

Serie de Casos Clínicos: Cálculo Biométrico Avanzado

Case Series: Advanced Biometric Calculation

Sara Marquina-Martín MSc^{1*}, Rubén Hernández Vián PhD², Irene Altemir Gómez PhD²,
Francisco J. Castro Alonso MSc³

1: Instituto de Investigación Sanitaria de Aragón (IIS Aragón), España.

2: Hospital Universitario Miguel Servet de Zaragoza, España.

3: Hospital de Alcañiz, Teruel, España.

*smarquina@iisaragon.es

Recibido: 26 de julio del 2024

Aceptado: 23 de septiembre del 2024

Publicado: 18 de noviembre del 2024

Financiación: Ninguno de los autores declaran tener financiaciones

Declaración de Conflictos de Intereses: Ninguno de los autores declaran tener conflictos de intereses.

Relevancia: Desde hace años, se han ido desarrollando diferentes modelos matemáticos que buscan optimizar el cálculo de la potencia de la lente intraocular a implantar en la cirugía de catarata. No obstante, los resultados refractivos finales siguen siendo variables, especialmente en casos en los que determinados parámetros oculares difieren de lo normal.

Propósito: Nuestro objetivo es describir diferentes metodologías de cálculo que podemos utilizar según el defecto refractivo preoperatorio y los antecedentes quirúrgicos oculares del paciente, y valorar la eficacia predictora de los mismos.

Informes de casos: El primer caso clínico trata de un paciente operado previamente de LASIK miópico, para el que se utilizaron fórmulas específicas como Pearl-DGS, EVO, Barrett True K post refractive o el calculador de la ASCRS, para el cálculo de la potencia de la LIO. Las cuatro fórmulas utilizadas, teniendo en cuenta los datos pre-LASIK, predijeron una potencia de LIO de +18.00D, buscando el primer negativo en el EE. Tras implantar esta lente, se obtuvo una refracción residual de -0.25D en EE.

El segundo caso trata de un paciente con astigmatismo corneal de -1.90D al que se le propone realizar unas incisiones corneales arcuatas con el láser de femtosegundo, de acuerdo con el nomograma de Castrop. Según este, con una edad de 79 años y un astigmatismo corneal de -1.90D, se realizaron dos incisiones corneales arcuatas con una longitud de arco de 51° en el meridiano de 86° en la zona óptica de 8.5 mm. En la revisión de alta, el paciente presentaba un EE de -0.75D.

Y, en el tercer caso clínico, el paciente tiene un astigmatismo corneal de -3.50D, por lo que se decide implantar una LIO tórica, calculando la potencia de dicha lente según las fórmulas de Kane Toric, Barrett Toric o el calculador ZCT (de la propia casa comercial). Todas estas fórmulas estimaban una potencia similar de +22.00D con un cilindro de 6.00D. Tras la cirugía, se obtuvo una refracción residual de +0.25esf -0.75cil 127° con un EE de -0.12D.

Conclusiones: Gracias a los nuevos modelos matemáticos desarrollados en los últimos años, en los que se incluyen importantes parámetros como la potencia de la cara posterior de la córnea, la refracción y queratometría antes de la cirugía refractiva, el espesor del cristalino o la profundidad de la cámara anterior, y también a la incorporación de la inteligencia artificial en algunos de los métodos, se obtienen cada vez menos sorpresas refractivas. No obstante, siguen existiendo variables desconocidas y otras de difícil estimación que influyen en estos resultados como son la posición efectiva de la lente (considerada la principal fuente de error), o las propias alteraciones provocadas por la cirugía o posibles complicaciones quirúrgicas, como sucede en la rotación de una LIO tórica, con su notable repercusión refractiva.

Palabras clave: LASIK, Astigmatismo, Arcuatas, Lente Intraocular, Fórmulas Biométricas.

Relevance: Over the years, various mathematical models have been developed to optimize the calculation of intraocular lens power for cataract surgery. However, final refractive outcomes remain variable, especially in cases where certain ocular parameters deviate from the norm.

Purpose: Our goal is to describe different calculation methodologies that can be employed based on the patient's preoperative refractive error and surgical history, and to assess the predictive efficacy of these methods.

