Cálculo biométrico tras cirugía refractiva

Juan Carlos Mesa Gutiérrez
Doctor en Medicina, Máster en Diseño de Investigaciones Clínicas, Máster MBE, FEBO

José Porta Monnet, Isabel Cabiró Badimón, Vicente Amías Lamana, Antonio Rouras López
Servicio de Oftalmología del Hospital de l'*Esperit Sant, Santa Coloma de Gramanet* (Barcelona)

Cada vez es más frecuente programar para cirugía de cataratas a pacientes a los que previamente se ha efectuado cirugía refractiva. El problema que surge con tales pacientes es el de calcular una lente intraocular de potencia adecuada para conseguir un grado de ametropía satisfactorio. El cálculo inexacto de la potencia dióptrica de la LIO a implantar en la cirugía de catarata tras la realización de cirugía refractiva es un problema de importancia creciente[1,2,3,4].

El cálculo de la lente intraocular (LIO) en pacientes intervenidos de cirugía refractiva corneal es mucho más complejo de lo normal, pues además de tener longitudes axiales extremas, que ya complica por sí mismo el cálculo, se añaden factores por la cirugía previa que alteran la predictibilidad de las fórmulas existentes.

La sorpresa refractiva tras la cirugía de cristalino se convierte, por tanto, en una situación frecuente en estos pacientes. Las razones son dos: un cálculo incorrecto de la potencia corneal y una estimación incorrecta de la posición efectiva de la lente (effective lens position, ELP) cuando se calcula mediante una fórmula teórica de tercera generación y se utiliza solamente la Kpost sin efectuar las correcciones oportunas.

La potencia dióptrica total de la córnea es la suma de la potencia de la cara anterior (lente convexa) y de la posterior (lente cóncava). Tras la cirugía refractiva se produce un cambio en la curvatura de la superficie anterior, mientras que no cambia la superficie posterior. La queratometría tradicional y la queratometría simulada por la topografía corneal estima la potencia corneal midiendo los 3,2 mm centrales de la superficie anterior. Para una córnea normal prolata esta asunción es adecuada, pero tras cirugía refractiva la relación se altera. Los instrumentos que miden tanto la superficie anterior como la posterior, como el Orbscan y el Pentacam, pueden disminuir este error en la determinación de la potencia corneal total (**Figura 1**). No obstante, los errores de la queratometría pueden tener otras implicaciones[5,6,7].

LABORATORIOS Thea
INNOVACIÓN

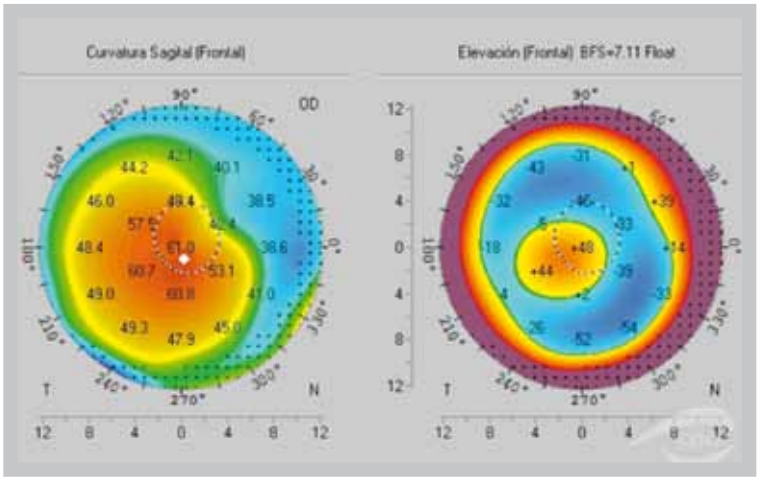


FIGURA 1: **Potencia de cara anterior y cara posterior.**

La queratometría calcula una potencia media corneal utilizando un índice de refracción de 1,3375, un valor que promedia las potencias dióptricas de la superficie corneal anterior y posterior. Tras la cirugía refractiva estas relaciones ya no se mantienen, lo que origina un error en el cálculo de la ELP. La alteración en la relación entre la cara anterior y posterior de la córnea tras un procedimiento refractivo y la utilización del índice queratométrico estándar condiciona que la lectura queratométrica aportada por los queratómetros o por los topógrafos sea inexacta, pero no condiciona más que de manera secundaria un error en el cálculo de la ELP. Si la K se mide mal repercutirá en el cálculo de la ELP, pero aunque se midiera bien, si se utiliza dicha K postcirugía refractiva, la ELP se calcularía bien para esa K pero resultaría inadecuada para ese ojo y para lograr la emetropía, pues sería necesario utilizar la K previa a la cirugía refractiva, donde la lectura con los aparatos habituales fue correcta utilizando el índice queratométrico estándar para el cálculo de la ELP[8,9,10,11].

