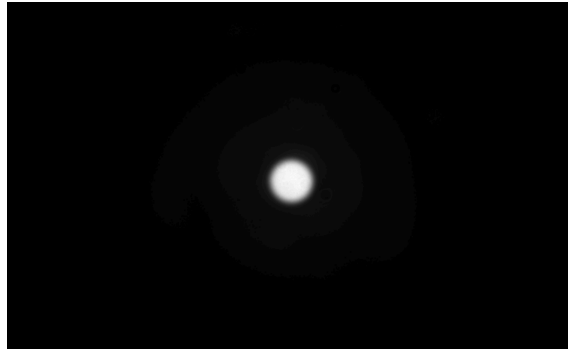


Fig. 23. Imagen del foco de visión lejana.

En la *figura 23* podemos observar el foco de visión lejana, que siempre se encuentra en el orden de difracción -1. Si comparamos esta imagen con la *figura 12*, podemos ver que el foco es más borroso. Al ser una fotografía, el resultado es aproximado, podría ser la resultante de una AV menor a la unidad, es decir, que la calidad visual no sería la misma que con la lente *Acriva*.

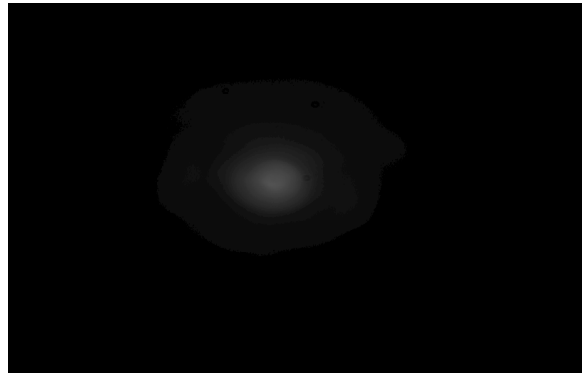


Fig. 24. Imagen de la transición del foco de VL a VI.

En la *figura 24* podemos observar el foco borroso de la transición entre el foco de visión lejana y el foco de visión intermedia. Si lo comparamos con la *figura 13*, observamos que la zona central es bastante más borrosa en esta imagen y que los halos son más pronunciados. Esto se debe a que como no sabemos exactamente como funciona este patrón, es una simulación muy parecida. Hay que añadir que, si nos ponemos a la misma distancia a la que esta sacada esta imagen, la AV no sería buena y deberíamos encontrar el punto cercándonos un poco para poder ver nítido.

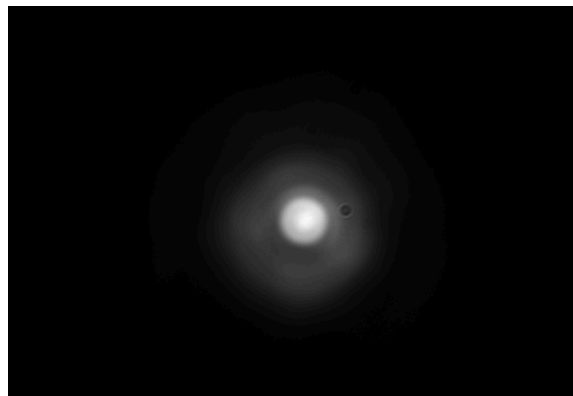


Fig. 25. Imagen del foco de VI.

En la *figura 25* podemos observar el foco de visión intermedia, que siempre se encuentra en el orden de difracción 0. Esta distancia siempre produce más efectos adversos que las demás ya que hay más dificultad para su calibración, dependiendo de las distancias habituales de trabajo de sus usuarios. Por eso la AV será más baja y sus efectos adversos más pronunciados.

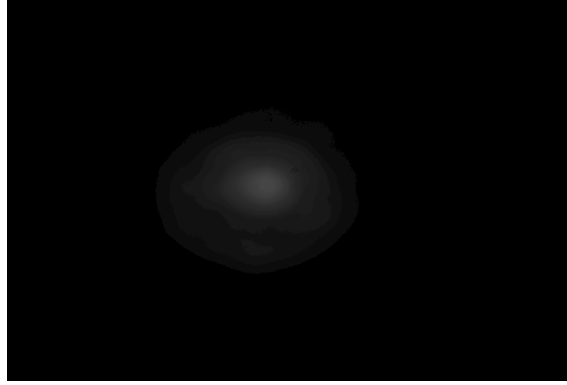


Fig. 26. Imagen de la transición del foco de VI a VC.