Case reports: The first case involves a patient who had previously undergone myopic LASIK, for whom specific formulas such as Pearl-DGS, EVO, Barrett True K post-refractive, or the ASCRS calculator were used to determine the intraocular lens (IOL) power. All four formulas, taking pre-LASIK data into account, predicted an IOL power of +18.00D, aiming for the first negative in the spherical equivalent (SE). After implanting this lens, a residual refraction of -0.25D SE was achieved.

The second case concerns a patient with corneal astigmatism of -1.90D who was recommended femto-second laser arcuate incisions based on the Castrop nomogram. According to this, given the patient's age of 79 years and corneal astigmatism of -1.90D, two arcuate incisions with an arc length of 51° were made at the 86° meridian in the 8.5 mm optical zone. At the final follow-up, the patient had an SE of -0.75D.

In the third case, the patient had corneal astigmatism of -3.50D, and a toric IOL was chosen. The lens power was calculated using formulas such as Kane Toric, Barrett Toric, or the ZCT calculator (from the manufacturer). All formulas estimated a similar power of +22.00D with a cylinder of 6.00D. Post-surgery, a residual refraction of +0.25sph -0.75cyl 127° with an SE of -0.12D was obtained.

Conclusions: Thanks to the new mathematical models developed in recent years, which include critical parameters such as the power of the posterior corneal surface, pre-refractive surgery refraction and keratometry, lens thickness, and anterior chamber depth, as well as the integration of artificial intelligence into some methods, refractive surprises are becoming less frequent. However, unknown variables and others that are difficult to estimate continue to influence these results, such as the effective lens position (considered the main source of error), or alterations caused by surgery and potential complications, such as toric IOL rotation, which can significantly impact refractive outcomes.

Keywords: LASIK, Astigmatism, Arcuate Incisions, Intraocular Lens, Biometric Formulas.

RELEVANCIA DE LOS CASOS

El término catarata hace referencia a la pérdida progresiva de la transparencia del cristalino que afecta a la visión. En los primeros estadios de la catarata, existen diversas indicaciones que pueden ser temporalmente efectivas; sin embargo, el único tratamiento definitivo es la intervención quirúrgica, la cual consiste en la extracción del cristalino opacificado y su sustitución, siempre que sea posible, por una lente intraocular (LIO) con una potencia calculada para cada paciente. No obstante, sólo está indicada la intervención quirúrgica cuando la opacidad del cristalino ha alcanzado un grado significativo dificultando así la vida cotidiana del paciente, o cuando predispone a posibles alteraciones del segmento anterior, como el glaucoma pseudoexfoliativo o el glaucoma por cierre angular (1,2).

Para garantizar el éxito de dicha intervención es muy importante un correcto cálculo de la potencia de la lente intraocular a implantar. En la mayoría de los casos, lo ideal es dejar el ojo emétrope, pero esto depende de las

necesidades y requisitos de cada paciente. Para realizar dicho cálculo, hay que tener en cuenta diversos parámetros anatómicos y ópticos del ojo como la longitud axial (LA), la profundidad de la cámara anterior (ACD) y el espesor del cristalino (LT), así como la queratometría (K), entre otros.

Por otro lado, existen diversas fórmulas para el cálculo de la LIO que hay que conocer y saber elegir en función de las características de cada paciente. Las más usadas son Holladay I, SRK/T y Hoffer Q (3–5), las cuales se basan en la LA y la K, y en una sola constante. La fórmula de Haigis utiliza tres mediciones, la LA, la K y la ACD preoperatoria, y tres constantes de la LIO (a_0 , a_1 y a_2). La fórmula de Holladay II se basa en siete mediciones, entre las cuales está la edad y la distancia blanco-blanco horizontal (WTW) (6); y, la fórmula de Barrett usa un ojo modelo teórico donde la ACD es relativa a la LA y la K, y se determina también por la constante A y un factor de la lente (7).