La alteración del índice de refracción tras cirugía refractiva corneal es otra fuente de error: los queratómetros estándar se basan en un índice de refracción de la córnea de 1,3375 para convertir el radio de curvatura a potencia dióptrica. Tras la cirugía refractiva el índice de refracción se altera[12,13,14]. Tras cirugía refractiva ablacional se produce un aplanamiento de la superficie anterior de la córnea sin que cambie la posterior. Esta alteración de la relación en la que se basa el valor del índice queratométrico estándar (1,3375) conduce a una sobreestimación de la potencia corneal total por parte del queratómetro. Ejemplo: se obtiene una medida de 37 dioptrías cuando el valor real es de 35. Otros factores responsables de este error son: mayor asfericidad central en la córnea, cambio en el índice de refracción del estroma corneal y medición más periférica ya que las miras se proyectan más periféricas en una córnea aplanada (**Figura 2**)[15].

Por tanto, medir la potencia corneal neta no es lo más indicado ya que los valores utilizados por los queratómetros y topógrafos no se cumplen en estos ojos. La razón principal parece ser el cambio en la relación entre los radios de curvatura anterior y posterior de la córnea, que ya no es de 7,5/6,3. Esto invalida los valores de los distintos índices de refracción corneales

Laboratorios Thea publica íntegramente los manuscritos recibidos de sus legítimos autores, sin introducir modificaciones en los mismos, y por ello no se hace responsable de las opiniones e informaciones contenidas en los artículos.

Edita: **Domènec Pujades.** ISSN: 1887-8342.
© Artículo: **Juan Carlos Mesa Gutiérrez, José Porta Monnet, Isabel Cabiró Badimón, Vicente Amías Lamana, Antonio Rouras López.**
© Revista **Laboratorios Thea**.

Todos los derechos reservados. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etc.), sin el permiso previo del titular de los derechos de la propiedad intelectual.

Impresión: **Eurogràfica Sant Vicenç** - Depósito legal: B-26698/2007.

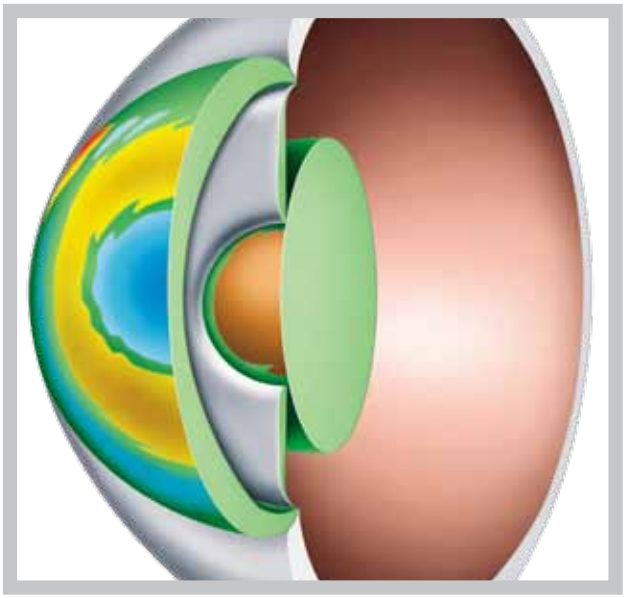


FIGURA 2: **Alteración en la medida de la ACD.**

(índice de refracción estándar= 1,3375; SRK/T= 1,3333) que permite el cálculo del poder refractivo total de la córnea a partir del radio de curvatura de la superficie anterior de la córnea en ojos no intervenidos[16,17].

Un problema añadido es que no podemos cuantificar la desviación entre el cambio en la potencia refractiva de la córnea medido y el cambio refractivo para determinar un factor de corrección. Aunque se han propuesto valores medios (14-25 % del cambio refractivo), la dispersión es demasiado alta, probablemente como resultado de los cambios en la curvatura corneal posterior [8,16,17].

