



**Universidad**  
Zaragoza

# TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio del astigmatismo en cirugía de catarata.  
Valoración tomográfica, biométrica y mediante  
aberrometría intraoperatoria

Autora

Sofía Bielsa Alonso

Directores

M<sup>a</sup> Ángeles Del Buey Sayas  
Francisco J. Ascaso Puyuelo

Facultad de Ciencias  
Grado en Óptica y Optometría  
Curso 2021-2022

# ÍNDICE

<b>RELACIÓN DE ABREVIATURAS</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>6</b>
2.1 Vectores de potencia y método de Alpíns	9
2.2 Plataformas de guiado intraoperatorio	13
<b>3. PROTOCOLO, POBLACIÓN DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA ESTADÍSTICA</b>	<b>15</b>
4.1 Clasificación	16
4.2 Clínica y protocolo exploratorio	16
4.3 Análisis estadístico	17
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>18</b>
<b>5. DISCUSIÓN</b>	<b>21</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>22</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>24</b>
<b>ANEXO I: Consentimiento informado</b>	<b>27</b>

## **RELACIÓN DE ABREVIATURAS**

ATR – En contra de la regla, siglas en inglés

AV – Agudeza visual

CP – Cara posterior

D – Dioptrías

FLACS – Femto laser assisted cataract surgery

LIO – Lente intraocular

PCA – Posterior Corneal Astigmatism

SIA – Surgically Induced Astigmatism

TIA – Target Induced Astigmatism

WTR – A favor de la regla, siglas en inglés

## **RESUMEN**

En este trabajo estudiamos, de manera prospectiva, pacientes intervenidos de cirugía de facoemulsificación con lente tórica y un astigmatismo superior a 2,00 dioptrías queratométricas. El objetivo del trabajo es valorar la relación entre los defectos de refracción postoperatoria residuales y la contribución de la cara posterior de la córnea. Estudiamos la predicción de las mediciones de la aberrometría intraoperatoria, así como las discrepancias que presenta con la biometría convencional.

Tras el análisis estadístico descriptivo y vectorial, observamos que las mediciones de aberrometría intraoperatoria, la cual integra el poder dióptrico de la cara posterior corneal, presentan mayor precisión que el calculador de Abulafia-Koch, siendo notablemente más eficaces en astigmatismos de orientación oblicua.

## **ABSTRACT**

We prospectively studied patients with an astigmatic error higher than two keratometric diopters, that had undergone a phacoemulsification intervention altogether with implantation of toric intraocular lenses. The aim of this study is to compare the relationship between postoperative residual refraction values and the contribution of the posterior surface of the cornea. We assessed the prediction of intraoperative aberrometry measurements, as well as its discrepancies with the conventional biometry.

After an in-depth descriptive and vectorial statistical analysis, we found that the intraoperative aberrometry, which integrates the dioptric power of the posterior corneal face, presents higher precision than the Abulafia-Koch calculator, being remarkably more effective in astigmatisms of oblique orientation.

## 1. INTRODUCCIÓN

Propiciado por los avances en la última década, la cirugía de cataratas ya no tiene como objetivo únicamente la extracción del cristalino. Dicha intervención ha evolucionado hacia una técnica refractiva cuya finalidad es la emetropía. Esto ha supuesto que actualmente el objetivo sea obtener un error residual refractivo dentro de  $\pm 0,50$  dioptrías (D) de equivalente esférico y  $< 0,75$  D en el cilindro residual.<sup>(1)</sup>

Para alcanzar dichos resultados emétopes en pacientes con elevado error cilíndrico, es imprescindible un correcto cálculo biométrico, consideración del astigmatismo corneal (tanto anterior como posterior) y un correcto centrado y posicionamiento de las LIO tóricas. Es por ello que estudiaremos la eficacia de una plataforma de guiado intraoperatorio y dos métodos para estimar la toricidad de la LIO a implantar. Compararemos la integración del astigmatismo de la cara posterior corneal (PCA) en el cálculo de la toricidad mediante aberrometría intraoperatoria con fórmulas de regresión que la estiman (Abulafia-Koch).

## 2. MARCO TEÓRICO

Para poder abordar la hipótesis de este trabajo fin de grado, primero se debe citar un marco teórico sobre la toma de medidas y la influencia del PCA en el cálculo de la potencia de una LIO tórica.

Históricamente, el cálculo del astigmatismo corneal se ha basado en el supuesto de que la cara posterior (CP) induce un astigmatismo refractivo mínimo y, por lo tanto, puede ignorarse en los cálculos.<sup>(2)</sup> Este enfoque se basa en asumir que el ojo está compuesto de una única superficie corneal ( $r_{1c}$ ) con un índice de refracción ficticio (índice queratométrico,  $n_k$ )

con el fin de simplificar el proceso de estimación de la potencia corneal (Fórmula 1, Figura 1);

$$P_k = \frac{n_k - 1}{r_{1c}}$$

Fórmula 1.

Fórmula para la potencia de una única superficie.

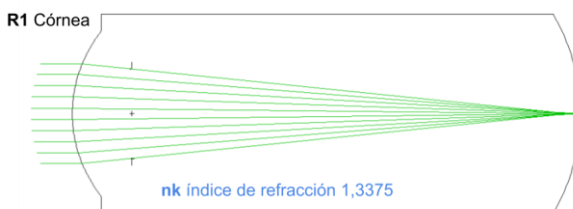


Figura 1.