Por tanto, en función de la longitud axial del ojo, de la queratometría o de la profundidad de la cámara anterior, utilizaremos una fórmula u otra; así como, si el pa-

A continuación, se presentan tres casos clínicos, en los que los pacientes acudieron a su centro ambulatorio por pérdida de visión, donde fueron diagnosticados de catarata, y posteriormente citados en las consultas de ARCCA (Hospital Provincial de Zaragoza) para realizarles las pruebas de preoperatorio para la cirugía de catarata. En ninguno de los casos se incluyó información clínica identificable de ningún paciente.

Tras una cirugía de LASIK miópico, el ojo presenta unas Ks aplanadas en el centro que, si no se tienen en cuenta a la hora de elegir las fórmulas correctas, hacen que se asuma una posición efectiva de la lente (ELP) intraocular implantada errónea. Este problema puede resolverse teniendo en cuenta dos valores queratométricos: las po-

Este calculador nos proporciona la potencia obtenida con diversas fórmulas, en función de los datos que introducimos (Figura 2), así como un intervalo entre el cual se encontraría la potencia ideal para la LIO de nuestro paciente, en este caso, entre +17.68 D y +18.55 D. Finalmente, se implanta la lente Croma EyeCee One Bausch +18.00 D, con un equivalente esférico (EE) -0.46 D.

Figura 1. Cálculo de la potencia de la LIO a implantar en un paciente operado de LASIK miópico mediante el "IOL Calculator for Eyes with Prior Myopic LASIK/PRK"

IOL calculation formulas used: Double-K Holladay 1¹, Shammas-PL², Haigis-L³, OCT-based⁴, & Barrett True K⁵

Using IAKR		Using no prior data	
¹ Adjusted DRSP	—	² Wang-Koch-Maloney	—
² Adjusted Atlas 9500 (4mm zone)	—	³ Shammas	18.45 D
³ Adjusted Atlas Ring Values	—	⁴ Haigis L	17.68 D
Master Formula	17.88 D	⁵ Guller	—
Modified Master	18.55 D	⁶ Polin 810 Pentacom	17.99 D
⁷ Adjusted ACCP/ADWPP	—	⁸ OCT	—
⁹ Barrett True K	18.23 D	¹⁰ Barrett True K No History	17.98 D
Average IOL Power (All Available Formulas): 18.12 D			
Min: 17.68 D			
Max: 18.55 D			

Figura 2. Potencia calculada para la LIO obtenida por diversas fórmulas según los datos introducidos previamente en el calculador "IOL Calculator for Eyes with Prior Myopic LASIK/PRK"

En la revisión de alta, al mes de la cirugía, el paciente presenta: AV Snellen sin corrección 1.0, PIO 16 mmHg y unos resultados refractivos de 0.00 D esf -0.25 D cil x 10°. El EE final ha resultado ser más positivo del precicho, por lo que, si no se hubiese tenido en cuenta la cara posterior de la córnea en dicho cálculo y, simplemente, nos hubiésemos fiado del cálculo del biómetro, la potencia de la LIO a implantar hubiese sido menor (+17.50 D), con un EE de -0.11 D, y puede que el paciente hubiese quedado ligeramente hipermetrope. Teniendo en cuenta que tiene un ojo con características miopes, quizás no hubiese sido el mejor resultado, en cuanto a confort visual del paciente.

CASO CLÍNICO 2

El segundo caso es un varón de 79 años, sin antecedentes familiares ni personales, en tratamiento con AntiVEGT en OI por una membrana neovascular corioidea.

Se le toma AV Snellen 0.16 del OD, tonometría 13 mmHg AO, microscopía endotelial 2838 células/mm², OCT mac-

ular normal. En los resultados tanto del autorrefractómetro como del biómetro óptico y la topografía corneal se puede observar un astigmatismo a favor de la regla de en torno a 2.00 D (Figura 3), y cuyos valores queratométricos y meridianos coinciden en las tres pruebas realizadas. Los datos utilizados para el cálculo son: LA 23.70mm, ACD 2.67mm, K1 44.20D 176°, K2 46.13D 86°.

