



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado

Comparativa de parámetros biométricos tras cirugía de catarata con diferentes equipos de biometría óptica.

Comparision of biometric parameters after cataract surgery with different optical biometric equipment.

Autor

José Alejandro Bruñen Campos

Directores

Francisco Javier Castro Alonso

Rubén Hernández Vian

Ponente

Francisco Javier Segura Calvo

Facultad de Ciencias

Grado en Óptica y Optometría

Curso 2022/2023

ÍNDICE

Lista de abreviaturas	I
1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. Cristalino.....	2
2.2. Cataratas.....	2
2.3. Tratamiento de las cataratas	2
2.4. Biometría ocular	2
2.5. Tipos de biometría y tecnología empleada.....	3
2.5.1. Biometría ultrasónica	3
2.5.2. Biometría de coherencia óptica.....	4
2.6. Fórmulas empleadas para el cálculo de LIOs.....	5
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	6
3.1. Hipótesis	6
3.2. Objetivos	6
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
4.1. Muestra poblacional del estudio.....	7
4.2. Criterios de inclusión y exclusión.....	7
4.3. Protocolo preoperatorio	7
4.3.1. Auto kerato-refratómetro	7
4.3.2. Microscopia endotelial	7
4.3.3. Exploración del segmento posterior	8
4.3.4. Biometría.....	8
4.4. Variables empleadas para el estudio.....	11
4.5. Análisis estadístico	11
5. RESULTADOS	12
6. DISCUSIÓN.....	17
7. CONCLUSIONES.....	19
8. BIBLIOGRAFÍA.....	20

Lista de abreviaturas

ACD	Profundidad de cámara anterior
AL	Longitud axial
CCT	Espesor central de la córnea
K media	Queratometría media
LIO	Lente intraocular
LT	Espesor del cristalino
OCT	Tomografía de Coherencia Óptica
OLCR	Reflectometría Óptica de Baja Coherencia
PCI	Interferometría de Coherencia Parcial o Baja Coherencia
R₁	Radio de curvatura más plano
R₂	Radio de curvatura más curvo
SD-OCT	Tomografía de Coherencia Óptica Spectral Domain
SS-OCT	Tomografía de Coherencia Óptica Swept-Source
WTW	Distancia blanco-blanco

1. RESUMEN

Objetivo: Comparar las medidas biométricas obtenidas por el equipo ARGOS respecto a otros biómetros basados también en Tomografía de Coherencia Óptica Swept-Source (SS-OCT), como el IOLMaster 700 y el Anterior.

Material y métodos: Para este estudio se diseñaron dos grupos en los que se compartieron los mismos casos, pero con diferente número de ojos. En el grupo 1 se escogieron 124 ojos de 71 pacientes para la comparativa de Argos vs IOLMaster, y en el grupo 2 se seleccionaron 308 ojos de 205 pacientes para la comparativa Argos v IOLMaster. A cada paciente se le realizó una evaluación preoperatoria en la que incluía la medida de la refracción objetiva, microscopía endotelial, evaluación del segmento anterior y posterior de ojo y biometría óptica. Para este estudio se centró en las medidas tomadas por tres biómetros que utilizan la tecnología SS-OCT: Argos, IOLMaster 700 y Anterior.

Resultados: La edad media de los pacientes en el grupo 1 es de 74,4 años, y el porcentaje de hombres es de 40,7% y el de mujeres un 59,3%. En el grupo 2 la edad media es de 73,3 años el porcentaje de hombres es 45,5% y un 54,5% son mujeres. Todas las variables fueron estadísticamente significativas ($p < 0,05$). En el parámetro de la longitud axial (AL) se observó que Argos daba medidas mayores en ojos cortos y medidas menores en ojos largos ($23,75 \pm 1,56$ mm) en comparación a IOLMaster y Anterior. En las medidas queratométricas, donde se analiza el radio de curvatura más plano (R_1) y el radio de curvatura más curvo (R_2), se demostró que el Anterior es el que toma menores valores de R_1 ($7,70 \pm 0,25$ mm) y a la vez da mayores valores de R_2 ($7,61 \pm 0,25$ mm). En la medida del espesor central de la córnea (CCT) se observó que el IOLMaster ($0,540 \pm 0,41$ mm) daba valores menores que el Anterior ($0,543 \pm 0,39$ mm). En el caso de la profundidad de la cámara anterior (ACD) y el espesor del cristalino (LT) se corroboró que el IOLMaster ($3,07 \pm 0,41$ mm para la ACD y $4,57 \pm 0,38$ mm para la LT) da valores menores respecto a los otros biómetros, siendo el LT el que más diferencia tiene de los dos parámetros. En la comparativa de la distancia blanco-blanco (WTW) se demostró que el Anterior ($11,60 \pm 0,43$ mm) tomaba valores significativamente menores que los otros dos aparatos.

Conclusión: Al comparar cada una de las medidas biométricas de los tres equipos se encontraron diferencias en sus valores. Sin embargo, la gran mayoría de los parámetros (a excepción del R_1 entre el Anterior e IOLMaster, el LT del Anterior e IOLMaster y la WTW del Anterior frente a los otros biómetros) no aportaban diferencias significativamente clínicas.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Cristalino

El cristalino es una estructura refractiva del globo ocular, que se comporta como una lente transparente, biconvexa, sin vasos ni terminaciones nerviosas (avascular), insertado en el cuerpo ciliar por las fibras de la zónula o ligamento suspensorio de cristalino. Separa la cámara del humor vítreo del segmento anterior, permitiendo la focalización de las imágenes sobre la retina. El poder dióptrico del cristalino ronda las 15-20D cuando el ojo se encuentra desacomodado, aumentando hasta las 30D en estado acomodativo.

El paso de las décadas no solo conlleva el envejecimiento de cada una de las estructuras del cuerpo, sino también supone la pérdida de capacidad acomodativa del cristalino. Al principio, las proteínas del cristalino poseen una estructura lineal, sin embargo, al agruparse unas con otras, producen la aparición de una “neblina” en cada una de las capas de la lente.¹

2.2. Cataratas

La opacificación o pérdida de transparencia de la lente natural que se encuentra dentro del globo ocular (cristalino) se denomina catarata.¹ Existen muchos tipos de cataratas, clasificadas según su etiología, estado de madurez, edad de aparición y su localización. De todas las existentes, la más común es la catarata senil, es decir, aquella que está relacionada con la edad. Son causadas por la descomposición y aglutinamiento de las proteínas que se encuentran en el cristalino y van produciendo una opacificación por su medio.²

2.3. Tratamiento de las cataratas

Actualmente, las cataratas son la causa principal de pérdida de visión reversible en el mundo. Desde hace más de 3000 años se ha investigado y perfeccionado la extracción de las cataratas mediante cirugía intraocular.³ Aunque se tratan quirúrgicamente cuando los pacientes empiezan a mostrar síntomas visuales.¹

El estado de afaquia supone la ausencia de cristalino o de una lente en el saco capsular. En el caso de la pseudofaquia, el cristalino ha sido sustituido por una lente intraocular (LIOs).⁴

Tras la Segunda Guerra Mundial, el oftalmólogo Harold Ridley diseñó la primera LIO, compuesta por Polimetilmetacrilato (PMMA), realizándose el primer implante de una LIO en noviembre de 1949. Desde entonces, las diferentes técnicas de cirugía han mejorado exponencialmente, reduciendo el tamaño de la incisión.³

Durante la cirugía, se anestesia al paciente para que no sienta las incisiones ni le moleste la intervención. Existen diferentes tipos anestésicos: tópica (solo el globo ocular), peribulbar o retrobulbar y sedación completa. Siendo la más común, la anestesia tópica.³

Actualmente, la facoemulsificación es la técnica quirúrgica más empleada en la cirugía de catarata dado a su protocolo intraoperatorio innovador y por sus satisfactorios resultados visuales postquirúrgicos.

2.4. Biometría ocular

La biometría ocular es una prueba diagnóstica que se emplea para medir con precisión ciertos parámetros oculares, como la AL del globo ocular, la queratometría (K) o curvatura corneal, la ACD, definida como la distancia entre la cara posterior de la córnea, donde se encuentra el endotelio, hasta la cara anterior

del cristalino.^{5,6} Existen diferentes tipos y modelos de biómetros, los cuales miden todos los parámetros anteriores e incluso otros más, como la WTW (mide el diámetro horizontal del iris visible), el LT e incluso una topografía de la cara anterior de la córnea.

El principal objetivo de esta prueba es emplear cada uno de los parámetros medidos para calcular la potencia de la LIO correctora. El cálculo de la LIO intenta predecir la mejor potencia para que el paciente se quede emétrope ya que al extraer el cristalino, el globo ocular se queda afáquico y con un gran defecto refractivo.⁵ Además, es de gran ayuda para el diagnóstico de distintas cataratas, ya que, dependiendo de la densidad de la misma, se tendrá una mayor o menor precisión, según el tipo de biómetro que se emplee. De la misma manera, también se emplea para el proceso de pre y postoperatorio tanto en cirugía refractiva como en el control y seguimiento de miopía magna.^{5,7}

2.5. Tipos de biometría y tecnología empleada

Las lentes calculadas por los propios biómetros son personalizadas para cada paciente, dependiendo de los parámetros tomados y la fórmula seleccionada para su diseño.⁵

Hoy en día, se emplean dos técnicas instrumentales para la toma de medidas de parámetros oculares necesarios para el cálculo de la LIO. Aunque el objetivo de las dos es el mismo, presentan diferencias notables entre ellas.