En la *figura 26* podemos observar la transición entre el foco de visión intermedia y el foco de visión cercana. Es un punto donde se acumulan las reparticiones energéticas entre los tres puntos y ninguna de ellas se aprecia nítida, aunque si un poco más pronunciada la del foco que se formará en la próxima imagen (foco VC). En este punto, los halos son mucho más pronunciados que si lo comparamos con la *figura 15*.

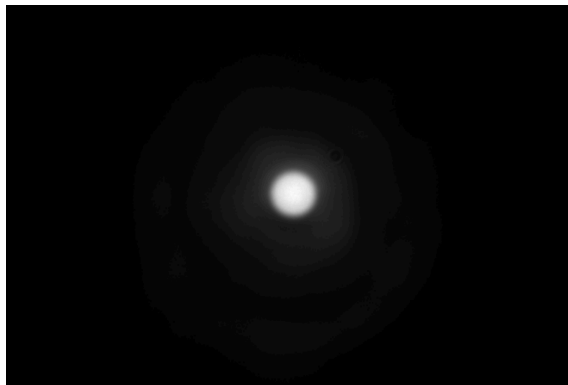


Fig. 27. Imagen del foco en visión cercana.

En la *figura 27* podemos observar el foco de visión cercana, que siempre se encuentra en el orden de difracción +1. En este punto la AV debería de ser máxima (20/20) pero, se puede apreciar que el punto central no acaba de ser nítido y podría afectar a la AV y a la comodidad. Si lo comparamos con la *figura 16*, el foco es mucho más nítido y se aprecian menores halos alrededor.

Como conclusión de esta segunda parte del experimento, se ha podido observar experimentalmente la formación de las imágenes de la lente trifocal, con tres focos claramente diferenciados y fases de transición intermedias con imágenes borrosas. Hay que recalcar que la simulación es aproximada ya que se ha intentado reproducir con un simulador el patrón sinusoidal que caracteriza la lente experimental. Por eso mismo, las imágenes difieren de las primeras porque es difícil saber exactamente como es el primer patrón y reproducirlo. Se sigue trabajando en los ordenes de difracción más energéticos, que son el -1, 0 y +1.

Los halos y posibles efectos adversos que se puedan producir son mucho más pronunciados debido a lo que hemos comentado anteriormente, gracias al patrón sinusoidal, y debido a la suma de la energía (luz) repartida en cada uno de los focos.

Las imágenes tomadas, no tienen en cuenta las condiciones de iluminación que nos podemos encontrar en la vida real, ya que se han capturado en unas condiciones estándares y fijas. Igualmente, una luz verde (aproximadamente 550 nm) y no tiene en cuenta las demás longitudes de onda del espectro visible.

La zona donde esta la cubeta con la lente artificial tiene una apertura fija (pupila de entrada) y esto también limita a diferentes aperturas de entrada. Esto deberá de ser un punto clave cuando escojamos al paciente para implantarle la LIO, ya que puede producir más fenómenos adversos.

7. CONCLUSIONES

Primero de todo comentar que las LIO son una solución relativamente nueva para sustituir el cristalino en operaciones de cataratas, aunque en los últimos años han estado en pleno desarrollo y mejora, ya que cada vez las necesidades visuales son mayores y no solo se utilizan en cirugías de cataratas, sino que en cirugías refractivas.

Si hablamos de lentes monofocales, hay que tener en cuenta que la corrección será solo en visión lejana, y se necesitará una posible ayuda de gafas para tareas en visión intermedia y próxima.

Las lentes multifocales, están en pleno desarrollo como ya he comentado anteriormente, ya que a medida que la sociedad va creciendo, una mayor independencia de las gafas es necesaria para seguir con el ritmo de vida necesario.

Para escoger la lente ideal, hay que seguir una serie de pautas como la valoración de la personalidad, aficiones, posibles patologías oculares que padezca o haya padecido, diámetro pupilar, sensibilidad al contraste y valorar el mejor tipo de lente para cada caso.

Hay que tener en cuenta y explicarle al paciente una serie de efectos adversos que podrían padecer. Por eso mismo, la personalidad es muy importante en este caso, sino se quedará muy decepcionado e insatisfecho si no cumple con sus expectativas.

En las curvas de desenfoque se puede valorar clínicamente la posible AV que tendrá el paciente y así ver cual será la mejor opción para él. Como conclusión podemos decir la LIO trifocal proporcionará una buena visión en distancias lejanas, intermedias y cercanas si comparamos con otro tipo de diseños. Las EDOF tendrían la mejor AV en todas las distancias ya que el rango de visión se extiende, aunque en distancias cercanas posiblemente se necesitará la ayuda de gafas.