El astigmatismo residual postoperatorio es una de las principales causas de resultados visuales no deseados y de una escasa satisfacción del paciente. Diversos estudios indican que la incidencia del astigmatismo corneal preoperatorio está en un 87% de los pacientes, y en un 22.2% de ellos es ≥ 1.50 D. Por ello, ya es usual corregir dicho astigmatismo corneal durante la cirugía de catarata con técnicas que incluyen incisiones relajantes limbares, incisiones corneales periféricas o implantación de lentes intraoculares tóricas. Además, con los avances que proporciona la tecnología del láser de femtosegundo, también es posible corregirlo con arcuatas realizadas por dicho láser (12).

Por tanto, tras la necesidad de corregir frecuentemente astigmatismos entre 0.75 D y 2.50 D, Jascha A et al. desarrollaron un nomograma basado en el láser de fem-

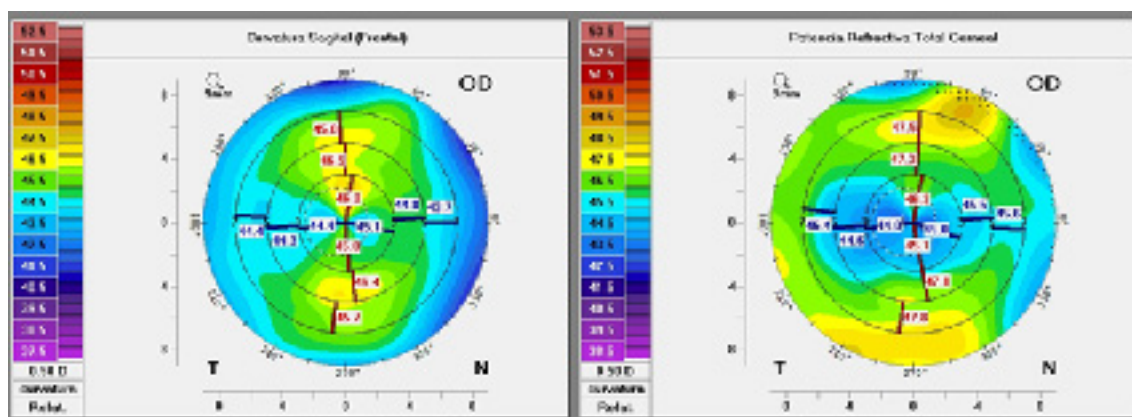


Figura 3. Mapa topográfico del OD antes de la cirugía, en el que se observa un astigmatismo a favor de la regla

tosegundo para realizar las arcuatas, modificando el nomograma de Oshika et al. (13).

En este caso, como el paciente no presenta ninguna otra patología sistémica ni ocular, no se observan opacidades corneales, tiene una buena hendidura palpebral y dilata bien; se propone para realizarle unas arcuatas con el láser de femtosegundo durante la intervención quirúrgica.

De acuerdo con el nomograma mencionado anteriormente, siendo la edad del paciente de 79 años y teniendo un astigmatismo corneal de 1.90 D, se realizan dos arcuatas con una longitud de arco de 51° en el meridiano de 86° , el más curvo. Además, la zona óptica se mantiene en 8.5 mm, y la profundidad de las arcuatas se calcula a partir de la paquimetría y se fija en el 80% del grosor corneal medido en la periferia a 4.25 mm del ápex corneal (13).

Respecto al cálculo de la potencia de la LIO a implantar, en las medidas realizadas por el biómetro ocular se puede observar que se trata de un ojo "normal" de LA 23.70 mm, ACD intermedia y potencias queratométricas ni muy curvas ni muy planas. Por tanto, según la literatura, para este tipo de ojos la mayoría de fórmulas proporciona buenos resultados con mínimas diferencias (14,15). Se realiza entonces el cálculo con la fórmula Barrett y se elige una potencia de +19.50 D para la lente LIO AMO Tecnis 1 ZCB00, obteniéndose un EE de -0.16 D.