Además, la sorpresa refractiva postoperatoria puede ser explicada por la ineficacia de la fórmula de cálculo cuando utilizamos solamente la Kpost. Las fórmulas biométricas están diseñadas para calcular el poder de la LIO según un valor de queratometría estándar, por lo que si se aplican en estos pacientes se obtienen errores refractivos tras la cirugía de la catarata (**Figura 3**).

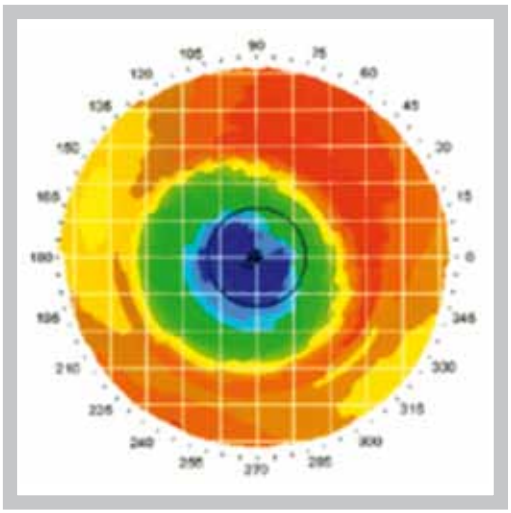


FIGURA 3: **Keratometría posoperatoria.**

Las fórmulas de 3ª generación (SRK/T, Hoffer/Q, Haigis, Holladay-II) se basan en la posición de la lente respecto de la córnea (la ELP o posición efectiva de la lente) para aumentar su exactitud. El cálculo de la ELP puede realizarse **midiendo** la profundidad de la cámara anterior (Haigis) o **estimando** la profundidad de cámara anterior (SRK/T, Hoffer-Q). De esta manera, si la queratometría no es exacta, trasladamos este error al cálculo de la ELP.

Cualquier fórmula teórica de 3ª generación realiza dos pasos: primero, utiliza la longitud axial (LA) y la K para calcular la *anterior chamber depth* (ACD). Después, esta variable, junto con la LA y la K nuevamente, se utilizan para calcular la potencia dióptrica de la LIO. Si consideramos que en el primer paso se realiza una estimación de la profundidad de la cámara anterior (ACD), y que esta

distancia anatómica no cambia después de la cirugía refractiva, parece obvio que utilizar un valor de K menor que el original (el que resulta de la cirugía refractiva) nos proporcionará una infravaloración de la ELP y por tanto de la potencia de la LIO, con la consiguiente sorpresa refractiva postoperatoria[8,16,17].

Aramberri propone una modificación en la fórmula SRK/T en la cual la Kpre se utiliza para estimar la ELP y la Kpost para calcular el poder dióptrico de la LIO (fórmula doble-K). Cualquier fórmula de 3ª generación puede corregirse para que utilice la Kpre para el cálculo de ELP y la Kpost para el cálculo de la potencia de la LIO[7].

Una importante conclusión sería que registrar la Kpre es crítico para el cálculo de la ELP. De hecho, sólo en aquellos pacientes en los que dispongamos de la historia refractiva previa (Kpre y Rpre) podremos estimar la ELP utilizando una fórmula de 3ª generación con la corrección doble-K (**Figura 4**) de Aramberri[7]:

FIGURA 4: Fórmula SRK-T con corrección doble-K.

Ecuación 1: Radio de curvatura corneal preoperatorio:
Rpre= 337,5/Kpre

Ecuación 2: Longitud axial corregida (LAcor):
Si LA < 24,2, LAcor= LA
Si LA > 24,2, LAcor= –3,446 + 1,716 x LA – 0,0237 x LA^2

Ecuación 3: Espesor corneal (cw):
cw= –5,41 + 0,58412 x LAcor + 0,098 x Kpre

Ecuación 4: Altura corneal (H):
H= Rpre – Sqrt (($Rpre^2$–(cw2/4)) (srqt: raíz cuadrada)

Ecuación 5: Valor del OFFSET:
Offset= ACDconst-3,336

Ecuación 6: Posición efectiva de la lente estimada (ACDest):
ACDest= H + Offset.