Representación paraxial de la córnea de un ojo emétrope mediante programa OSLO para consideración de un solo radio de curvatura.

Donde  $n_k$  es el índice de refracción queratométrico y  $r_{1c}$  es el radio de curvatura de la superficie corneal anterior (Figura 1).<sup>(3)</sup> La práctica más común es el uso del valor de 1,3375 como índice de refracción queratométrico, habiéndose demostrado que esto sobreestima la potencia corneal.<sup>(4)</sup>

Si nos basamos en principios de óptica paraxial, parece evidente que para obtener un cálculo de la potencia corneal total debería tenerse en consideración la contribución de CP y espesor corneal. Sistemas como el Oculus Pentacam (Optikgeräte GmbH, Wetzlar, Alemania) proporcionan cálculos como el True Net Power (Fórmula 2, Figura 2), que consideran los dos primeros miembros de la expresión del cálculo Gaussiano para un dioptrio, despreciando el tercero correspondiente al espesor.<sup>(4)</sup>

$$\text{True net power} = P_{\text{anterior}} + P_{\text{posterior}} = \frac{n_c - n_a}{r_{1c}} - \frac{n_{ha} - n_c}{r_{2c}}$$

Fórmula 2.

Dos primeros miembros de la expresión del cálculo Gaussiano para un dioptrio, sin tener en cuenta el espesor.

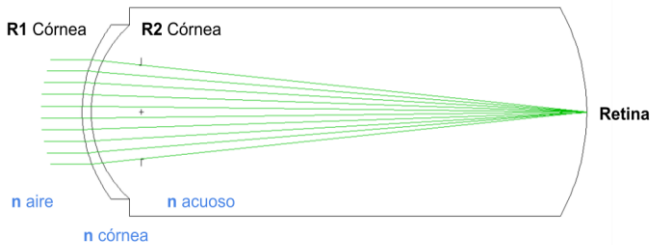


Figura 2.

Representación paraxial fórmula True Net Power para la córnea de un ojo emétrope mediante programa OSLO.

Varios estudios afirman que el PCA es clínicamente relevante, ya que reduce el astigmatismo corneal total en de 13,4%, en media y, en el 28,8% de los ojos, provoca que el astigmatismo corneal total difiera del astigmatismo corneal anterior en más de 0,50 D o en más de 10 grados.<sup>(5)</sup>

Savini y cols. (2014) demostraron que, en ojos con astigmatismo de moderado a alto, una diferencia de 0,50 D o más en la magnitud del astigmatismo corneal total y queratométrico está presente en el 16,6% de los casos, mientras que una diferencia de 10 grados o más en la ubicación del meridiano más curvo existe en el 3,8% de los casos.<sup>(6)</sup> Kaur y cols. (2017) estipulan que para el cálculo del poder de la LIO tórica es esencial la consideración del astigmatismo corneal total: no hacerlo implica una sobre corrección con factor de 1,38 en ojos con astigmatismo a favor



de la regla (WTR, with the rule siglas en inglés) y una infra corrección con factor de 0,65 en ojos con astigmatismo en contra de la regla (ATR, against the rule siglas en inglés).<sup>(7)</sup>

Por todo ello se han desarrollado varios nomogramas y modelos matemáticos para predecir el PCA, sin medirlo cualitativamente.

En primer lugar, podemos citar entre estos el nomograma de Baylor (2013)<sup>(8)</sup> y los coeficientes de ajuste desarrollados por Goggin y cols (2008).

Abulafia y cols. (2015) obtuvieron una fórmula de regresión matemática para estimar el astigmatismo corneal total en base a medidas queratométricas estándar.<sup>(9)</sup> Por su parte, la calculadora de Barrett permite utilizar los datos reales medidos de la superficie posterior o el valor previsto por su fórmula.

Reitblat y cols. (2020) establecieron que en casos de alto PCA, las mediciones directas de la CP pueden suponer una ventaja potencial sobre los estimados en los cálculos de lentes intraoculares (LIO) tóricas y la suma vectorial del astigmatismo corneal anterior y posterior.<sup>(10)</sup>

Para la correcta caracterización del astigmatismo corneal, tanto anterior como posterior y su tratamiento matemático no bastan sumas algebraicas. Debemos entender el fenómeno astigmático como dos vectores ortogonales de diferente potencia. El problema que enfrentamos para la comparación o el tratamiento estadístico es que no son matemáticamente independientes entre ellos. Por tanto, será necesario realizar una descomposición vectorial.

## **2.1 Vectores de potencia y método de Alpíns**

En la refracción astigmática obtenemos dos cilindros correspondientes a los dos meridianos principales descritos por

la córnea. Representamos la refracción esferocilíndrica en un espacio tridimensional con ejes X, Y y Z, siguiendo el método descrito por Thibos y cols. (2010).<sup>(11)</sup>

Los tres vectores se describen de la siguiente manera:

El Vector M es el equivalente esférico de la refracción esferocilíndrica.

$$M = S + \frac{C}{2}$$

Fórmula 3.