El paciente es revisado al mes y a los tres meses de la cirugía. En la primera revisión, AV ETDRS sin corrección 0.18, con corrección (-0.50 D esf) 0.1; y, en la segunda visita, AV ETDRS sin corrección 0.28, con corrección (-0.75 D esf) 0.08. Respecto al astigmatismo, va disminuyendo (0.25 D con respecto a la revisión de mes) y estabilizándose con el paso del tiempo, mejorando a su vez la AV. El EE es ligeramente más negativo de lo predicho, aunque no va a influir negativamente al paciente, teniendo en cuenta su edad y la necesidad de gafas para cerca, este residual negativo le ayudará a leer determinados tamaños de letra.

CASO CLÍNICO 3

El tercer caso es una mujer de 70 años, sin antecedentes familiares ni personales, en tratamiento con Xalatan en OD por PIO alta.

Se le toma AV Snellen 0.4 del OI, tonometría 13 mmHg AO, microscopía endotelial 2324 células/mm², OCT macular normal, OCT nervio óptico donde se observa una excavación papilar central con buen rodete. En los resultados tanto del autorrefractómetro como del biómetro y la topografía corneal se observa un astigmatismo en contra de la regla de unas -3.50 D (Figura 4), y cuyos valores queratométricos y meridianos coinciden en las tres pruebas realizadas. De esta forma, al haber realizado tres pruebas diferentes basadas en diferentes principios ópticos, se pueden comparar todos los resultados y dar una mayor precisión a dicha medida. Los datos utilizados para el cálculo son: LA 22.75mm, ACD 3.19mm, K1 44.00D 94° , K2 47.81D 4° .

Gracias al aumento de la previsibilidad y a una mayor seguridad en la implantación de LIOs tóricas, estas se han convertido en el procedimiento de elección para corregir el astigmatismo corneal ≥ 1.00 D, concediéndole al paciente una independencia de las gafas y una mayor satisfacción postoperatoria (16).

Una fórmula ideal para el cálculo de la potencia de una LIO tórica debe tener en cuenta el astigmatismo inducido quirúrgicamente (SIA), la curvatura corneal posterior, y la ELP; por ello, cada cirujano debe determinar su SIA y tenerlo en cuenta a la hora del cálculo.

La LIO tórica del paciente se calcula con el calculador tórico de Barrett, el cual también tiene en cuenta el astigmatismo corneal posterior, confiriéndole una mayor predicción (17). Con el fin de comparar los resultados obtenidos, se calcula también con el calculador tórico de Johnson & Johnson, y con la fórmula EVO para LIOs tóricas. Y, todos ellos, nos recomiendan la misma potencia y toricidad, ZCT600 +22.00 D (17,18).

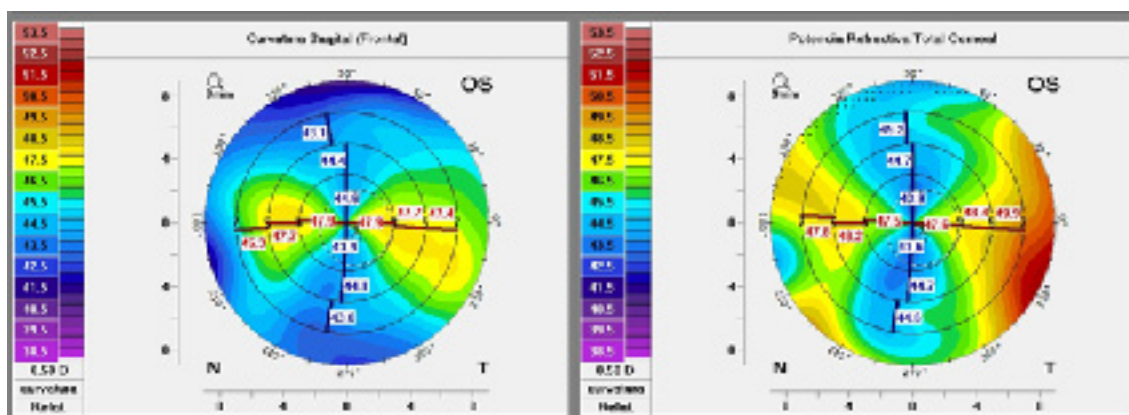


Figura 4. Mapa topográfico del OI antes de la cirugía, en el que se observa un astigmatismo en contra de la regla