Ecuación 7: Constantes:
V=12; n_a= 1,336; n_c=1333; n_{cml}= 0,333

Ecuación 8: Grosor retiniano (Rethick) y LA óptica (LAopt):
Rethick= 0,65696 – 0,02029 x LA
LAopt= LA + Rethick

Ecuación 9: Radio de curvatura corneal postoperatorio:
R_{post}= 337,5/Kpost

Ecuación 10: Poder dióptrico de la LIO para lograr emetropía (LIOem):
LIOem= (1000 x n_a x (n x R_{post} -n_{cml} x LA opt))/
(LAopt-ACDest) x n_a x R_{post} – n_{cml} x ACDest))

Las fórmulas biométricas están diseñadas para calcular el poder de la LIO según un valor de queratometría estándar, por lo que si se aplican en estos pacientes se obtienen errores refractivos tras la cirugía de la catarata. Al realizar cirugía refractiva corneal ya no son válidos los valores de la queratometría[5].

Por tanto, el proceso de cálculo de la potencia de la LIO debe modificarse cuando se practica en un ojo sometido a cirugía refractiva corneal. Ya que existen dos fuentes de error (la incorrecta predicción de la ELP por parte de la fórmula y la determinación errónea de la potencia de la córnea por parte de la queratometría) la corrección de estos dos factores permitirá realizar un cálculo correcto en estos ojos[4,5]:

1. Predicción de la ELP (método doble-k): se debe utilizar la K previa a la cirugía corneal en el algoritmo de predicción de la ELP y la Kpost en el cálculo de vergencia como potencia de la primera lente del sistema.

2. Determinación de la potencia corneal tras cirugía refractiva: Tras la cirugía refractiva ablacional la superficie anterior de la córnea se aplana, sin que cambie la cara posterior. Esta relación alterada conduce a una sobrestimación de la potencia corneal por parte de los queratómetros: se hace necesario realizar una corrección de la Kpost.

Se han descrito varios métodos que permiten determinar correctamente la potencia de la córnea, dependiendo de los datos de los que dispongamos[5].

En líneas generales, podemos encontrarnos ante cuatro posibles situaciones:

1. Conocemos la queratometría y refracción preoperatorias (**Kpre y Rpre**) y queratometría y refracción post-operatorias (**Kpost y Rpost**). La Rpost puede ser no ser fiable.

2. No conocemos la Rpre, pero sí el resto de datos (**Kpre, Rpost y Kpost**).

3. Conocemos la Rpre y la refracción y queratometría postoperatorias (**Rpost y Kpost**), pero no sabemos la Kpre.

4. No conocemos ningún dato anterior a la cirugía, sólo disponemos de la **Kpost**.

Kpre será el valor medido antes de la cirugía refractiva corneal, si se dispone de él. En caso contrario puede calcularse sumando las dioptrías corregidas en córnea al valor que definamos como Kpost o utilizar un valor estándar de 43,5 ó 44.