2.5.1. Biometría ultrasónica

Los ultrasonidos son ondas acústicas/sonoras de alta frecuencia que se encuentran por encima del espectro audible del ser humano, siendo aproximadamente 20.000 Hz. Los ultrasonidos son capaces de atravesar los tejidos y sistemas que se encuentran en el cuerpo, dándole más usos aparte del campo de la optometría y la oftalmología. Conforme las ondas van pasando a diferentes medios, es decir, con variaciones en el índice de refracción, se modifica la velocidad de transmisión. Al chocar una onda con un tejido, esta producirá un rebote o “eco”, por el cual, la sonda lo captará y mediante una gráfica se puede estimar la longitud de cada una de las estructuras registradas y el grado de índice de refracción que tiene cada uno de los medios que ha atravesado.⁸

Los biómetros que emplean este tipo de tecnología, contienen en una base de datos, distintos tipos de fórmulas para el cálculo de las LIOs.⁵

Actualmente, existen muchas empresas que diseñan diferentes modelos de biómetros ultrasónicos, los cuales se emplean en el ámbito clínico y hospitalario. Por ejemplo, el biómetro Biómetro Ocuscan® RxP de la casa Alcon (Figura 1).



Figura 1. Biómetro Ocuscan® RxP de Alcon.⁹

Con el tiempo, se han desarrollado diversos métodos para la toma de las medidas, siendo los más significativos:

- Método de contacto o aplanación:
 - ◆ El paciente deberá estar sentado en posición vertical y con la cabeza erguida e inmóvil.
 - ◆ Se aplicará anestésico tópico, para que el paciente no muestre molestias o se mueva de manera repentina durante la prueba.

- ◆ La sonda del biómetro se colocará en posición perpendicular al ápex corneal y se apoyará suavemente en el centro de la córnea, todo con el objetivo de no causar una laceración corneal o falsear los resultados obtenidos.^{5,7,8}
- ◆ El método de aplanación es el más empleado en la cirugía de cataratas.
- Método de inmersión:
 - ◆ El paciente se tumbará en una camilla y se instilará anestésico tópico al ojo que se vaya a evaluar.
 - ◆ En este caso, se aplicará un gel dentro de un objeto cilíndrico de plástico por el cual se introducirá la sonda.
 - ◆ Al colocar el cilindro sobre la córnea, ésta se mantendrá en contacto con la sonda, permitiendo realizarse las medidas requeridas.^{5,7,8}

Como todo instrumento, existen una serie de factores que inducen a la formación de errores en la medida, siendo los más significativos: la ganancia, el ángulo de incidencia de la sonda, la uniformidad de interfase y el método de medida.^{7,8,11}

Aunque sea un método de medida preciso y seguro, se debe tener en cuenta la experiencia del profesional que la vaya a realizar. Además, pueden existir ciertas diferencias con respecto a biómetros que empleen otros tipos de tecnologías; teniendo en cuenta que el biómetro ultrasónico mide desde la cara anterior de la córnea hasta la membrana limitante interna de la retina.^{5,7}

2.5.2. Biometría de coherencia óptica

Los ultrasonidos llevan décadas empleándose en biometría ocular. Sin embargo, para la toma de las diferentes medidas del globo ocular, la sonda se debe mantener en contacto con la córnea, lo que supone una mayor probabilidad de exposición a heridas corneales o infecciones por microorganismos que se encuentren en la propia sonda. En la década de los 80 del siglo pasado, se empezaron a experimentar con diferentes tecnologías no invasivas que permitían una visualización in vivo de las distintas estructuras oculares (Figura 2). A partir de este momento, diferentes laboratorios empezaron a desarrollar distintos instrumentos ópticos menos invasivos: Heidelberg, introduciendo la tomografía confocal; Laser Diagnostic Technologies (LDT), con la tomografía por polarimetría; Zeiss, desarrollando la tomografía de coherencia óptica (OCT).¹⁰

A finales de los años 90 se empezaron a comercializar las primeras versiones de biómetros ópticos, basados en la Interferometría de Coherencia Parcial o Baja Coherencia (PCI), siendo Zeiss uno de los primeros, sacando al mercado el IOLMaster 500. Este dispositivo, incorpora la queratometría automática de los meridianos principales, la profundidad de cámara anterior, la longitud axial del globo ocular, la distancia blanco-blanco o limbo-limbo. Con el paso de los años, las casas Oculus y Nidek se sumaron al desarrollo de las tecnologías PCI.^{10,11,12}

En la primera década se desarrolló también la tecnología por Reflectometría Óptica de Baja Coherencia (OLCR), que obtiene directamente todas las medidas axiales del ojo. Los dispositivos más representativos y aún se emplean en la actualidad fueron el Biómetro Lenstar LS900 y el Biómetro Galilei G6.^{10,12}

En la primera década del 2000 la empresa Zeiss decidió mejorar la tecnología del biómetro IOLMaster 500, e introduce en el 2014 el IOLMaster 700, primer equipo basado en OCT Swept-Source (SS-OCT). Una de sus principales características es su alta capacidad de penetración en las estructuras del ojo, incluso en cataratas muy avanzadas, gracias al empleo de un haz infrarrojo con longitudes de onda superiores a los 1000 nm. Otros instrumentos que utilizan este mismo tipo de tecnología y se han

desarrollado en la actualidad serían: el biómetro Argos de la Alcon, y el OCT-SA y biómetro Anterior de Heidelberg.^{10, 12, 13}

En la segunda década del 2000, Heidelberg comercializa su OCT Spectralis. Este se caracteriza por combinar la adquisición de imágenes del fondo del ojo mediante un oftalmoscopio confocal de barrido láser, todo ello mientras toma diferentes secciones transversales de la retina, empleando la Tomografía de Coherencia Óptica Spectral-Domain (SD-OCT). También está la posibilidad de incorporar un eye-tracker para pacientes con problemas de motilidad ocular.^{10, 14, 15}

Tecnología	Instrumento	Fabricante	Longitud de onda (nm)
PCI	IOLMaster 500	Zeiss	780
	Pentacam AXL	Oculus	880
	AL Scan	Nidek	830
OLCR	Lenstar LS900	Haag Streit	820
	Aladdin	Topcon	830
	Galilei G6	Ziemer	880
OCT Swept source	IOLMaster 700	Zeiss	1055
	Argos	Movu/Alcon	1050
	OA2000	Tomey	1060
	Anterior	Heidelberg	1300
	Eyestar	Haag Streit	1060
OCT espectral	Revo NX	Optopol	840

Figura 2. Comparativa biométrica.¹⁶

2.6. Fórmulas empleadas para el cálculo de LIOs

Gran parte de los estudios en los que se valoran los errores refractivos residuales tras la cirugía de catarata, se centran en la precisión del cálculo de la LIO.

Actualmente, el factor más importante en los errores del cálculo biométrico es la posición efectiva de la lente (ELP), que es el único dato que no podemos medir preoperatoriamente, y corresponde a la distancia entre la córnea y la posición en la que teóricamente va a quedar posicionada la LIO en el saco capsular.¹⁷

Independientemente del tipo de biómetro que se emplee, tendrán en su base de datos una serie de fórmulas que permitan el cálculo de la LIO. Principalmente, se pueden clasificar según la generación en la que se diseñaron y los parámetros que tienen en cuenta para el cálculo (Figura 3).^{18, 19}

Las fórmulas de 1ª generación se basan en el cálculo de la potencia de las lentes a partir de las ecuaciones de Gauss en un sistema paraxial. La ELP era un factor constante. Actualmente, se encuentran en desuso.^{18, 19}

Las fórmulas de 2ª generación se caracterizan porque la ELP era función de la AL, como las fórmulas de Binkhorst y Hoffer. En estos momentos, las fórmulas que se utilizaban más frecuentemente seguían siendo las empíricas, como la SRK y SRK II.¹⁸

A partir de la 3ª generación se empieza a predecir la ACD postoperatoria, teniendo en cuenta la AL y la K. Esta generación supuso el diseño de nuevas fórmulas de vergencia de lente fina (Hoffer-Q, Holladay I y SRK/T).^{18, 20}

En las siguientes generaciones se tuvieron en cuenta más variables, y se introducen los parámetros ACD (Haigis) y LT (Olsen). En el caso de Holladay II, incluye hasta 7 variables (AL, Kmedia, diámetro horizontal de iris visible, ACD, LT, Rx, edad). Otra de las fórmulas más comunes en la actualidad es Barrett Universal II, que se trata de una fórmula de vergencia de lente gruesa, que utiliza también trazado de rayos.^{18,19} Además, existen otras fórmulas modernas para tener en cuenta en el cálculo de la potencia de la LIO en la cirugía de catarata y que se basan en:

- La refracción preoperatoria del paciente (ORA).
- Inteligencia artificial (Hill-RBF).
- Fórmulas teóricas que se pueden combinar con inteligencia artificial (Ladas SF 2.0).
- Trazado de rayos, empleando fórmulas teóricas (Olsen).^{18,20}

Basado en refracción	Basado en datos		Mixto	Fórmulas teóricas		
	Regresión	Inteligencia artificial	Fórmula teórica +Inteligencia artificial	Vergencias		Trazado de rayos
				Vergencia (lente fina)	Vergencia (lente gruesa)	
ORA	SRK SRK II	FullMonte-IOL Hill-RBF Karmona	Ladas SF 2.0. BART	Castrop Haigis Holladay 1 Holladay 2 Hoffer Q Hoffer QST Kane Ladas SF 1.0. Panacea SRK-T T2 VRF-G	Barrett EVO Näeser PEARL-DGS Näeser	Olsen Okulix CSO

Figura 3. Posible espectro de uso de las fórmulas actuales según la longitud axial.¹⁷

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. Hipótesis

La utilización de diferentes tecnologías ópticas basadas en SS OCT, como IOL Master 700, Argos y Anterion, en la evaluación de la biometría ocular, puede suponer diferencias en la medida de las distintas variables biométricas implicadas en el cálculo de la potencia de LIOs.