En la revisión de alta, al mes de la cirugía, el paciente presenta: AV Snellen sin corrección 0.7, PIO 13 mmHg y resultados refractivos de +0.25 D esf -1.00 D cil x 125°. A pesar de que el EE final (-0.25 D) es muy similar al predicho por Barrett (-0.29 D), se obtiene un astigmatismo residual no esperado. Como ni el valor del cilindro ni el del eje nos coincide, sospechamos de un giro de la LIO tórica que, al dilatarle la pupila al paciente y observarle con la lámpara de hendidura, se puede ver como las marcas características de dicha lente están rotadas unos 10° - 15° en sentido antihorario de su posición ideal.

La desalineación postoperatoria de la LIO tórica es el principal factor responsable de tener unos resultados visuales óptimos. En el 0.65% - 3.3% de los casos es necesaria la realineación de la lente tras haber rotado más de 10° respecto al eje objetivo (12,16).

Por cada grado mal colocada, disminuye un 3.33% la potencia compensadora de la lente. En un giro de 30°, hace que la lente no compense nada; y si el giro es mayor de 30°, induce un astigmatismo añadido. Por tanto, si la LIO tórica está girada unos 10 - 15° de su posición, no compensará 1/3 del astigmatismo corneal del paciente. Trátándose de alrededor de una dioptría de astigmatismo residual, que es lo que hemos obtenido en el postoperatorio (19).

Existen diversos calculadores que calculan el giro que ha sufrido la lente y cómo hay que recolocarla. En este caso, se utiliza el recalculador tórico del Instituto de Oftalmología Avanzada, según el cual nuestra LIO tórica se ha girado -15.57° en sentido antihorario (Figura 5) (20). Finalmente, se decide no girar la LIO tórica puesto que la paciente acepta muy bien llevar gafas con el astigmatismo residual que había quedado, en el caso de querer mejorar su AV hasta la unidad. Si, por el contrario, se hu-

biese decidido reintervenirla, lo ideal sería girar la lente entre la 3ª - 4ª semana tras el implante, realizando un control refractivo y corneal hasta el momento del giro.

CONCLUSIONES

Los resultados refractivos obtenidos en el primer y segundo caso fueron muy buenos, y reflejan el buen comportamiento predictivo de las fórmulas de cálculo utilizadas, como se observa en los resultados, consiguiendo una mejoría notable de la calidad visual de los pacientes. Sin embargo, en el tercer caso se obtuvo una refracción residual que no coincidía con la estimada por las fórmulas. Tras analizar las posibles causas del error de cálculo, se confirmó que se debía a una rotación de la LIO tórica implantada, que provocaba la pérdida de la eficacia correctora del cilindro.

Gracias a los nuevos modelos matemáticos desarrollados en los últimos años, en los que se incluyen importantes parámetros como la potencia de la cara posterior de la córnea, la refracción y queratometría antes de la cirugía refractiva, el espesor del cristalino o la profundidad de la cámara anterior, y también a la incorporación de la inteligencia artificial en algunos de los métodos, se obtienen cada vez menos sorpresas refractivas. No obstante, siguen existiendo variables desconocidas y otras de difícil estimación que influyen en estos resultados como son la posición efectiva de la lente (considerada la principal fuente de error), o las propias alteraciones provocadas por la cirugía o posibles complicaciones quirúrgicas, como sucede en la rotación de una LIO tórica, con su notable repercusión refractiva.

Datos Refracción

Previa Qx	Esférica	Cilindro	Eje	Post Qx	Esférica	Cilindro	Eje
	0	-1.75	175		-0.75	-1	127

Datos Queratometría

Previa-Qx	K plana	Eje	K curva	Eje	Astigmatismo	Eje
	44.25	90	47.75	180	3.5	180
Post Qx	K plana	Eje	K curva	Eje	Astigmatismo	Eje
	43.75	92	47.75	2	4	2

Posición de la lente tórica implantada

Sin girar

Resultados obtenidos

Giro de la lente: -15.57° en sentido antihorario

Figura 5. Recalculador Tórico del Instituto de Optometría Avanzada. Tras introducir la refracción preoperatoria y postoperatoria, y los valores queratométricos pre y post cirugía, nos da el giro que ha sufrido la LIO tórica