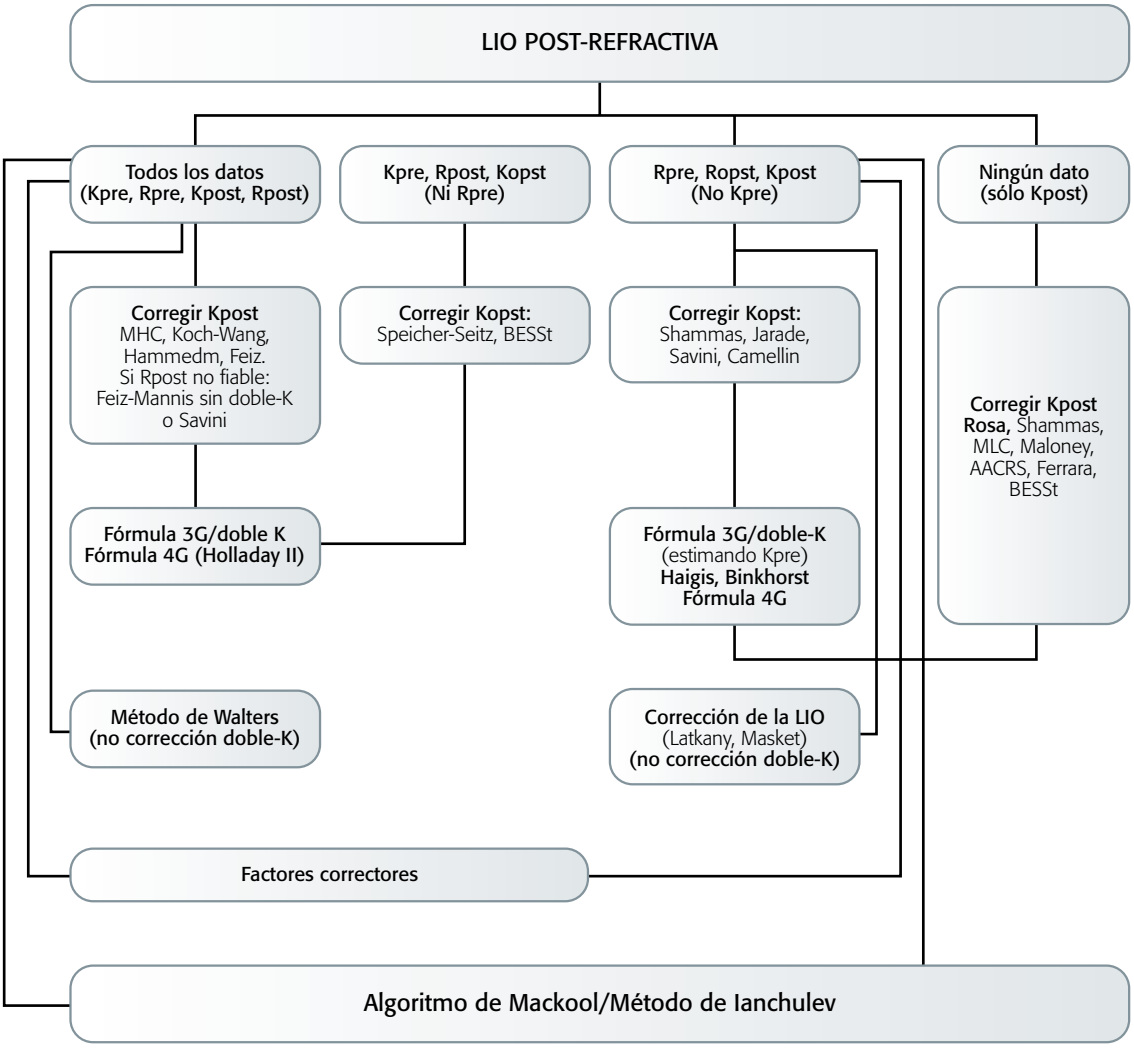
Es conveniente emplear varios métodos de estimación de la Kpost, y si los resultados difieren, es conveniente utilizar el valor más bajo en ojos miopes y el más alto en ojos hipermétropes, excepto para los métodos de Ferrara y Rosa.

1. LASIK miópico

La fórmula que emplearemos para la conversión entre plano de gafa y plano corneal es:

dioptrías-plano corneal= dioptrías-gafa / 1 – (dioptrías-gafa * 0.012)

El algoritmo de cálculo para las diferentes situaciones sería el siguiente (**Figura 5**):



En resumen, tenemos métodos para corregir la potencia de la córnea tras cirugía refractiva o métodos para corregir la LIO calculada (**Tablas 1 y 2**):

TABLA 1: Métodos de corrección de la Kpost.

Necesitan historia refractiva	No necesitan historia refractiva
MHC	MLC
Método Koch-Wang	Método de Maloney-Koch
Método Speicher-Seitz	Método Savini-Barboni-Zanini
Ajuste de índices refractivos: Savini, Camellin, Jarade	Método de Shammas
	Ajuste de índices refractivos: Ferrara, Rosa, BESSt

TABLA 2: Métodos de corrección de la LIO.

Necesitan historia refractiva	No necesitan historia refractiva
Doble-K de Aramberri	Doble-K de Aramberri (Kpre= 43,5)
Fórmula de Feiz-Mannis	Ianchulev
Métodos de Latkany	Mackool
Método de Masket	
Método de Wake-Forest	

1a) Conocemos todos los datos: Kpre, Kpost, Rpre y Rpost (Rpost fiable)

a) Método de la Historia Clínica (MHC)[6].

Kpost-corregida= Kpre – EEpre + EEpost
EEpre: Equivalente esférico pre-operatorio.
EEpost: Equivalente esférico post-operatorio.

Pongamos como ejemplo un paciente con una Kpre= 49,25D, una Rpre (EEpre) en plano de gafas de -8 D y una Rpost= -1D.

EEpre (distancia vértex 12 mm): -8 D
Rpre en plano corneal: -8/(1-[0,012 * -8*])= -7,30 D
EEpost (distancia vértex 12 mm): -1 D
Rpost en plano corneal: -1/(1-[0,012*-1])= -0,98
Rpost-Rpre= -7,30 – (-0,98): -6,32D
Kpost-corregida= Kpre-corrección= 49,25-6,32= 42,93D.