3.2. Objetivos

El objetivo principal de este estudio es comparar las diferencias en las medidas biométricas del sistema Argos, cuya característica más relevante es que emplea la medida de cada segmento ocular con su propio índice de refracción, respecto a otro biómetro también basado en SS OCT, IOL Master 700 (que se considera el estándar de la biometría óptica), así como con el sistema de OCT de segmento anterior y biómetro Anterion.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Muestra poblacional del estudio

El estudio se llevó a cabo en la Unidad de Función Visual del servicio de Alta Resolución de Cirugía de Catarata (ARCCA) en el Hospital Provincial de Nuestra Señora de Gracia en Zaragoza. La muestra que se seleccionó para el estudio fueron pacientes que iban a ser intervenidos de cirugía de catarata en el área de oftalmología a los que posteriormente, se les implantaría una LIO en el ojo operado. Todas las pruebas se realizaron durante el examen preoperatorio a la cirugía de catarata, informándoles de cada una de ellas y de su objetivo. Al no poder haberse realizado todas las medidas de los pacientes con los tres biómetros durante el proceso de preoperatorio, se crearon dos grupos con diferentes números de ojos. En el grupo 1 se introdujeron 124 ojos de 71 pacientes para la comparativa de Argos vs Anterior y de Anterior vs IOL Master, mientras que en el grupo 2 se seleccionaron un total de 308 ojos de 205 pacientes para la comparativa de Argos vs IOLMaster.

4.2. Criterios de inclusión y exclusión

Criterio de inclusión:

- Pacientes diagnosticados de cataratas con antelación por un oftalmólogo y debían estar inscritos en la lista de espera quirúrgica.
- Biometría óptica correcta, con obtención de todos los parámetros requeridos para el estudio.

También se tomaron varios criterios de exclusión como:

- Cirugía refractiva previa (LASIL, PRK, ICL, ...).
- Cirugía refractiva intraocular con LIO.
- Estado de pseudoafacia en el ojo que se vaya a estimar.
- Distrofias o irregularidades corneales que supongan una alteración de las medidas.
- Problemas de fijación ocular.

4.3. Protocolo preoperatorio

Antes de iniciar el examen oftalmológico (evaluación con lámpara de hendidura, exploración del fondo del ojo tras dilatación ...), el paciente es sometido a una serie de pruebas que tendrán una gran importancia para el cálculo y selección de la LIO.

Todas las pruebas fueron realizadas en el mismo departamento, y se describen en los siguientes apartados.

4.3.1. Auto kerato-refratómetro

El aparato empleado fue el Auto Kerato-refractómetro automático KR-8000 de Topcon. Con el principal objetivo de medir el estado refractivo del ojo examinado, representando la esfera, cilindro y el eje.

Además, también ofrece la capacidad de medir el diámetro pupilar (pupilometría) según las condiciones de iluminación de la sala, llegando a tener un límite de diámetro mínimo de medida de 2 mm.

4.3.2. Microscopia endotelial

Con el microscopio especular -SP-1P- de la casa Topcon se estimó la cantidad de células endoteliales se albergaban por mm^2 , incluyendo el valor máximo y mínimo, evaluando su geometría (indicando si son hexagonales o no).

4.3.3. Exploración del segmento posterior

Para la evaluación del segmento posterior del globo ocular, se emplea el 3D OCT-1 Maestro de la casa Topcon. Para esta prueba se instilará una gota oftálmica (Tropicamida, Fenilefrina) en el ojo que se vaya a evaluar para que se dilate la pupila y sea más fácil la inspección. Este aparato constituye en su matriz un programa con varias opciones de análisis y búsqueda. Ofreciendo la opción de tomar una fotografía del polo anterior o una retinografía del polo posterior. En el caso de querer tomar diferentes secciones de la mácula y la fovea, se escogerá el apartado de retina, junto con otras cuatro opciones del tipo de sección que se quiere sacar. Si el paciente padece o se sospecha que tenga glaucoma, se puede hacer una foto y analizar la excavación de la papila e incluso el grosor de la capa de fibras nerviosas del nervio óptico.

4.3.4. Biometría

Para este estudio experimental se emplearon tres equipos basados en la tecnología SS-OCT, por los que cada individuo de la muestra poblacional escogida (pacientes que se vayan a operar de cataratas) tuvo que pasar y se compararán todos los parámetros de interés obtenidos en cada equipo.

Antes de comenzar con el experimento, se deben conocer cada uno de los biómetros que se van a utilizar.

IOLMaster 700

El equipo IOLMaster 700 (Figura 4) es el biómetro óptico más reciente que ha sacado la casa Zeiss al mercado.²¹ Incorporando en su sistema la tecnología SS-OCT, que otorga el acceso a la Swept Source Biometry®; además de introducir el nuevo sistema Total Keratometry® (TK®), la cual permite medir y evaluar el radio de curvatura de la superficie posterior de la córnea, añadiéndola a dos nuevas fórmulas de cálculo para LIOs denominadas Barret Universal II y Barret TH Torik.^{21, 22}

También contiene en su base de datos la aplicación de Zeiss Cataract Suite, permitiendo realizar una fotografía de referencia en casos donde el paciente presente un astigmatismo significativo ($< 1.5\text{D}$ de astigmatismo corneal) y compararla durante la cirugía intraoperatoria.^{21, 23} Incluso se ha diseñado un nuevo programa para calcular lentes tóricas en estos pacientes, conociéndose como Haigis Suite. Esta fórmula combina las fórmulas Haigis L (utilizada sobre todo en casos de postcirugía refractiva) y la nueva Haigis T.²³

Como todo biómetro, debe contener en su matriz un sistema de medida para evaluar las estructuras del globo ocular, empleando un haz de rayos con una longitud de onda de coherencia de 1.035-1.080 nm, esto significa que los rayos se encuentran dentro del espectro infrarrojo; junto con una frecuencia de escaneo de 2.000 Hz por segundo, tomando una gran repetibilidad para los resultados de la prueba.^{21, 23} Por lo tanto, al utilizar grandes longitudes de onda del espectro electromagnético, pueden llegar a penetrar hasta tejidos con menor scattering e incluso estructuras oculares con opacidades, llegando a poder atravesar en un 99% cataratas maduras y subcapsulares posteriores.²¹

Además, este sistema se caracteriza por tomar las medidas de diferentes estructuras del globo ocular, dando como resultado una suma de todos los segmentos al finalizar la prueba.

La presencia de patologías oculares puede afectar a los resultados de las pruebas. Como solución a este paradigma, la casa Zeiss incorporó un sistema de detección de geometrías inusuales en el globo ocular y otro para detectar fijaciones excéntricas. Para ello, emplea distintas imágenes por OCT para evaluar

distintos detalles anatómicos y encontrar la causa resultante; por ejemplo, luxación del cristalino o desplazamiento de la lente.²³



Figura 4. ZEISS IOLMaster 700 con SWEPT Source Biometry²¹.

Argos

El biómetro óptico ARGOS (Figura 5) es un instrumento de no contacto que emplea el sistema SS-OCT Biometer, desarrollado por la misma casa Alcon.²⁴ Diseñado para facilitar el procedimiento quirúrgico y conseguir mejores resultados finales tras la implantación de la LIO.²⁵

Al comenzar con la prueba, se toma una fotografía del polo anterior del globo ocular, realizando una queratometría de la superficie corneal anterior (indicando el meridiano más curvo y el más plano), la medida de la WTW y el diámetro pupilar, e incluso, una estimación de la dirección de las futuras incisiones que tendrá durante la cirugía para la implantación de la lente.²⁴ Además, las imágenes tomadas por OCT en 2 dimensiones albergan una alta resolución de 3000 A-scans y una longitud de onda de 1.060 nm, a diferencia de otros biómetros basados en luz, llegándose a adquirir 6 capturas en menos de un segundo, calculando en conjunto 3 valores promedio y de desviación estándar.²⁶ Todas estas imágenes se adquieren teniendo en cuenta que el índice de refracción de la córnea es de 1.3375, junto con la información que se recibe del reflejo en la córnea al ser iluminada por un anillo de 16 LEDs IR, estudiando un diámetro angular de 2.2 mm.^{24, 26}

Como todo biómetro, toma sus propias consideraciones con respecto a la medida de los parámetros oculares; por ejemplo, la longitud axial la entiende como la distancia que hay entre el ápex corneal hasta la fóvea, concretamente, hasta el epitelio pigmentario de la retina. Por esta razón, la medida de la longitud axial se estudia como la suma de todos los segmentos oculares (CCT, ACD, LT y la profundidad de la cámara vítrea).²⁴

El propio programa ofrece la opción de tomar las capturas en modo automático cuando el ápex corneal se encuentra alineando en condiciones óptimas con la luz emitida por el aparato.²⁵

Además, en casos en los que la retina es indetectable o no es capaz de percibir, se ha insatado un programa de funcionamiento denominado “Modo de visualización de la retina mejorado” (ERV en inglés), permitiendo ver de manera más nítida el fondo del ojo. Sin embargo, se sacrifica la suma total de todos los segmentos, variando un poco la longitud axial medida por el aparato con la real, pero manteniendo la estimación real de todos los demás parámetros.²⁴