Finalmente, en la parte experimental hemos podido comparar dos lentes, una trifocal y una monofocal con el patrón sinusoidal simulado. Hemos observado unos halos que podrían ser los que el paciente percibiría, pero no son del todo concluyentes ya que el experimento se ha realizado con una apertura pupilar fija (3 mm) y con unas condiciones de iluminación estáticas. El mismo tipo de experimento se ha realizado con una lente monofocal con un patrón inducido por un modulador, y se aprecian una mayor intensidad de halos.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bellucci, R. (2013). Intraocular Lenses: Material, Optics, Haptics, Design and Aberration. En J. Güell (Ed.), *Cataract* (Vol. 3, págs. 38-55). Barcelona: Karger.
- [2] Lisa, D. C. (05 de Julio de 2017). <https://es.discovericl.com>. Recuperado el Marzo de 2021, de <https://es.discovericl.com/blog/lentes-intraoculares-corrige-la-miopia-hipermetropia-y-astigmatismo>.
- [3] Liu, X., Song, X., Wang, W., Zhu, Y., Lyu, D., Shentu, X., ... Yao, K. (23 de Septiembre de 2019). Comparison of the Clinical Outcomes between Echelette Extended Range of Vision and Diffractive Bifocal Intraocular Lenses. *Journal of Ophthalmology*, 2019, 1-9.
- [4] Martínez-Plaza, E., López-Miguel, A., Holgueras, A., Barraquer, R. I., Alió, J. L., & Maldonado, M. J. (Abril de 2020). Phakic Intraocular Lenses: Recent Advances and Innovations. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 95(4), 178-187.
- [5] Sheppard, A. L., Bashir, A., Wolffsohn, J. S., & Davies, L. N. (Noviembre de 2010). Accommodating intraocular lenses: a review of design concepts, usage and assessment methods. *Clinical and Experimental Optometry*, 93(6), 441-452.
- [6] Dyrda, A., Martínez-Palmer, A., Martín-Moral, D., Rey, A., Morilla, A., Castilla-Martí, M., & Aronés-Santivañez, J. (25 de Junio de 2018). Clinical Results of Diffractive, Refractive, Hybrid Multifocal, and Monofocal Intraocular lenses. *Journal of Ophthalmology*, 2018, 1-12.
- [7] Yeu, E., & Cuozzo S. (31 de Agosto de 2020). Matching the Patient to the Intraocular Lens. Preoperative Considerations to Optimize Surgical Outcomes. *Ophthalmology*.
- [8] Martínez, J. (17 de Febrero de 2017). <https://www.qvision.es>. Recuperado el Marzo de 2021, de <https://www.qvision.es/blogs/javier-martinez/2013/02/17/curva-de-desenfoque-de-una-lente-intraocular/>

- [9] Breyer, D. R. H., Kaymak, H., Ax, T., Kretz, F. T. A., Auffarth, G. U., & Hagen, P. R. (Agosto de 2017). Multifocal Intraocular Lenses and Extended Depth of Focus Intraocular Lenses. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, 6, 339-349.
- [10] Rampat, R., & Gatinel, D. (25 de Septiembre de 2020). Multifocal and Extended Depth-of-Focus Intraocular Lenses in 2020. *Ophthalmology*(20), 1-22.
- [11] Muñoz, M., Garzón, N., & Fernández, A. (Marzo de 2009). Corrección de la presbicia con lentes intraoculares multifocales. *Gaceta Óptica*(435), 36-42.
- [12] Plaza-Puche, A. B., & Alio, J. L. (27 de Abril de 2016). Analysis of Defocus Curves of Different Modern Multifocal Intraocular Lenses. *European Journal of Ophthalmology*, 16, 412-417.
- [13] Constán, R. (20 de Noviembre de 2020). <https://rubenconstan.es>. Recuperado el Junio de 2021, de <https://rubenconstan.es/salud-visual/lente-intraocular/>
- [14] Buckhurst, P. J., Wolffsohn, J. S., Naroo, S. A., Davies, L. N., Bhogal, G. K., Kipioti, A., & Shah, S. (Junio de 2012). Multifocal Intraocular Lens Differentiation Using Defocus Curves. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 53(7), 3920-3926.
- [15] Alio, J. L., Plaza-Puche, A. B., Fernández-Buenaga, R., Pikkell, J., & Maldonado, M. (Octubre de 2017). Multifocal Intraocular Lenses: An overview. *Survey of Ophthalmology*, 62(5), 611-634.
- [16] Boucher, W., Velghe, S., Wattellier, B., & Gatinel, D. (2008). Intraocular lens characterization using a quadric-wave lateral shearing interferometer wave front sensor. In A. Duparré & R. Geyl (Eds.), *Optical Fabrication, Testing, and Metrology III*. SPIE.
- [17] Artigas, J. M., Menezo, J. L., Peris, C., Felipe, A., & Díaz-Llopis, M. (2007). Image quality with multifocal intraocular lenses and the effect of pupil size: comparison of refractive and hybrid refractive-diffractive designs: Comparison of refractive and hybrid refractive–diffractive designs. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 33(12), 2111–2117.