Vector M equivalente esférico

Expresamos el astigmatismo mediante 2 cilindros cruzados de Jackson (CCJ) con sus ejes a 0°/90° (J0) y 45°/135° (J45), y cuyas expresiones matemáticas son:

$$J_0 = \left(-\frac{C}{2}\right) \cdot \cos 2\alpha$$

Fórmula 4.

Componente J0

$$J_{45} = \left(-\frac{C}{2}\right) \cdot \sen 2\alpha$$

Fórmula 5.

Componente J45

Con este método de descomposición en vectores se puede expresar un error esferocilíndrico en 3 potencias dióptricas (M, J0 y J45) que representan las coordenadas de un vector en ejes X, Y y Z de un espacio tridimensional (Figura 3).

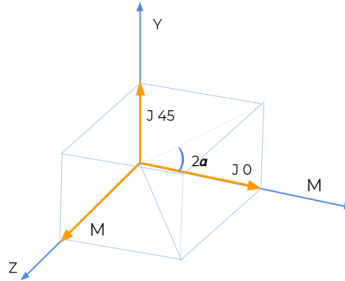


Figura 3.  
Representación tridimensional de los vectores.

Una vez descompuestos en vectores independientes matemáticamente, únicamente será necesario realizar sumas o restas algebraicas para valorar la variación dióptrica. Volveremos a la notación esferocilíndrica de la siguiente manera:

$$Esfera = M - \frac{C}{2}$$

Fórmula 6.

Cálculo de esfera

$$Cilindro = -2 \sqrt{J_0^2 + J_{45}^2}$$

Fórmula 7.

Cálculo de cilindro

$$Eje = \frac{1}{2} \cdot \text{atan} \frac{J_{45}}{J_0}$$

Fórmula 8.

Cálculo de eje

Publicado en 1993 <sup>(12)</sup>, el método de Alpíns en la actualidad forma parte de un software propio <sup>(13)</sup> para el cálculo y análisis de la cirugía refractiva en córnea y cataratas.

De un modo similar al descrito previamente en la descomposición trigonométrica, Alpíns utiliza un sistema de

ángulo doble para evitar los problemas derivados de la propia definición angular del astigmatismo, donde un vector a  $0^\circ$  es igual en características a uno de  $180^\circ$ .<sup>(14)</sup> Además, representa gráficamente de una manera más intuitiva la refracción astigmática agrupando por sectores los diferentes astigmatismos.

Pero su intención va más allá del mero análisis vectorial del astigmatismo corneal. En concreto, el software desarrolla un método de análisis del éxito refractivo de los tratamientos quirúrgicos empleados analizando 1) el vector correspondiente al astigmatismo preoperatorio (TIA), 2) el vector correspondiente a la corrección aplicada en un tratamiento para su corrección (SIA) y 3) la diferencia entre ellos (Figura 4).<sup>(14)</sup>

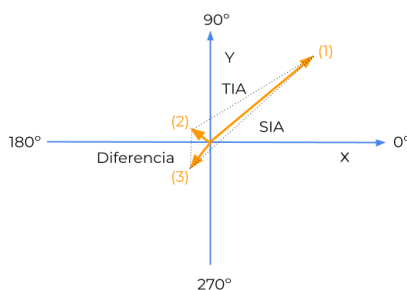


Figura 4.

Diagrama del método de análisis vectorial Alpíns<sup>(15)</sup>

Definiendo las coordenadas de los astigmatismos preoperatorio (1), objetivo (2) y obtenido (3).

## 2.2 Plataformas de guiado intraoperatorio

Para alcanzar los resultados deseados en cirugía con LIO tórica, existen plataformas que mejoran y predicen el ajuste final del eje, como son el Verion, el ORA System y el láser de femtosegundo.

Verion™ (Reichert™ Technologies, Buffalo, NY, EEUU) es una plataforma cuyo componente prequirúrgico es capaz de realizar una topografía corneal y un registro del limbo esclerocorneal del paciente.<sup>(1)</sup> Esta información es exportada al componente intraoperatorio, el cual proyecta el marcaje de los ejes principales corneales sobre el globo ocular. De esta manera somos capaces de controlar la ciclotorsión del globo ocular, al encontrarse en decúbito supino durante la intervención, y propiciar la correcta orientación de la LIO tórica.

El aberrómetro intraoperatorio ORA (Ocular Response Analyzer, Reichert™ Technologies, Buffalo, NY, EEUU) actúa tanto como elemento de guiado para el posicionamiento de la LIO, como un refractómetro intraoperatorio.

Es capaz de descomponer el frente de onda resultante de la reflexión en retina de un SLED infrarrojo. Mediante el sistema de medición Talbot-Moiré, constituido por dos rejillas Ronchi donde se difracta el frente de onda, separadas a una distancia específica y un ángulo de compensación entre sí, producen una franja patrón. Las aberraciones de bajo orden causan distorsiones en dicho patrón de franjas, y el software de inteligencia artificial los descompone en polinomios de Zernike, que se traducen al valor de refracción a tiempo real.