Figura 5. Biómetro óptico SS-OCT Biometer ARGOS.²⁶

Anterion

El Anterion (Figura 6) es un instrumento diseñado por la casa Heidelberg Engineering que emplea tecnología de tomografía por OCT de segmento anterior (AS-OCT), junto con la SS-OCT. A su vez, contiene en su matriz un sistema de interferometría de coherencia óptica que permite la medida de la longitud axial del globo ocular. También, posee una fuente de luz con una longitud de onda de 1.300 nm y una frecuencia de 50.000 Hz, llegando a penetrar más en los tejidos oculares que con otras longitudes de onda más cortas.²⁷

Actualmente, este biómetro ofrece la capacidad de examinar y medir cada una de las estructuras del segmento anterior, como el LT, el espesor central de la córnea o la topografía corneal. Todo debido gracias a la alta resolución y velocidad de escaneo del propio aparato.^{27, 28}

Además, la propia empresa ha elaborado una plataforma en su base de datos donde almacena un conjunto de aplicaciones las cuales son capaces de medir y calcular todos los parámetros de interés para el diseño de una LIO.^{28, 29}

En el último modelo que han sacado al mercado contiene en su software 4 aplicaciones, ajustadas a las necesidades clínicas del caso en el que se esté trabajando. A continuación, se explicarán las funciones y características de cada aplicación:

- **Córnea:** Proporciona un estudio y evaluación de la geometría corneal en un diámetro de 8 mm, permitiendo el diagnóstico de alteraciones corneales (queratocono o patologías secundarias a una cirugía refractiva) y su posterior monitorización.²⁷ La alta calidad de las imágenes permiten elegir entre diversos mapas de curvatura y elevación de ambas superficies, o mapas refractivos y paquimétricos.^{28, 30}
- **Catarata (Cataract):** El apartado catarata mezcla todos los parámetros necesarios (topografía corneal, ACD, AL, LT, CCT y WTW) para el cálculo y selección de la LIO que se implantará al paciente. La tecnología OCT con fuente de barrido permite incluso atravesar de forma precisa cataratas densas. Además, las fórmulas administradas en su base de datos pueden clasificarse según si la lente que se calculará es esférica o tórica.^{28, 29}
- **Medidas (Metrics):** Se encarga de tomar una serie de medidas desde un modo manual o automático mediante imágenes por OCT. Las capturas realizadas en el segmento anterior se dividen en 6 segmentos o cortes radiales, identificando la córnea, el iris y el LT. En la actualidad, se están realizando diversos estudios centrados en la evolución y diagnóstico del glaucoma.^{27, 29}
- **Imagen (Imaging):** Esta aplicación tiene el principal objetivo de visualizar y analizar las diferentes estructuras del segmento anterior del globo ocular, desde la parte anterior de la córnea hasta la cara posterior del cristalino, e incluso, llegando a aportar una profundidad de imagen de 14 mm, donde se puede llegar a localizar el vítreo anterior. Ofrece una alta resolución en las imágenes administradas por OCT de fuente de barrido, añadiendo precisión y seguridad en el diagnóstico de patologías, hasta el control y seguimiento por sospecha o evolución de alteraciones en el segmento anterior.^{27, 30}

Como en este estudio se van a valorar ciertos parámetros de interés, solamente se emplearán las funciones de Catarata y Medidas. Las aplicaciones Córnea e Imagen pueden servir como pretexto para los criterios de inclusión y exclusión en el caso de que el paciente que se vaya a evaluar presente una patología ocular que índice su rechazo para el experimento.



Figura 6. Anterior de Heidelberg Engineering.²⁹

4.4. Variables empleadas para el estudio

Aunque gran parte de las variables biométricas medidas sean las mismas, existen ciertas diferencias entre ellas, según la tecnología utilizada.

Los parámetros que se tendrán en cuenta para el estudio son los siguientes:

- AL.
- R₁.
- R₂.
- CCT.
- ACD.
- LT.
- WTW.

En el caso del biómetro Argos, no se tendrá en cuenta el CCT, ya que, aunque lo mide, no lo especifica en su archivo de exportación.

4.5. Análisis estadístico

Una vez recogidos todos los datos de las pruebas experimentales, se diseñó una base de datos con el archivo Microsoft Office Excel donde se introdujeron todas las medidas representativas para el estudio.

Todos los cálculos estadísticos se estimaron con el paquete estadístico SPSS.

Se aplicaron los siguientes test estadísticos en cada una de las variables obtenidas:

- Para la descripción de las características poblacionales y los principales resultados se emplearon la media y desviación estándar.
- Para la comparación de variables cuantitativas de dos grupos dependientes se utilizó el test no paramétrico de Wilcoxon para dos muestras pareadas. Un nivel de $p < 0,05$ se consideró estadísticamente significativo.

5. RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran clasificados los dos grupos con el número total de ojos (N), junto con las muestras obtenidas por cada parámetro medido durante el preoperatorio y su correspondiente media y desviación típica/estándar.

La edad media de los pacientes que pertenecen al grupo 1 con los 124 ojos es de 74,4 años, y el porcentaje de hombres es de 40,7% y el de mujeres un 59,3%. Para el grupo 2 con 308 ojos, la edad media es de 74,3 años, el porcentaje de hombres es 45,5% y un 54,5% son mujeres.

Parámetros	GRUPO 1			GRUPO 2	
	Argos	IOLMaster	Anterion	Argos	IOLMaster
AL (mm)	23,45 ± 1,20	23,47 ± 1,24	23,41 ± 1,22	23,75 ± 1,56	23,79 ± 1,61
R1 (mm)	7,73 ± 0,28	7,77 ± 0,27	7,70 ± 0,25	7,75 ± 0,29	7,78 ± 0,29
R2 (mm)	7,57 ± 0,24	7,60 ± 0,25	7,61 ± 0,25	7,58 ± 0,27	7,61 ± 0,28
CCT (mm)	-----	0,540 ± 0,41	0,543 ± 0,39	-----	-----
ACD (mm)	3,20 ± 0,41	3,07 ± 0,41	3,14 ± 0,43	3,23 ± 0,41	3,11 ± 0,42
LT (mm)	4,70 ± 0,36	4,57 ± 0,38	4,72 ± 0,35	4,70 ± 0,43	4,60 ± 0,43
WTW (mm)	11,85 ± 0,40	11,98 ± 0,40	11,60 ± 0,43	11,91 ± 0,41	12,03 ± 0,40
N	124			308	

Tabla 1. Resultados obtenidos de las muestras de interés de los dos grupos con la media, la desviación estándar y el número total de ojos.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en todas las variables analizadas y para todas las comparaciones pareadas entre biómetros (Argos vs IOLMaster, Argos vs Anterion y Anterion vs IOLMaster).

A continuación, se representan los diagramas Bland-Altman para cada una de las variables comparando de forma pareada las medidas realizadas con los tres biómetros. Los diagramas de Bland Altman representan, para cada ojo, las diferencias entre aparatos en función del promedio de las medidas, en cada una de las variables analizadas. Los gráficos de Bland-Altman son una potente herramienta estadística para la comparación de dos técnicas de medición utilizando una misma variable cuantitativa. Actualmente, se aplica mucho para cotejar las diferencias entre dos equipos o métodos de medición, siendo uno de ellos validado o aceptable entre la comunidad científica o en el ámbito clínico.

En la Figura 7, se representan los diagramas de Bland-Altman obtenidos de la AL, que muestran las diferencias entre cada uno de los equipos.

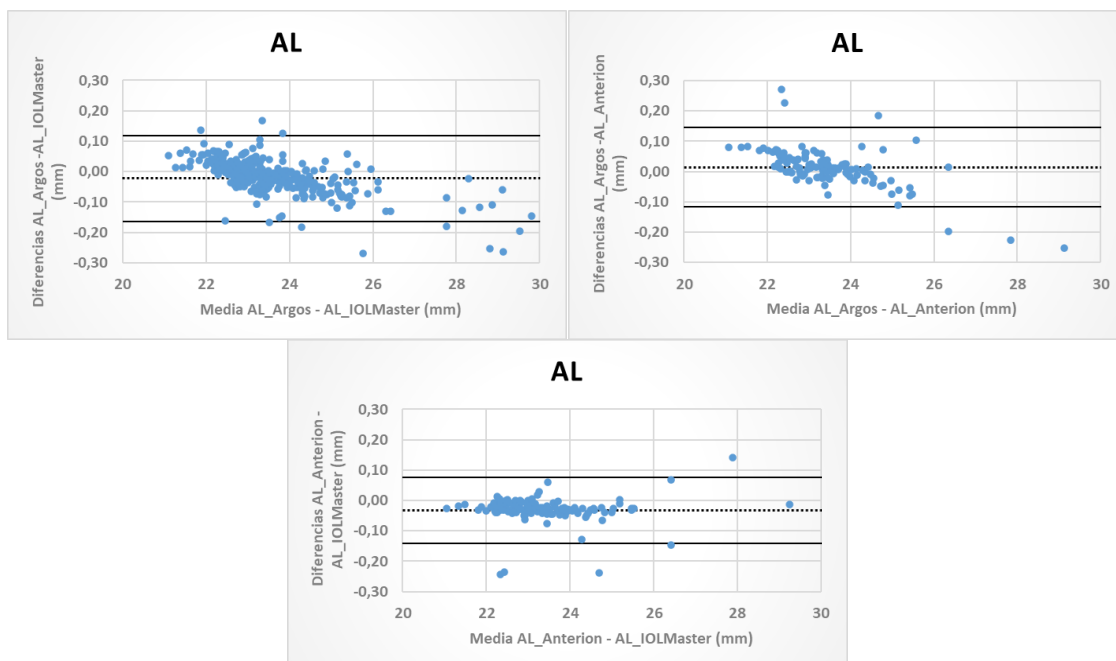


Figura 7. Diagramas de Bland-Altman comparando la AL entre los tres biómetros.