- [18] Kazuya Yamashita, K. H. (Junio de 2020). Toric Lentis Mplus intraocular lens opacification: A case report. *American Journal of Ophthalmology Case Reports*, 18(100672).
- [19] Wood, L. J. (Julio de 2020). Binocular Visual Function in a Pre-Presbyopic Patient with Uniocular Cataract Undergoing Cataract Surgery with a Multifocal Intraocular Lens. *Clinical Ophthalmology*, 14, 2001-2009.
- [20] Vega, F., Valentino, M., Rigato, F., & Millán, M. S. (1 de Junio de 2021). Optical design and performance of a trifocal sinusoidal diffractive intraocular lens. *Biomedical Optics Express*, 12(6), 3338-3351.
- [21] Pepose, J. S., Burke, J., & Qazi, M. A. (Enero de 2017). Benefits and Barriers of Accommodating Intraocular Lenses. *Current Opinion in Ophthalmology*, 28(1), 3-8.
- [22] Peris-Martínez, C., Díez-Ajenjo, A., & García-Domene, C. (Enero de 2013). Short-term results with the Synchrony lens implant for correction of presbyopia following cataract surgery. *Sociedad Española de Cirugía Ocular Implanto-Refractiva*, 4, 137-143.
- [23] de Luis Eguileor, B., Martínez-Indart, L., Martínez Alday, N., Sacristán Egüén, C., & Cuadros Sánchez, C. (5 de Junio de 2020). Differences in intermediate vision: Monofocal intraocular lenses vs. monofocal extended depth of focus intraocular lenses. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*.
- [24] Kohnen, T., & Suryakumar, R. (Febrero de 2020). Extended depth-of-focus technology in intraocular lenses. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 46(2), 298-304.
- [25] Medgadget Editors (19 de Julio de 2016). <https://www.medgadget.com>. Recuperado el Junio de 2021, de <https://www.medgadget.com/2016/07/tecnis-symphony-intraocular-lenses-wide-focal-range-cataracts-approved-fda.html>

- [26] Martínez, J. (17 de Febrero de 2017). <https://www.qvision.es>. Recuperado el Marzo de 2021, de <https://www.qvision.es/blogs/javier-martinez/2013/02/17/curva-de-desenfoque-de-una-lente-intraocular/>
- [27] Savini, G., Schiano Lomoriello, D., Balducci, N., & Barboni, P. (1 de Abril de 2018). Visual Performance of a New Extended Depth-of-Focus Intraocular Lens Compared to a Distance-Dominant Diffractive Multifocal Intraocular Lens. *Journal of Refractive Surgery*, 34(4), 228-235.
- [28] Jonker, S., Bauer, J. N., Makhotkina, N., & Berendschot, T. (1 de Agosto de 2015). Comparison of a trifocal intraocular lens with a 3.0 D bifocal IOL: Results of a prospective randomized clinical trial. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, 41(8), 1631-1640.
- [29] Amorós, J. G. (28 de Agosto de 2015). <https://josegutierrezamoros.es>. Recuperado el Marzo de 2021, de <https://josegutierrezamoros.es/opacificacion-de-la-capsula-posterior/>
- [30] Admin. (24 de Noviembre de 2017). <https://www.tekozaoptom.co.za>. Recuperado el Junio de 2021, de <https://www.tekozaoptom.co.za/2017/11/24/glare/>
- [31] Stephenson, M. (20 de Marzo de 2008). How to Satisfy the Unhappy IOL Patient. *Review of Ophthalmology*.
- [32] Biotechnology, V. (10 de Febrero de 2017). <https://eyewire.news>. Recuperado el Mayo de 2021, de <https://eyewire.news/articles/vsy-biotechnology-announce-the-launch-of-the-acrivaud-trinova-trifocal-iol/>