REFERENCIAS

1. Thompson J, Lakhani N. Cataracts. Prim Care. 2015 Sep 1;42(3):409–23.
2. Lee CM, Afshari NA. The global state of cataract blindness. Curr Opin Ophthalmol. 2017 Jan;28(1):98–103.
3. Holladay JT, Musgrove KH, Prager TC, Lewis JW, Chandler TY, Ruiz RS. A three-part system for refining intraocular lens power calculations. J Cataract Refract Surg. 1988 Jan;14(1):17–24.
4. Retzlaff JA, Sanders DR, Kraff MC. Development of the SRK/T intraocular lens implant power calculation formula. J Cataract Refract Surg. 1990 May;16(3):333–40.
5. Hoffer KJ. The Hoffer Q formula: A comparison of theoretic and regression formulas. J Cataract Refract Surg. 1993 Nov;19(6):700–12.
6. Matrix-optical Representation of Currently Used Intraocular Lens Power Formulas. Journal of Refractive Surgery. 2009 Jan;25(2):229–34.
7. Barrett GD. An improved universal theoretical formula for intraocular lens power prediction. J Cataract Refract Surg. 1993 Nov;19(6):713–20.
8. Aramberri J. Intraocular lens power calculation after corneal refractive surgery: Double-K method. J Cataract Refract Surg. 2003 Nov;29(11):2063–8.
9. Post Myopic LASIK Holladay IOL Consultant IOL Power Calculator | East Valley Ophthalmology.
10. Hoffer Q Formula ~ IOL Intraocular Lens Power Calculations | East Valley Ophthalmology.
11. IOL power calculator in post-myopic LASIK/PRK eyes.
12. Hernandez R, Almenara C, Soriano D, Idoipe M, Larrosa JM, Pablo LE, et al. Toric intraocular lens implantation vs. femtosecond laser-assisted arcuate keratotomy for correction of moderate astigmatism in cataract surgery. J Cataract Refract Surg. 2021 Dec 21;
13. Wendelstein JA, Hoffmann PC, Mariacher S, Wingert T, Hirnschall N, Findl O, et al. Precision and refractive predictability of a new nomogram for femtosecond laser-assisted corneal arcuate incisions. Acta Ophthalmol. 2021 Dec 1;99(8):e1297–306.
14. Intraocular Lens Power Calculations ~ IOL Power Calculations | East Valley Ophthalmology.
15. Kane JX, Chang DF. Intraocular Lens Power Formulas, Biometry, and Intraoperative Aberrometry: A Review. Ophthalmology. 2021 Nov 1;128(11):e94–114.
16. Kaur M, Shaikh F, Falera R, Titiyal JS, Prasad R. Optimizing outcomes with toric intraocular lenses. 2017;
17. Toric Calculator V2.0.
18. EVO Toric IOL Calculator v2.0.
19. Felipe A, Artigas JM, Díez-Ajenjo A, García-Domene C, Alcocer P. Residual astigmatism produced by toric intraocular lens rotation. J Cataract Refract Surg. 2011 Oct;37(10):1895–901.
20. Cálculo LIO tórica. IOA Toric Recalculator.

ABREVIATURAS

- ACD: Profundidad de la Cámara Anterior
- AO: Ambos Ojos
- AV: Agudeza Visual
- cil: cilindro
- D: Dioptrías
- DMAE: Degeneración Macular Asociada a la Edad
- EE: Equivalente Esférico
- ELP: Posición Efectiva de la Lente esf: esfera
- K: Queratometría
- LA: Longitud Axial
- LASIK: Laser Assisted in Situ Keratomileusis
- LIO: Lente Intraocular
- LT: Espesor del Cristalino
- OCT: Tomografía de Coherencia Óptica
- OD: Ojo Derecho
- OI: Ojo Izquierdo
- PIO: Presión Intraocular
- SIA: Astigmatismo Inducido Quirúrgicamente
- WTW: Distancia Blanco-Blanco Horizontal