Se observó una gran congruencia en la medida de la AL entre el Anterior e IOLMaster (Figura 7, diagrama inferior), aunque en la mayoría de los casos se encontraron diferencias negativas, es decir, valores mayores de AL con IOLMaster ($23,47 \pm 1,24$ mm) respecto a Anterior ($23,41 \pm 1,22$ mm).

En la comparativa entre Argos e IOLMaster (Figura 7, diagrama izquierdo), se observaron diferencias positivas para AL cortas y diferencias negativas para AL largas; es decir, Argos da valores mayores de AL en ojos cortos e IOLMaster en ojos largos. Tomando el total de la muestra, IOLMaster ($23,79 \pm 1,61$ mm) detecta AL ligeramente superiores a Argos ($23,75 \pm 1,56$ mm).

La misma tendencia en función de la AL se observó en la comparativa entre Argos y Anterior (Figura 7, diagrama derecho), con valores globales ligeramente superiores del primero ($23,45 \pm 1,20$ mm y $23,41 \pm 1,22$ mm, respectivamente).

En la Figura 8 y Figura 9 se ven las comparativas del R_1 y el R_2 tomadas por los tres biómetros.

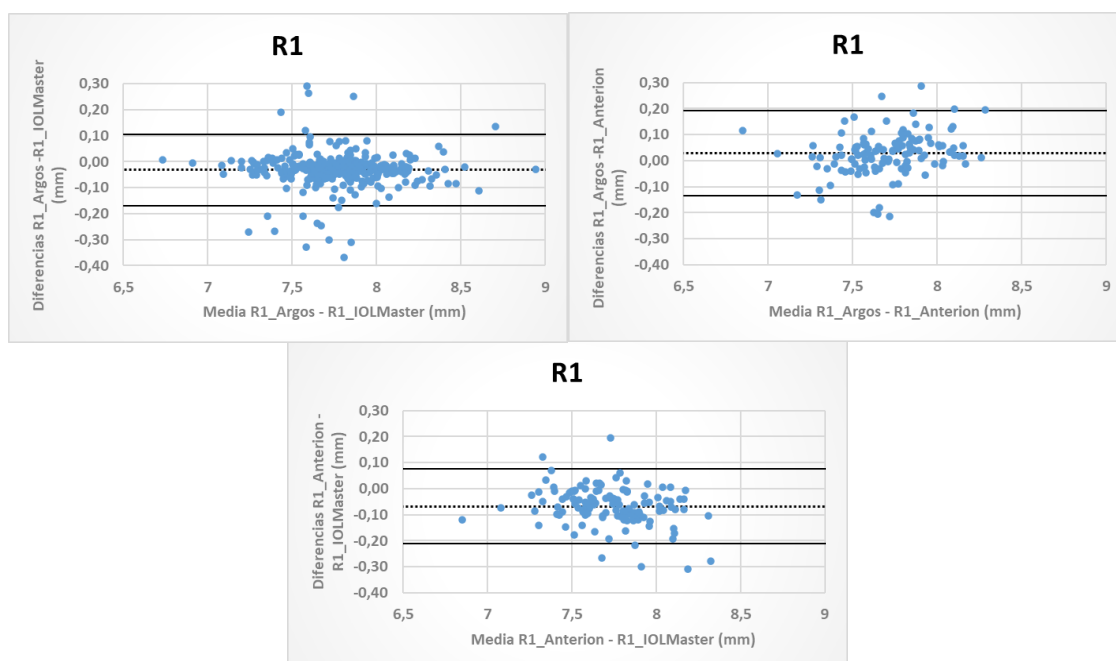


Figura 8. Diagramas de Bland-Altman comparando el R_1 entre los tres biómetros.

Se encontró una cierta congruencia en la medida del R_1 entre el Anterior e IOLMaster (Figura 8, diagrama inferior), sin embargo, gran parte de los sucesos mostraban diferencias negativas, indicando mayores valores de R_1 en el IOLMaster ($7,77 \pm 0,27$ mm) que en el Anterior ($7,70 \pm 0,25$ mm).

En la comparativa entre el Argos y el Anterior (Figura 8, diagrama derecho) se descubrió una menor congruencia que en el diagrama anterior, pero esta vez con valores positivos en el Argos, mostrando unos radios ligeramente superiores en el Argos ($7,73 \pm 0,28$ mm) con respecto al Anterior ($7,70 \pm 0,25$ mm).

En comparación con el Argos y el IOLMaster (Figura 8, diagrama izquierdo), se observaron diferencias negativas en la mayoría de los casos. Teniendo en cuenta todas las medias, se concluyó que el Argos ($7,75 \pm 0,29$ mm) da valores menores que el IOLMaster ($7,78 \pm 0,29$ mm).

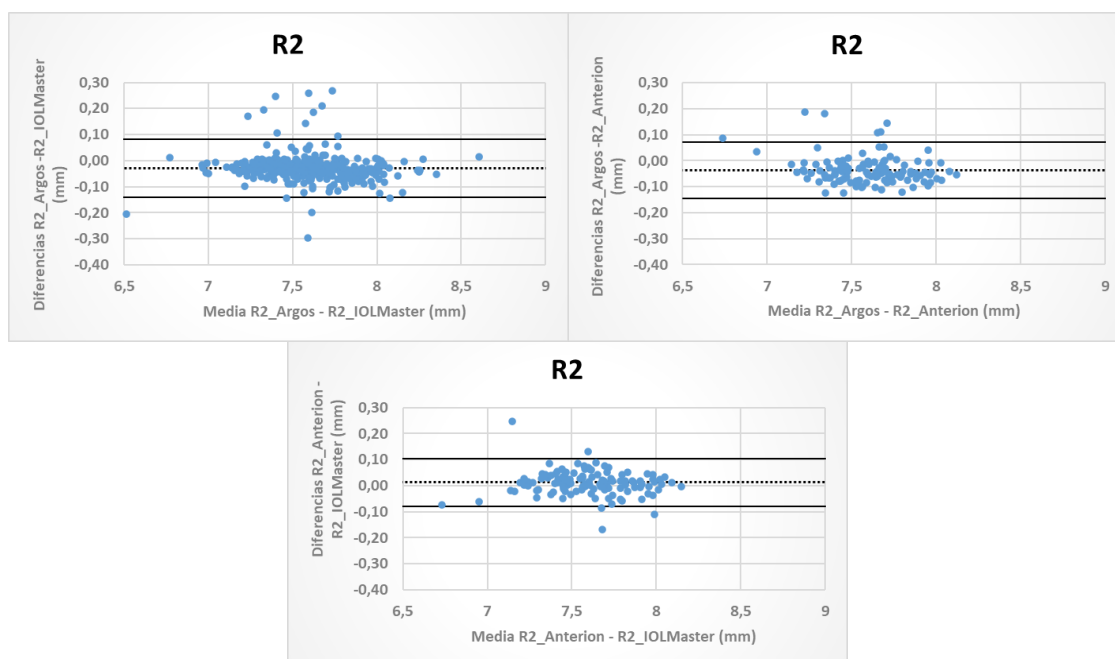


Figura 9. Diagramas de Bland-Altman comparando el R_2 entre los tres biómetros.

En la comparativa del Anterior e IOLMaster (Figura 9, diagrama inferior) se encontró una gran coherencia con respecto al R_2 , aunque para el total de la muestra el Anterior ($7,61 \pm 0,25$ mm) mostraba unos valores levemente superiores al IOLMaster ($7,60 \pm 0,25$ mm).

Además, la comparativa entre el Argos y Anterior (Figura 9, diagrama derecho) revelaba una tendencia muy parecida al anterior en función al R_2 , pero con diferencias negativas. Tomando todas las medidas, Argos ($7,57 \pm 0,24$ mm) integra unos valores menores que el Anterior ($7,61 \pm 0,25$ mm).

Sin embargo, en la medida del R_2 entre el Argos e IOLMaster (Figura 9, diagrama izquierdo) se mostraron diferencias negativas en los valores globales. Como resultado, IOLMaster ($7,61 \pm 0,28$ mm) toma valores ligeramente mayores que Argos ($7,58 \pm 0,27$ mm).

Prosiguiendo con la comparativa de los parámetros de interés, en la Figura 10 aparece el diagrama que estudia la diferencia del espesor corneal central entre los biómetros Anterior-IOLMaster.

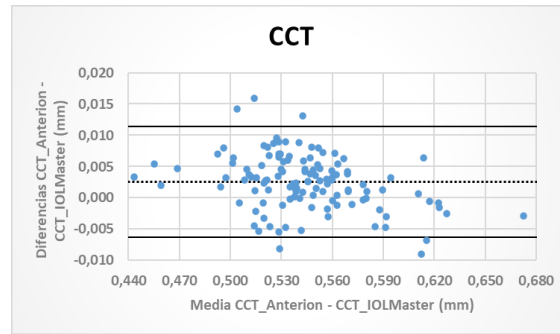


Figura 10. Diagrama de Bland-Altman comparando la CCT entre el Anterior e IOLMaster.

En este caso, solo se empleó la comparativa de la CCT entre el Anterior e IOLMaster (Figura 10). Al tener en cuenta todos los valores globales de la muestra se descubrió que el Anterior ($0,543 \pm 0,39$ mm) da un espesor levemente mayor que el IOLMaster ($0,540 \pm 0,41$ mm).

A continuación, se presentarán en la Figura 11 y Figura 12 las diferencias estimadas por los biómetros de la ACD y del LT de los ojos medidos.