A continuación podemos utilizar la fórmula SRK/T con la corrección doble-K (Kpre y Kpost-corregida) de Aramberri[7]:

b) Modificación de K topoqueratométrica[8].

Kpost-corregida: Kmedia (SimK)-15 % dioptrías corregidas.

Ejemplo:
simK= 37D,
corrección de 10D,
Kpost-corregida= 37-1,5= 35,5D.
Introducimos los datos en cualquier fórmula con corrección doble-K.

c) Método de Koch-Wang[10].

Realizamos una topografía corneal y tomamos el valor EffRp (effective refractive power)

Kpost-corregida= EffRp + (ΔD * 0,19)

d) Método de Hammed[10, 11].

Tomamos igualmente el valor EffRp y realizamos la corrección:

Kpost-corregida= EffRPadj= EffRp – (ΔD/0,15)

e) Índices topográficos del Orbscan y Pentacam[12].

Los mapas que calculan la potencia paraxial son el *Mean Total Power* en el Orbscan y el *Net Power* en el Pentacam (**Figura 6**). Los topógrafos de hendidura escaneada permiten medir las caras anterior y posterior de la córnea, siendo posible obtener directamente la potencia total de la córnea sumando los valores reales de ambas superficies.



FIGURA 6: **Pentacam.**

Por tanto, podremos evitar la asunciones en que se basan los queratómetros y topógrafos de Plácido (K= 1,3375). Esta K no es la auténtica potencia paraaxial de la córnea central, ya que el índice de refracción que mejor aproxima dicho valor es de 1,3315. Sin embargo, 1,3375 es el valor que utilizan las fórmulas de vergencia más empleadas. Por tanto, los valores obtenidos con el Orbscan y el Pentacam se convierten mediante la suma de un factor a un equivalente del índice queratométrico estándar K (1,3375): para el *Pentacam Net Power* sería +0.95 y +1,1 para el Orbscan *Mean Total Power* (MTP).

Ejemplo: ojo operado de 4D de miopía,
SimK= 40,7 dioptrías,
MTP= 38,86.
Kpost= 38,86+1,1 = 39,86

f) Método de Feiz[12].

Kpost-corr= Kpost – 0.23 * ΔEEpc.
ΔEEpc: Cambio de EE en plano corneal.

g) Método del by-pass corneal (Walter-Wake-Forest)[13].

Introducimos la Kpre y la longitud axial (AXL) en la fórmula de cálculo con una refracción diana equivalente a la refracción pre-LASIK.

Ejemplo:
Refracción pre-LASIK= -11,75 con Kpre= 43,87 y AXL= 28,54 mm
La refracción diana que introduciremos en la fórmula de cálculo será -11,75.
Con este método no necesitamos la Kpost ni su estimación, no siendo necesaria la corrección doble-K en la fórmula de cálculo

1b) Conocemos todos los datos: Kpre, Kpost, Rpre y Rpost (y Rpost no fiable)

a) Método de Feiz-Mannis[14].

Calculamos la LIO para la emetropía utilizando la Kpre. Se calcula potencia de la LIO como si el paciente no se hubiera sometido a cirugía refractiva y añadimos el cambio inducido por el LASIK en el error refractivo en plano de gafa (ΔD) dividido entre 0,7.

LIOpost= LIOpre – (ΔD/0,7).

En este caso no realizamos la corrección doble-K.

b) Método del índice de refracción de Savini[15].

Kpost-corregida= ((1,338+ 0,0009856 * ΔEEsp) -1) / Kpost (r)/1000)
ΔEEsp: Cambio en equivalente esférico en plano de gafa
Kpost (r): Keratometría en radio de curvatura (mm).

A continuación realizamos la corrección doble-K en la fórmula de cálculo.

1c) Sólo conocemos la Rpost, Kpre y Kpost.

a) Método de Speicher-Seitz[16].

Kpost-corr=1,114*Kcentral preoperatoria – 0,114*Kcentral postoperatoria.
Kcentral: Effective refractive power (EffRP) o SimK central en topografía

A continuación realizamos la corrección doble-K en la fórmula de cálculo.

b) Método de Besst (Pentacam)[17].

Basado en las paquimetrías y curvaturas corneales anterior y posterior obtenidas con Pentacam.