Previo a la intervención, la cirugía de cataratas es asistida por láser de femtosegundo (FLACS). Su finalidad es reemplazar los pasos menos predecibles y técnicamente más exigentes de los procedimientos de cataratas convencionales. Un láser guiado por ordenador conectado a un sistema de imágenes ópticas (Tomografía de Coherencia Óptica, OCT) realiza los pasos de incisión corneal, capsulotomía y fragmentación del cristalino.<sup>(17)</sup>

La capsulotomía es más precisa en cuanto a su centrado, forma y tamaño. También logra una mejor posición efectiva del lente

y reduce las aberraciones de orden superior.<sup>(18)</sup> La fragmentación cristalina previa con el láser reduce el riesgo de pérdida del endotelio corneal y edema corneal postoperatorio.<sup>(19,20)</sup> La energía disipada acumulada utilizada en FLACS es menor en comparación con la facoemulsificación convencional, ya que el láser fragmenta el núcleo de forma previa a la intervención <sup>(21)</sup> y la necesidad del uso de ultrasonidos es menor.

Por ello, en este estudio ha sido posible reproducir la capsulotomía anterior, la facofragmentación y las incisiones corneales en cada uno de los pacientes.

El equipo de quirófano (LenSx®Laser, Alcon LenSX, Inc.) del Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa hace uso de un diámetro de capsulotomía de 5,2 mm y 5,50 uJ de energía. El tamaño de la incisión principal es de 2,5 mm a 145° (en verde), mientras que el de la incisión secundaria es de 1,1 mm a 40° (Figura 5).

Se emplea un solo pulso de láser de femtosegundo, extirpando así el tejido ocular con una mayor precisión y minimizando los efectos colaterales durante la intervención. <sup>(22)</sup> La energía usada es de 9 uJ en los diferentes cortes de la capsulorrexis de 5,5 mm.

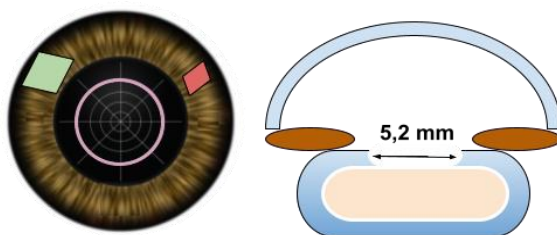


Figura 5.

Representación gráfica de las incisiones corneales y tamaño de la capsulotomía utilizados en el láser de femtosegundo LenSx.

### **3. PROTOCOLO, POBLACIÓN DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA ESTADÍSTICA**

El estudio prospectivo se desarrolló siguiendo los principios establecidos en la Declaración de Helsinki y el Comité Ético de Investigación Clínica de Aragón (CEICA). Se pretendía realizar una evaluación del astigmatismo corneal, pre y postquirúrgico, con diferentes dispositivos en el entorno de consultas externas del Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa. El estudio se desarrolló desde el mes de Noviembre de 2021 hasta Mayo de 2022.

Los criterios de inclusión para las medidas de ORA System fueron que dicha valoración se hubiera realizado en afaquia, por el mismo cirujano, una vez aplicado el viscoelástico de baja densidad, y en NRR (rotación no recomendada, siglas en inglés). Las LIO implantadas fueron modelo de Alcon SN6AT(2-9) (Alcon Laboratories, Inc., Fort Worth, Texas, EEUU). A todos nuestros pacientes se les solicitó el consentimiento (ANEXO I) para participar dándoles la libertad de poder abandonar el estudio en cualquier momento. Los pacientes eran informados por teléfono del motivo de la cita y aceptaron libremente. Se les notificó que se les realizaría una exploración postoperatoria para el proyecto de investigación, además de una revisión complementaria de su salud visual.

Los criterios de exclusión fueron los siguientes: Los pacientes que presentaban problemas limbares, incisiones relajantes o arqueadas, o un incorrecto posicionamiento de la LIO. Se excluyeron si se dieron complicaciones durante la cirugía, no eran colaborativos, tenían inestabilidad zonular (p. ej., síndrome de Marfan, síndrome de pseudoexfoliación) antecedentes de infección corneal (p. ej., herpes simple, herpes zóster, u otras afecciones corneales como edema, ectasias,

opacidades, cicatrices, ojo seco severo o astigmatismo irregular). Inicialmente se estudiaron un total de 97 ojos, y tras el criterio de exclusión se obtuvieron un total de 42 ojos de 34 pacientes.

## **4.1 Clasificación**

El análisis de subgrupos se basó en la orientación del astigmatismo corneal anterior. Los ojos se consideraban con astigmatismo WTR cuando el meridiano corneal anterior más curvo oscilaba entre 60 y 120 grados, astigmatismo ATR cuando estaba entre 0 y 30 grados, o entre 150 y 180 grados, y astigmatismo oblicuo en el resto de los casos ( $135^{\circ}/45^{\circ} \pm 20^{\circ}$ ).

## **4.2 Clínica y protocolo exploratorio**

La toma de dichas mediciones se realizó por la mañana, en el entorno de consultas externas del Hospital Clínico Lozano Blesa. Durante el estudio se recogieron los datos de los pacientes siguiendo el siguiente protocolo:

- Protocolo preoperatorio en consulta:

Exploración oftalmológica y optométrica; biomicroscopía, toma de la AV (agudeza visual) en visión lejana con optotipo de Snellen a 6 m, antecedentes médicos, autorefractometría, biometría óptica (Aladdin, Topcon Corporation, Tokyo, Japón) y recuento endotelial (CEM-530, NIDEK CO. LTD., Gamagori, Japón). Se usó la fórmula SRK/T para calcular el componente esférico, y Abulafia-Koch para la toricidad de la LIO en todos los casos.