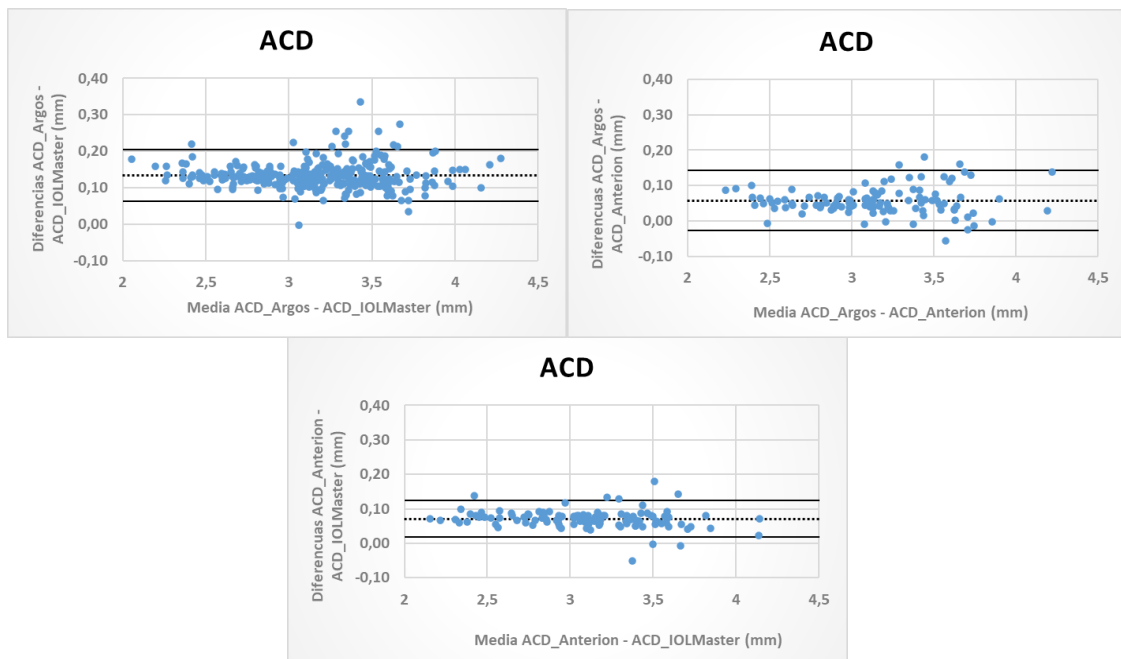


Figura 11. Diagramas de Bland-Altman comparando la ACD entre los tres biómetros.

En el caso de la ACD se observó que todas las comparativas daban diferencias positivas, sobre todo en la de Argos e IOLMaster (Figura 11, diagrama izquierdo), donde en la totalidad de los valores eran mayores en Argos ($3,23 \pm 0,41$ mm) respecto al IOLMaster ($3,11 \pm 0,42$ mm).

Al igual que el diagrama anterior, la comparativa entre Argos y Anterior (Figura 11, diagrama derecho) mostraba discrepancias positivas, detectando medidas superiores en el Argos ($3,20 \pm 0,41$ mm) con respecto al Anterior ($3,14 \pm 0,43$ mm).

En la medida del ACD entre el Anterior e IOLMaster (Figura 11, diagrama inferior) se encontraron también diferencias positivas en relación con el primero; por lo tanto, IOLMaster ($3,07 \pm 0,41$ mm) es el que tomaba valores menores de ACD entre Anterior ($3,14 \pm 0,43$ mm) e IOLmaster.

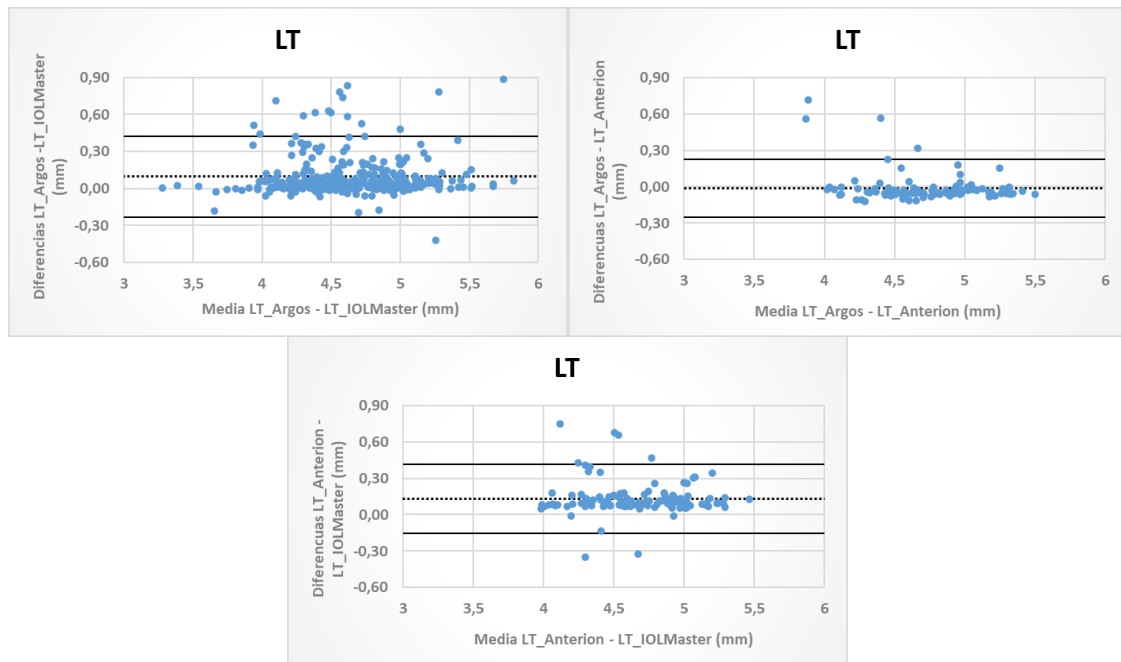


Figura 12. Diagramas de Bland-Altman comparando el LT entre los tres biómetros.

En cuanto al LT, en la comparativa del Argos e IOLMaster (Figura 12, diagrama izquierdo) se observó grandes diferencias positivas, llegando a mostrar ciertos valores atípicos; por lo tanto, IOLMaster ($4,60 \pm 0,43$ mm) detecta valores menores respecto a Argos ($4,70 \pm 0,43$ mm).

Para la medida de la LT entre Argos y Anterior (Figura 12, diagrama derecho) se encontraron pocas diferencias, aunque la mayoría son negativas. Indicando que el Anterior ($4,72 \pm 0,35$ mm) detecta espesores mayores respecto a Argos ($4,70 \pm 0,36$ mm).

También se observó una cohesión, pero con menor grado que el Anterior e IOLMaster (Figura 12, diagrama inferior), con grandes discrepancias positivas en los valores del Anterior ($4,72 \pm 0,35$ mm) en relación a IOLMaster ($4,57 \pm 0,38$ mm).

Por último, en la Figura 13 están las comparativas de la WTW entre los tres biómetros.

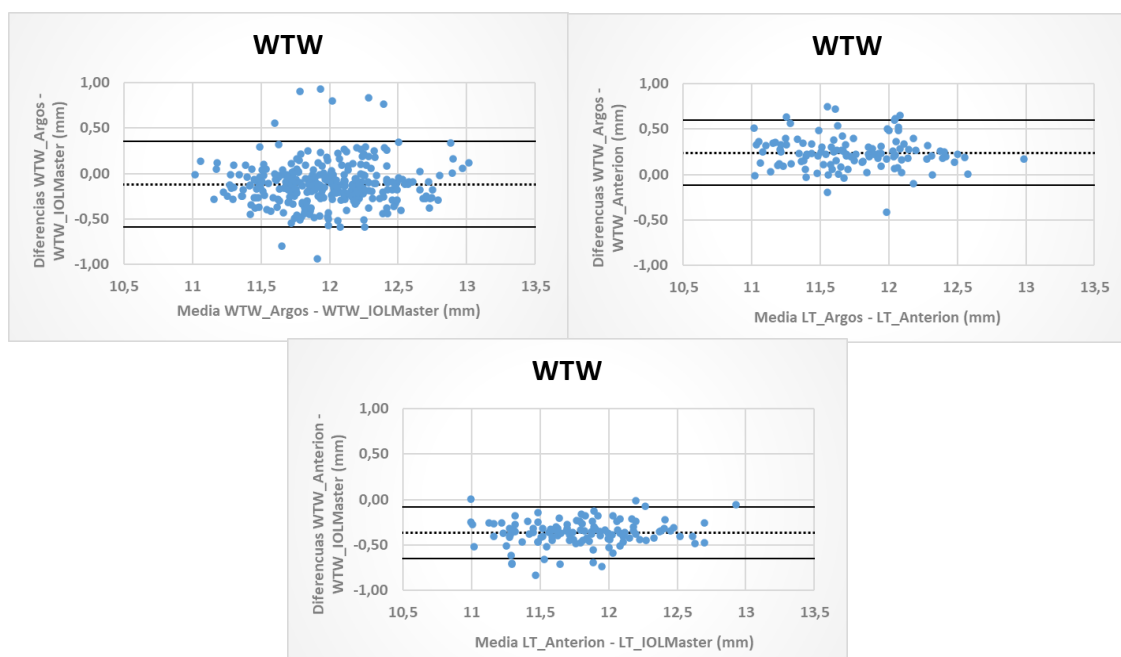


Figura 13. Diagramas de Bland-Altman comparando la WTW entre los tres biómetros.