- Protocolo intraoperatorio:

1. Marcaje con sistema Verion.



2. Capsulorrexis y facofragmentación con láser FLACS.

3. Medición aberrométrica intraoperatoria con ORA System.

- Protocolo postoperatorio:

Exploración oftalmológica y optométrica; biomicroscopía, toma de la AV en visión lejana con optotipo de Snellen a 6 m, refracción subjetiva y tomografía con Oculus Pentacam.

### 4.3 Análisis estadístico

Los valores intraoperatorios de cada paciente se extrajeron de la plataforma ORA Analyzer y se volcaron en la base de datos. Haciendo uso del paquete estadístico “*Statistical Package for the Social Sciences*” (SPSS 24.0 Inc., IBM, Armond, NT, EEUU) se valoró la distribución de la normalidad de todas las variables con el test de Kolmogorov-Smirnov. Se realizó una estadística descriptiva de la muestra conforme a variables demográficas y características clínicas, calculando la media y desviación estándar de las variables descriptivas cuantitativas continuas, mientras que para los valores cualitativos se obtienen las frecuencias absolutas y relativas.

Para el estudio del astigmatismo se realizó el análisis estadístico mediante la toolbox para Matlab de Qvision “*Análisis de Resultados con Lentes Intraoculares y Cirugía Refractiva Láser*”. Con ella se representaron los gráficos de doble ángulo el astigmatismo pre, intra y postoperatorio en los casos a estudio.

## 4. RESULTADOS

Se han analizado un total de 42 ojos de 34 pacientes tras implante de LIO tórica, donde el 62% son mujeres y el 38% hombres. La media de edad de los pacientes fue de  $69.5 \pm 11.89$  años, en un rango de 39 a 90 años. De los 42 ojos, el 50% presentaban un astigmatismo de cara anterior WTR, 34% astigmatismo ATR y el 16% oblicuo. La tabla 1 muestra dichos datos demográficos del grupo de estudio obtenidos mediante el tomógrafo Oculus Pentacam.

TABLA 1. Datos demográficos iniciales de los ojos incluidos en el análisis	
Parámetro	n/promedio $\pm$ SD (Rango)
Pacientes (n)	34
Edad (años)	$69.5 \pm 11.89$ (39-40)
Ojos (n)	42
Ojos astigmatismo WRT (n)	21
Ojos astigmatismo ATR (n)	14
Ojos con astigmatismo oblicuo (n)	7
Longitud axial media (mm)	$23.61 \pm 2.38$ (21.00-27.42)
Blanco-Blanco (mm)	$12.01 \pm 0.63$ (11.00-13.89)
Datos presentados como n o promedio absoluto $\pm$ SD. Los rangos se muestran entre paréntesis.	

En la tabla 2 encontramos los parámetros corneales de curvatura y contribución dióptrica desglosados según la clasificación anteriormente mencionada. Los datos han sido obtenidos con el dispositivo Oculus Pentacam.

TABLA 2. Parámetros de los ojos incluidos en el análisis según clasificación.	
Medición Oculus Pentacam	promedio $\pm$ SD (Rango)
WTR	
Kplana (D)	$42.42 \pm 2.09$ (37.50/45.60)
Kcurvada (D)	$45.63 \pm 2.08$ (41.10/48.90)
Contribución (D)	$3.22 \pm 1.50$ (0.90/7.40)
Kplana posterior (D)	$-5.95 \pm 0.33$ (-6.60/-5.50)
Kcurvada posterior (D)	$-6.74 \pm 0.37$ (-7.40/-6.00)
Contribución cara posterior (D)	$0.78 \pm 0.30$ (0.30/1.60)
ATR	
Kplana (D)	$42.43 \pm 1.51$ (39.30/44.10)
Kcurvada (D)	$45.57 \pm 1.05$ (44.00/47.40)
Contribución (D)	$3.09 \pm 1.02$ (0.90/4.80)
Kplana posterior (D)	$-6.26 \pm 0.20$ (-6.50/-5.80)
Kcurvada posterior (D)	$-6.48 \pm 0.23$ (-6.80/-6.10)
Contribución cara posterior (D)	$0.21 \pm 0.15$ (0.00/0.50)
OBLICUO	

Kplana (D)	$41.61 \pm 1.27$ (40.30/44.10)
Kcurvada (D)	$44.05 \pm 1.06$ (42.90/45.60)
Contribución (D)	$2.79 \pm 0.55$ (2.00/3.70)
Kplana posterior (D)	$-5.86 \pm 0.21$ (-6.20/-5.60)
Kcurvada posterior (D)	$-6.60 \pm 0.48$ (-7.60/-6.20)
Contribución cara posterior (D)	$0.73 \pm 0.53$ (0.10/1.80)
<b>Datos presentados como n o promedio absoluto <math>\pm</math> SD. Los rangos se muestran entre paréntesis.</b>	

Obtenemos dos diagramas de ángulo doble para la representación del error refractivo postoperatorio en dos subgrupos, siendo el primero aquellos implantados con la recomendación de LIO de ORA (Figura 6) y el segundo aquellos implantados con la LIO sugerida por el calculador de Abulafia (Figura 7).

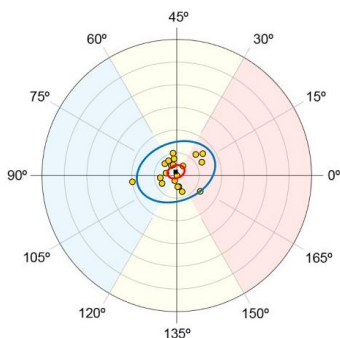


Figura 6.  
Refracción final siguiendo  
la recomendación de ORA.

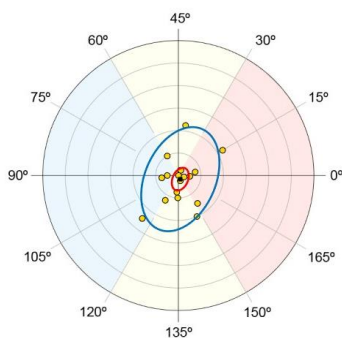


Figura 7.  
Refracción final implantando  
la LIO sugerida por Abulafia.

## 5. DISCUSIÓN

Las LIO tóricas constituyen el tratamiento de elección en astigmatismos mayores a 1,00 D queratométrica en cirugía de catarata.<sup>(5)</sup> Durante el desarrollo de este trabajo no hemos lidiado con sorpresas refractivas postoperatorias ni complicaciones asociadas.

En este estudio prospectivo hemos obtenido valores de PCA en astigmatismos ATR significativamente menores a los otros subgrupos ( $0,21 \pm 0,15$ ). En el 50% de los casos se implantó la LIO recomendada por ORA, con media de astigmatismo postoperatorio de  $0,76 \text{ D} \pm 0,47 \text{ D}$  (Figura 6). En el 50% restante de los casos se colocó la LIO recomendada por el biómetro con una media de astigmatismo final  $0,84 \text{ D} \pm 0,77 \text{ D}$  (Figura 7).

En el análisis por subgrupos el centroide no se encuentra desplazado, por lo que entendemos que no existe sobre o infra corrección por parte del PCA.

ORA predijo  $1,18 \text{ D} \pm 0,85 \text{ D}$  de refracción postoperatoria. La media de las refracciones finales fue de  $0,89 \text{ D} \pm 0,72 \text{ D}$ . La AV final de nuestros pacientes osciló entre 20/25 y 20/20 en la escala de Snellen. Siendo 20/20 el valor típico.

Las plataformas de guiado intraoperatorio son nuevas tecnologías al alcance de unos pocos centros. Junto con la aberrometría intraoperatoria, traen consigo un nuevo panorama quirúrgico que puede suponer situaciones de discrepancia con tecnologías anteriores. La nueva información obtenida debe ser estudiada y desarrollada, con objeto de mejorar la predictibilidad y eficacia de las futuras intervenciones de cirugía de catarata.

Ma y cols.<sup>(21)</sup> establecieron que la aberrometría intraoperatoria no parece proporcionar ningún beneficio adicional a las fórmulas de predicción modernas. No obtuvieron diferencias

entre Barrett Universal II (81% de eficacia para alcanzar el objetivo refractivo) y la aberrometría intraoperatoria (82% eficacia).

Greenwood y cols.<sup>(22)</sup> establecen que la colocación de la lente recomendada por ORA cuando tiene una potencia mayor que la seleccionada antes de la operación da como resultado mejores resultados refractivos.

En nuestro contexto, ORA arrojó mejores resultados estadísticos frente a una fórmula de regresión que estima la PCA. Por tanto, sería interesante comparar la aberrometría intraoperatoria con una fórmula de cálculo de cuarta generación que integre la CP corneal. Esto arrojaría más luz sobre las ventajas e inconvenientes de esta técnica frente a la biometría convencional.

Explorando el trabajo futuro, en primer lugar se debe aumentar el tamaño de la muestra, en pro de obtener resultados fiables que asistan a las decisiones del facultativo en caso de discrepancia de estas dos tecnologías. Asimismo, debe caracterizarse los diferentes tipos de astigmatismo posterior (ATR, WTR y oblicuo), como ya se realiza en otros estudios, para obtener unos resultados más precisos y una individualización de cada caso. Por último, sería recomendable dar información útil a la plataforma sobre la refracción final de los pacientes, ya que al basarse en inteligencia artificial, mejoraría su capacidad de predicción.