Se descubrió en la medida de la WTW entre el Anterior e IOLMaster (Figura 13, diagrama inferior) que existía una total diferencia negativa en los valores de la muestra, es decir, todos los ojos tomados por IOLMaster ($11,98 \pm 0,40$ mm) presentaban valores superiores con respecto a Anterior ($11,60 \pm 0,43$ mm).

También se observó que en la comparativa entre Argos y Anterior (Figura 13, diagrama derecho) existían diferencias positivas en la mayoría de los casos; es decir, Anterior ($11,60 \pm 0,43$ mm) capta valores levemente menores que el Argos ($11,85 \pm 0,40$ mm).

A su vez, en el Argos e IOLMaster (Figura 13, diagrama izquierdo) se detectaron menores diferencias, aunque en la mayoría de los casos son negativas, por lo tanto, Argos ($11,91 \pm 0,41$ mm) da unos valores ligeramente menores que IOLMaster ($12,03 \pm 0,40$ mm).

6. DISCUSIÓN.

En la actualidad, la cirugía de catarata es una de las intervenciones quirúrgicas más frecuentes en el ámbito clínico, y su objetivo ya no es solo restituir la visión, sino conseguir además un óptimo resultado refractivo que permita la independencia del uso de gafas para la mayor parte de las actividades diarias. Por esta razón, el desarrollo de nuevas tecnologías es de vital importancia para el conocimiento de las estructuras oculares, la medición de los parámetros biométricos, y el posterior cálculo e implantación de la LIO.

Conforme salen nuevos equipos de biometría al mercado, se requieren de ciertos estudios para el análisis de aquellos parámetros de interés quirúrgico y compararlos con otros equipos que tengan una validación científica. Entre ellos se encuentra el equipo Argos, incorporado recientemente por la casa Alcon. Por ello, uno de los principales objetivos de este estudio es comprobar si sus medidas y la de otros equipos que emplean la tecnología SS-OCT presentan diferencias en la medición de las variables biométricas implicadas para el cálculo de la potencia de la LIO.

Si se comparan cada uno de los diagramas obtenidos en el parámetro de AL, se comprueba que para las muestras tomadas por el IOLMaster dan valores mayores con respecto a las otras medidas hechas por Argos y Anterior. A su vez, Argos superó los valores del Anterior, siendo este último el que da valores menores. Pese a las diferencias existentes en sus medias, no son significativamente clínicas. En varios estudios recientes se han llegado a encontrar leves discrepancias; por ejemplo, en el artículo de Langenbucher et al,³¹ se compararon los biómetros IOLMaster y Anterior y se encontraron unos valores ligeramente mayores que los observados en nuestro estudio con ambos dispositivos ($23,85 \pm 1,49$ mm y $23,83 \pm 1,49$ mm, respectivamente). A su vez, en estos dos estudios se verificó que el IOLMaster toma medidas mayores que Anterior. Otro estudio³² empleó los biómetros IOLMaster, Anterior, Pentacam y The Eystar 900 (estos dos últimos no se tendrán en cuenta) para comparar los resultados biométricos de cada aparato. En este estudio se diseñaron dos grupos (A y B) en los que se seleccionaron diferentes números de ojos. Solo se tendrán en cuenta las comparativas del grupo B, ya que en este se compara las medidas entre IOLMaster y Anterior. Como resultado, obtuvieron valores más altos de AL que los descritos en nuestro estudio ($23,68 \pm 1,49$ mm del IOLMaster y $23,57 \pm 1,27$ del Anterior). Además, los dos estudios postulan que IOLMaster da medidas mayores respecto a Anterior.

En las comparativas de la medida de R_1 se comprobó que el IOLMaster mostraba valores ligeramente mayores que Argos, ocurriendo lo mismo con el Anterior, pero con una diferencia de resultados significativamente mayores que en el IOLMaster. Además, Argos daba valores ligeramente mayores

respecto al Anterior. Así que, Anterior es el que toma medidas menores respecto a los tres equipos, mostrando diferencias clínicamente significativas. En el estudio de Langenbacher ³¹ se observaron ciertas diferencias; en el IOLMaster da una media levemente mayor en sus resultados respecto a nuestro estudio ($7,81 \pm 0,27$ mm), mientras que en el Anterior indicaban valores superiores ($7,82 \pm 0,27$ mm). Contrariamente a nuestro estudio, en el de Langenbacher verificaba que Argos tomaba medidas mayores que IOLMaster.

Para el caso del R₂ se verificó que los valores de Argos eran inferiores tanto en IOLMaster como en Anterior. Sin embargo, entre el Anterior e IOLMaster, mostraban unos resultados ligeramente inferiores a este último. Por lo tanto, Argos es el que aportaba medidas más inferiores. Pese a ello, la diferencia de sus valores no muestran una importancia clínica relevante. En el estudio de Langenbacher ³¹ se encontraron valores mayores en el IOLMaster y el Anterior ($7,68 \pm 0,27$ mm del IOLMaster y $7,65 \pm 0,27$ mm del Anterior). Contrastándolo con nuestro estudio, se llegó a la conclusión de que el Anterior arrojaba medidas levemente superiores.

En la comparativa del parámetro CCT se confirmó que los valores del Anterior generaban globalmente medidas levemente mayores que el IOLMaster, pero sin generar diferencias clínicamente relevantes. En el estudio de Langenbacher ³¹ reveló unos valores levemente mayores en el Anterior ($0,547 \pm 0,03$ mm), siendo más relevantemente mayores en el IOLMaster ($0,554 \pm 0,04$ mm). Al contrario que nuestro estudio, en el de Langenbacher muestra medidas mayores en el IOLMaster comparándolo con el Anterior.

Al comparar la medida de la ACD se comprobó que el IOLMaster presentaba valores significativamente menores frente a Argos y levemente menores en el Anterior. Sin embargo, Argos era el que más valores mayores daba al compararlo con el Anterior. Aunque, no existían diferencias en sus medias clínicamente significativas. Comparando estos resultados con los de Langenbacher ³¹ se encontraron valores significativamente mayores en Anterior ($3,27 \pm 0,40$ mm) e IOLMaster ($3,15 \pm 0,40$ mm) respecto a nuestro estudio. A su vez, en otro estudio ³² se mostraron unos resultados con valores significativamente mayores tanto en el IOLMaster ($3,27 \pm 0,73$ mm) como en el Anterior ($3,38 \pm 0,78$ mm). En comparación a nuestro estudio, estos 2 artículos coinciden en la postulación de que el Anterior aporta valores mayores de ACD.

En el caso del LT se observó que IOLMaster era el que registraba valores menores en relación con Argos; mientras que con el Anterior las medidas eran significativamente menores, dando lugar a diferencias clínicamente relevantes entre estos dos equipos. A su vez, Argos mostraba medidas levemente inferiores al Anterior. Sin embargo, para el estudio de Langenbacher ³¹ se detectaron diferencias en sus medias, correspondiendo al IOLMaster valores ligeramente mayores al estudio ($4,65 \pm 0,43$ mm), y resultados también ligeramente menores al Anterior ($4,69 \pm 0,43$ mm). Al igual que nuestro estudio, Anterior toma medidas superiores al IOLMaster.

En la comparación de la WTW se encontraron en el IOLMaster medidas ligeramente superiores respecto a Argos, pero significativamente superiores al Anterior. Además, Anterior era el que daba resultados menores frente a los otros dos biómetros, indicando diferencias clínicamente significativas. En un artículo publicado por Baumeister et al. ³³ se compararon los hallazgos del WTW con dos equipos manuales y otros dos automatizados, pero solo se tendrán en cuenta las medidas hechas por el IOLMaster. En dicho estudio se comprobó que la medida de la WTW es ligeramente superior a la de nuestro estudio ($12,02 \pm 0,38$ mm). Mientras que en otro artículo ³⁴ se evaluaron y compararon las diferentes medidas hechas por Anterior, entre ellas el WTW. Como resultado, se obtuvo que la medida WTW para este estudio ($11,62 \pm 0,47$ mm) es ligeramente mayor a la nuestra.

Principales limitaciones de este estudio:

- El menor número de capturas realizadas con el OCT-SA Anterion, motivo por el que se establecieron dos grupos de estudio. Este menor volumen de mediciones podría condicionar la relevancia de algunas de las diferencias encontradas entre Anterion y los otros dos dispositivos.
- Al tomar los parámetros con Argos, este tenía en cuenta la medida del CCT para el cálculo de la LIO, pero al exportar los datos del equipo no reflejaban los resultados de esta medida, por lo que no se han podido estudiar posibles diferencias en la medición de este parámetro.

Principales fortalezas del estudio:

- Globalmente, el número de ojos que se seleccionaron para el estudio es suficientemente elevado como para tener potencia estadística, y aportar información relevante desde el punto de vista clínico para el estudio del cálculo biométrico en la cirugía de catarata; además, la cantidad de ojos son superiores al encontrado en otras publicaciones realizadas con los mismos biómetros.
- Todas las medidas fueron escogidas y tomadas por el mismo examinador durante el periodo de recopilación de sujetos y datos.

7. CONCLUSIONES.

Todas las comparativas de las variables biométricas expuestas en el estudio por los tres equipos aportan diferencias estadísticamente significativas.

Las medidas de AL en Argos da valores mayores en ojos cortos y valores menores en ojos largos respecto a los otros dos biómetros. IOLMaster da medidas mayores que Argos y Anterion, siendo este último el que da valores menores. Además, no presentan diferencias significativamente clínicas.

IOLMaster arroja valores mayores de R_1 y R_2 con relación a Argos. Anterion es el que da menores valores de R_1 frente a los otros dos equipos, y a su vez, obtiene valores mayores para R_2 . La mayoría de los resultados no reflejan diferencias significativamente clínicas, excepto en R_1 de Anterion e IOLMaster.