## 6. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en el estudio podemos resaltar los siguientes puntos:

- Las LIO tóricas son un tratamiento eficaz para la corrección de altos astigmatismos en cirugía de catarata.
- El dispositivo Oculus Pentacam explora de forma no invasiva, eficaz, sencilla y reproducible la cara posterior corneal.
- El dispositivo de guiado intraoperatorio Verion sustituye al marcado de los ejes tradicional aportando seguridad y comodidad en la intervención.
- En astigmatismos ATR, la cara posterior presentó un poder dióptrico significativamente menor.
- No existe correlación entre la cara posterior corneal y la refracción postoperatoria.
- La aberrometría intraoperatoria resulta ser más eficaz en el cálculo de la LIO a implantar que la fórmula de regresión de Abulafia-Koch, sobre todo en astigmatismos oblicuos.
- En un 70% de las veces en las que la aberrometría y Abulafia difieren en el cálculo de la LIO, existe un astigmatismo posterior de más de 0,50 D.
- En un 100% de los casos para astigmatismo oblicuo la aberrometría y Abulafia difieren en el cálculo de la LIO. Siendo la aberrometría más eficaz en la determinación de la toricidad de la LIO.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Tañá Rivero P, Ruiz Mesa R, Aguilar Córcoles S. ORA System. Aberrometría intraoperatoria. Cristóbal JA, Ruiz Mesa R, eds. by. Astigmatismo. Métodos diagnósticos y terapéuticos. 1.ª ed. Madrid: Sociedad Española de Oftalmología; 2019. pp. 419–428.
2. Camps VJ, Piñero Llorens DP, de Fez D, Coloma P, Caballero MT, Garcia C, Miret JJ. Algorithm for correcting the keratometric estimation error in normal eyes. *Optom Vis Sci*. 2012; 89: 221-8.
3. Koch DD, Ali SF, Weikert MP, Shirayama M, Jenkins R, Wang L. Contribution of posterior corneal astigmatism to total corneal astigmatism. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2012 Dec;38(12):2080–7.
4. Savini G, Versaci F, Vestri G, Ducoli P, Næser K. Influence of posterior corneal astigmatism on total corneal astigmatism in eyes with moderate to high astigmatism. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2014 Oct;40(10):1645–53.
5. Kaur M, Shaikh F, Falera R, Titiyal JS. Optimizing outcomes with toric intraocular lenses. *Indian Journal of Ophthalmology* 2017 Dec 1; 65(12):1301–13.
6. Ribeiro F, Ferreira T, Zabala L. Importancia de la cara posterior de la córnea. En: Cristóbal JA, Ruiz Mesa R, eds. by. Astigmatismo. Métodos diagnósticos y terapéuticos. 1.ª ed. Madrid: Sociedad Española de Oftalmología; 2019. pp. 137–145.
7. Abulafia A, Barrett GD, Kleinmann G, Ofir S, Levy A, Marcovich AL, et al. Prediction of refractive outcomes with toric intraocular lens implantation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2015 May;41(5):936–44.
8. Reitblat O, Levy A, Megiddo Barnir E, Assia EI, Kleinmann G. Toric IOL Calculation in Eyes With



- High Posterior Corneal Astigmatism. *Journal of Refractive Surgery*. 2020 Dec;36(12):820–5.
9. Thibos LN, Horner D. Power vector analysis of the optical outcome of refractive surgery. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2001 Jan;27(1):80–5.
  10. Alpíns NA. A new method of analyzing vectors for changes in astigmatism. *Journal of Cataract and Refractive Surgery* 1993 ;19(4):524–33.
  11. Alpíns N. Alpíns Statistical System for Ophthalmic Refractive Surgery Techniques <http://www.assort.com/>; Noel Alpíns; 2015.
  12. Calvo Sanz JA. Método de cálculo de potencia de lentes intraoculares con manejo del astigmatismo corneal: validación del método bicilíndrico [Doctor]. Universidad Complutense de Madrid; 2019.
  13. Holladay JT, Cravy TV, Koch DD. Calculating the surgically induced refractive change following ocular surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 1992 Sep;18(5):429–43.
  14. Alpíns NA. A new method of analyzing vectors for changes in astigmatism. *Journal of Cataract and Refractive Surgery* 1993 Jul 1;19(4):524–33.
  15. Bille JF, editor. *High Resolution Imaging in Microscopy and Ophthalmology: New Frontiers in Biomedical Optics* Cham (CH): Springer; 2019.
  16. Nagy ZZ, Kránitz K, Takacs AI, Miháltz K, Kovács I, Knorz MC. Comparison of intraocular lens decentration parameters after femtosecond and manual capsulotomies. *Journal of Refractive Surgery* (Thorofare, NJ: 1995) 2011;27(8):564–9.
  17. Al-Mohtaseb Z, He X, Yesilirmak N, Waren D, Donaldson KE. Comparison of Corneal Endothelial Cell Loss Between Two Femtosecond Laser Platforms and Standard Phacoemulsification. *Journal of Refractive Surgery* (Thorofare, NJ: 1995) 2017 33(10):708–12.
  18. Krarup T, Ejstrup R, Mortensen A, la Cour M, Holm LM. Comparison of refractive predictability and

- endothelial cell loss in femtosecond laser-assisted cataract surgery and conventional phaco surgery: prospective randomised trial with 6 months of follow-up. *BMJ open ophthalmology* 2019;4(1):e000233.
19. Suryawanshi M, Alsaïdi R. Femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Oman Journal of Ophthalmology*. 2020;13(1):1.
  20. Loesel FH, Tien A-C, Backus SJ, et al. Effect of reduction of laser pulse width from 100 ps to 20 fs on the plasma-mediated ablation of hard and soft tissue. In: *Thermal therapy, laser welding, and tissue interaction*; 1999.
  21. Ma J, El-Defrawy S, Lloyd J, Rai A. Prediction accuracy of intraoperative aberrometry compared with preoperative biometry formulae for intraocular lens power selection. *Canadian Journal of Ophthalmology Journal Canadien D'ophtalmologie*. 2021 Jul 22.
  22. Greenwood MD, Hutchison JW, Gorham RA, Kramer BA. The Use of Intraoperative Aberrometry in Normal Eyes: An Analysis of Intraocular Lens Selection in Scenarios of Disagreement. *Journal of Refractive Surgery* (Thorofare, NJ: 1995). 2022 May 1;38(5):304–9.

## **ANEXO I: CONSENTIMIENTO INFORMADO**

### **DOCUMENTO DE INFORMACIÓN PARA EL PARTICIPANTE**

#### **ESTUDIO DEL ASTIGMATISMO EN CIRUGÍA DE CATARATA**

Nos dirigimos a usted para invitarle a participar en un estudio prospectivo para un trabajo final de grado, en el Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa en colaboración con la Universidad de Zaragoza. Su participación es importante para obtener el conocimiento que necesitamos, pero antes de tomar una decisión debe leer este documento entero, entender la información que contiene el documento y firmar el consentimiento informado, si finalmente desea participar. Se le entregará una copia de este documento.

*Hoy en día, la cirugía de cataratas ya no tiene como objetivo únicamente la extracción del cristalino. Propiciado por los avances en la última década, ha evolucionado en una técnica refractiva cuya finalidad es la emetropía. El objetivo actual persigue obtener un error residual refractivo dentro de  $\pm 0,50$  dioptrías de equivalente esférico, y  $< 0,75$  dioptrías en el cilindro residual. Por este motivo y con el objetivo de mejorar continuamente la calidad asistencial a los pacientes, el Servicio de Oftalmología del Hospital Clínico Universitario*

*Lozano Blesa de Zaragoza junto con la Universidad de Zaragoza desarrolla este estudio que pretende establecer una relación entre la contribución astigmática de la cara posterior corneal en los resultados refractivos, y la eficacia y fiabilidad del sistema de aberrometría intraoperatoria ORA System.*

*Para la evaluación de la situación visual de pacientes sanos se llevan a cabo dos exploraciones enumeradas a continuación: agudeza visual, refractometría y tomografía con PENTACAM. Todas estas exploraciones son no invasivas, no dolorosas y se llevarán a cabo en el entorno de las consultas del Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa, en una revisión a cargo del Servicio de Oftalmología. Su participación en este estudio implica la aceptación de que, de modo absolutamente confidencial, sean recogidos y utilizados los resultados de sus exploraciones con el objetivo del proyecto de investigación.*

Toda la información recogida se tratará conforme a lo establecido en la Ley Orgánica 3/2018, **de protección de datos de carácter personal**. En la base de datos del estudio no se incluirán datos personales: ni su nombre, ni su nº de historia clínica ni ningún dato que le pueda identificar. Se le identificará por un código que sólo el equipo investigador podrá relacionar con su nombre.

Sólo el equipo investigador tendrá acceso a los datos de su

historia clínica y nadie ajeno al centro podrá consultar su historial.

Para ejercer su derecho de acceso, rectificación, cancelación y oposición respecto a sus datos obtenidos durante el estudio debe ponerse en contacto con el investigador principal.

Las conclusiones del estudio se presentarán en congresos y publicaciones científicas pero se harán siempre con datos agrupados y nunca se divulgará nada que le pueda identificar.

Usted tiene derecho a conocer los **resultados del presente estudio**, tanto los resultados generales como los derivados de sus datos específicos. También tiene derecho a no conocer dichos resultados si así lo desea. Por este motivo en el documento de consentimiento informado le preguntaremos qué opción prefiere. En caso de que desee conocer los resultados, el investigador le hará llegar los resultados.

En ocasiones al realizar un proyecto de investigación se encuentran hallazgos inesperados que pueden ser relevantes para la salud del participante. En el caso de que esto ocurra nos pondremos en contacto con usted para que pueda acudir a su médico habitual.

Tal como se ha señalado, **su participación es totalmente voluntaria**, puede decidir no participar o retirarse del estudio en cualquier momento sin tener que dar explicaciones y sin

que esto repercute en su atención sanitaria. Basta con que le manifieste su intención al investigador principal del estudio.

En caso de duda o para cualquier consulta relacionada con su participación puede ponerse en contacto con el investigador responsable, **Dña SOFÍA BIELSA ALONSO** por correo electrónico en la dirección [sofiabielsa@gmail.com](mailto:sofiabielsa@gmail.com) o a través del teléfono de contacto: 722185777

Muchas gracias por su atención, si finalmente desea participar le rogamos que firme el documento de consentimiento que se adjunta.

## **DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**

**Título del PROYECTO: ESTUDIO DEL  
ASTIGMATISMO EN CIRUGÍA DE CATARATA**

Yo,..... (nombre y apellidos del participante).

He leído el documento de información que se me ha entregado.

He podido hacer preguntas sobre el estudio y he recibido suficiente información sobre el mismo.

He hablado con Dña. SOFÍA BIELSA ALONSO.

Comprendo que mi participación es voluntaria.

Comprendo que puedo retirarme del estudio:

- 1) cuando quiera
- 2) sin tener que dar explicaciones
- 3) sin que esto repercuta en mis cuidados médicos

Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

Deseo ser informado sobre los resultados del estudio:    sí  
no    (marque lo que proceda)

**Si procede:** Doy mi conformidad para que mis datos clínicos sean revisados por personal ajeno al centro, para los fines del estudio, y soy consciente de que este consentimiento es revocable.

He recibido una copia firmada de este Consentimiento Informado.

Firma del participante: .....

Fecha: .....

He explicado la naturaleza y el propósito del estudio al paciente mencionado

Firma del Investigador: .....

Fecha: .....