Las medidas de CCT son ligeramente mayores con Anterion, sin diferencias significativamente clínicas.

En cuanto a las medidas axiales correspondientes al segmento anterior (ACD y LT) son mayores en Argos respecto a IOLMaster. Sin embargo, al comparar Argos y Anterion, se demuestra que el primero da medidas mayores en la ACD y el segundo da mayores medidas en LT. Teniendo en cuenta todos los resultados de la ACD y LT en los tres biómetros, no suponen diferencias clínicamente relevantes, excepto en el LT de Anterion e IOLMaster.

Las medidas de WTW arrojan valores mayores con IOLMaster frente a los otros dos biómetros. A su vez, Argos da valores mayores que Anterion; por lo tanto, con Anterion encontramos diferencias con relevancia clínica en relación con los otros equipos.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Boyd K. ¿Qué son las cataratas? [Internet]. Academia Americana de Oftalmología. 2022 [citado el 5 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.aaao.org/salud-ocular/enfermedades/que-son-las-cataratas>
- [2] Abel R Jr. Cataratas. En: Medicina integrativa. Elsevier; 2009. pág. 887-95.
- [3] Cueto-Felgueroso LF-V. ¿Quién inventó la operación de cataratas? Datos curiosos [Internet]. Fernandez-vega.com. [citado 30 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://fernandez-vega.com/blog/quien-invento-la-operacion-cataratas-datos-curiosos/>
- [4] Khazaeni LM. Cataratas [Internet]. Manual MSD versión para profesionales. [citado el 30 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.msdmanuals.com/es-es/professional/trastornos-oft%C3%A1lmicos/cataratas/cataratas?query=cataratas>
- [5] Biometría Ocular - Prueba diagnóstica previa a la Cirugía de Cataratas [Internet]. Novovisión. 2018 [citado 30 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.clinicasnovovision.com/blog/biometria-ocular-prueba-diagnostica/>
- [6] Chaine G, Badelow I, Auzerie O. Exámenes complementarios en oftalmología. EMC - Tratado Med [Internet]. 1999;1-3:1-4. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1636541099700152>
- [7] Biometría ocular: ¿Qué es? ¿Para qué sirve? ¿En qué consiste? [Internet]. Clínica VISTA Sánchez Trancón. 2022 [citado 30 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://vistasancheztrancon.com/biometria-ocular/>
- [8] Reyes PG. Biometría Ultrasonica [Internet]. Blogspot.com. Blogger; 2017 [citado 31 de mayo de 2023]. Disponible en: <http://tecnologiamedicaoftalmo.blogspot.com/2017/06/biometria-ultrasonica.html>
- [9] Com.mx. [citado 31 de mayo de 2023]. Disponible en: http://www.cosad.com.mx/cosad.com.mx/Oftalmologia_files/Diptico%20Ocuscan%20RxP%20Final_S_LIT_1-NJXQ_1-5Q.pdf
- [10] Veitía Rovirosa Z, Plá Acebedo ME, Pérez Candelaria E de la C, Rodríguez Suárez B, Durán Vaquero R, Dueñas Moreno M de las M. Evolución de la biometría de coherencia óptica y las nuevas plataformas. Rev Cuba Oftalmol [Internet]. 2019 [citado 7 de junio de 2023];32(2). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21762019000200015
- [11] Torres Hernández L. Estudio de técnicas biométricas y cálculo de la lente intraocular [Tesis]. España: Universidad de Valladolid; 2012.
- [12] Martínez FJ. Biometría (3/4): ¿Qué tecnología aporta un mejor resultado? [Internet]. Qvision. 2017 [citado 7 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.qvision.es/blogs/javier-martinez/2017/06/25/biometria-3-4-que-tecnologia-aporta-un-mejor-resultado/>
- [13] Tomógrafo de coherencia óptica (OCT) Swept-Source PLEX Elite 9000 [Internet]. Zeiss.com. [citado 8 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.zeiss.com/meditec/es/productos/dispositivos-tomografia-coherencia-optica/plex-elite-9000-swept-source-oct.html>
- [14] Panamericano de Ojos» Spectralis OCT en el espacio [Internet]. Panamericanodeojos.com. [citado 8 de junio de 2023]. Disponible en: <https://panamericanodeojos.com/spectralis-oct-por-primera-vez-en-el-espacio/>

- [15] Tomografía con láser de seguimiento: redefiniendo el diagnóstico de glaucoma y retina [Internet]. Vista Camacho Oftalmólogos. 2016 [citado 8 de junio de 2023]. Disponible en: <https://vistacamacho.com/oct-spectralis-redefiniendo-glaucoma-y-retina/>
- [16] Aramberri J. Biometría óptica. In: J. Aramberri and F. Ribeiro, ed., Cálculo de la lente intraocular, 1st ed. Madrid: SECOIR. 2022; 122-129.
- [17] Castro FJ. Fórmulas y estimación de la posición de la lente intraocular. In: J. Aramberri and F. Ribeiro, ed. Cálculo de la lente intraocular, 1st ed. Madrid: SECOIR. 2022; 321.
- [18] Martínez FJ. Biometría (4/4): Fórmulas Biométricas [Internet]. Qvision. 2017 [citado 31 de julio de 2023]. Disponible en: <https://www.qvision.es/blogs/javier-martinez/2017/07/11/biometria-4-4-formulas-biometricas/>
- [19] Cálculo de lentes intraoculares para todos [Internet]. OPTOCLÍNICOS. 2020 [citado 31 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://optoclinicos.com/2020/12/28/calculo-de-lentes-intraoculares-para-todos/>
- [20] Flikier DS, Flikier B. Biometría, cálculo de lentes intraoculares. Panaceaiolandtoriccalculator.com. [citado el 6 de julio de 2023]. Disponible en: <http://panaceaiolandtoriccalculator.com/assets/1--biometria-calculo-de-lentes-intraoculares.pdf>
- [21] Moura-Coelho N, J Ribeiro F. ZEISS IOLMaster 700. In: J. Aramberri and F. Ribeiro, ed. Cálculo de la lente intraocular, 1 st ed. Madrid: SECOIR. 2022; 181-187.
- [22] IOLMaster 700 La biometría de última generación de ZEISS [Internet]. Zeiss.es. [citado 8 de junio de 2023]. Disponible en: https://www.zeiss.es/content/dam/Meditec/es/brochures/iolmaster_700.pdf
- [23] IOLMaster 700 La biometría de última generación de ZEISS [Internet]. Zeiss.es. [citado 8 de junio de 2023]. Disponible en: https://www.zeiss.es/content/dam/Meditec/es/brochures/iolmaster_700.pdf
- [24] Taña Rivero P, Ruiz Mesa R, Taña Sanz P, Ruiz Santos M, Taña Sanz S, Montes-Mico R. Biómetro ocular Argos con tecnología swept-source OCT. In: J. Aramberri and F. Ribeiro, ed., Cálculo de la lente intraocular, 1st ed. Madrid: SECOIR. 2022; 190-195.
- [25] El biómetro de ARGOS con guiado por imagen. MyAlcon [Internet]. Myalcon.com. [citado 8 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.myalcon.com/mx/professional/cataract-surgery/diagnostics/argos-biometer/>
- [26] Argos. ? Product [Internet]. Movu-inc.com. [citado 8 de junio de 2023]. Disponible en: <https://movu-inc.com/product/>
- [27] Aramberri J, Schoröpfer Jana. Anterior:OCT de segmento anterior y biometría óptica. In: J. Aramberri and F. Ribeiro, ed. Cálculo de la lente intraocular, 1 st ed. Madrid: SECOIR. 2022; 205-212.
- [28] Heidelberg Engineering announces the CE-marking of ANTERION [Internet]. Corporate INT | Corporate Website Heidelberg Engineering GmbH. Corporate INT; 2018 [citado 15 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.heidelbergengineering.com/int/press-releases/heidelberg-engineering-announces-the-ce-marking-of-anterion/>
- [29] ANTERION [Internet]. Heidelbergengineering.com. [citado 15 de junio de 2023]. Disponible en: <https://business-lounge.heidelbergengineering.com/gf/en/products/anterion/anterion/>
- [30] Anterior de Heidelberg Engineering - Arfamex equipos para dermatología y oftalmología [Internet]. Arfamex equipos para dermatología y oftalmología - La más alta tecnología en equipos para dermatología y oftalmología. Arfamex equipos para dermatología y oftalmología; 2021 [citado 8 de junio de 2023]. Disponible en: <https://arfamex.com/anterion-de-heidelberg-engineering/>

- [31] Langenbucher A, Szentmáry N, Cayless A, Wendelstein J, Hoffmann P. Comparison of 2 modern swept-source optical biometers-IOLMaster 700 and Anterior. *Arbeitsphysiologie* 2023;261(4):999-1010.
- [32] Lender R, Mirsky D, Greenberger R, Boim Z, Ben-Yaakov L, Kashtan C, et al. Evaluation of three biometric devices: ocular parameters and calculated intraocular lens power. *Sci Rep* 2022;12(1):19478.
- [33] Singh K, Gupta S, Moulick PS, Bhargava N, Sati A, Kaur G. Study of distribution of white-to-white corneal diameter and anterior chamber depth in study population obtained with optical biometry using intraocular lens (IOL) master. *Med J Armed Forces India*. 2019;75(4):400-5.
- [34] Dong J, Yao J, Chang S, Kanclerz P, Khoramnia R, Wang X. Evaluation of ocular diameter parameters using swept-source optical coherence tomography. *Medicina (Kaunas)*. 2023;59(5).