KBESSt (Potencia corneal tras cirugía refractiva)=
{[1/rF * (n.adj – n.air)] + [1/rB * (n.acq – n.adj)] – [d * 1/r * (n.adj – n.air) * 1/rB * (n.acq – n.adj)]} * 1000.

rF: Radio curvatura anterior (mm)
rB: Radio curvatura posterior (mm)
n.air =1
n.vc = 1.3265
n.CCT = n.vc + (CCT * 0.000022)
K.conv = 337.5/rF
n.adj:
si K.conv <37,5 n.adj = n.CCT + 0.017
si K.conv <41,44 n.adj = n.CCT
si K.conv <45 n.adj = n.CCT - 0.015
n.acq = 1,336
d = d.cct /n.vc
d.cct = CCT /1000000

A continuación realizamos la corrección doble-K en la fórmula de cálculo.

1d) Sólo conocemos la Rpre, Rpost y Kpost.

a) Diferencia de refracción[12].

Nuevamente debemos estimar la Kpost.

Continuando con el ejemplo, si la Rpre= -8D y la Rpost= -1D, la corrección en el plano corneal será: Rpost-Rpre= -7,30 – (-0,98): -6,32D

Supongamos que la Kpost= 39,25D. Utilizando la corrección propuesta por Feiz[62], obtenemos que:

Kpost-corregida= Kpost-0,23 * corrección

Kpost-corregida= 39,25-0,23 *6,32
Kpost-corregida= 37,79D.

A continuación introducimos los datos en la fórmula de cálculo. Como no disponemos de la Kpre, no podremos realizar la corrección doble-K, por lo que deberíamos utilizar la fórmula de Holladay-II (sólo disponible previo pago como software comercial) o la de Haigis[63] o Binkhorst (que no utilizan la k).

b) Utilización de factores correctores.

Es el método más sencillo, pero no exento de error. Podemos utilizar el nomograma de Feiz-Mannis[18], que nos calcula la potencia de la LIO según el cambio producido en EE (**Tabla 3**):

TABLA 3: Nomograma de Feiz-Mannis según cambio en EE.

Cambio en EE (plano gafa)	Δ Potencia LIO (D)
1	0.6
1.50	0.66
2	0.96
2.50	1.26
3	1.55
3.50	1.85
4	2.15
4.50	2.45
5	2.74
5.50	3.04
6	3.34
6.50	3.64
7	3.93
7.50	4.23
8	4.53
8.50	4.83
9	5.12
9.50	5.42
10	5.72
10.50	6.02
11	6.31
11.50	6.61
12	6.91

O el nomograma de Koch (**Tabla 4 y 5**), que nos calcula dicha potencia según las dioptrías corregidas y la longitud axial[20]:

TABLA 4: LIO tras cirugía refractiva miópica (cifra que ha de ser añadida a la potencia calculada utilizando las fórmulas SRK/T, Hoffer/Q y Holladay I)

	Longitud axial (mm)											
Dioptrías corregidas	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2 SRK/T	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3
Hoffer/Q	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0	0
Holladay I	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1
3	1	1	1	1	1,1	1,1	1	1	0,9	0,8	0,7	0,6
	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0
	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2
4	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	0,9	0,8
	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0
	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1,1	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4
5	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2	1,1
	1,2	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2	0
	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	,12	1,	0,8	0,7	0,5
6	2	2	2	2	2,1	2,1	2,1	2	1,8	1,7	1,5	1,4
	1,4	1,2	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,1
	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,5	1,2	1	0,8	0,7
7	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,4	2,3	2,2	2	1,8	1,7
	1,6	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,3	0,1
	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,7	1,5	1,2	1	0,9
8	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,6	2,5	2,3	2,2	2
	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1	0,8	0,7	0,7	0,6	0,4	0,2
	1,8	1,9	1,9	2	2	2,1	2,2	2	1,7	1,5	1,2	1
9	2,9	2,9	2,9	3	3,1	3,2	3,1	3	2,8	2,7	2,5	2,3
	2	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1	0,8	0,8	0,7	0,5	0,2
	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,3	2,	17,	1,4	1,2
10	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,5	3,4	3,3	3,1	3	2,8	2,6
	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1	0,8	0,7	0,6	0,3
	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,6	2,2	1,9	1,7	1,4

TABLA 5: LIO tras cirugía refractiva hipermetrópica (cifra que ha de ser restada a la potencia calculada utilizando SRK/T, Hoffer/Q y Holladay i).

	Longitud axial (mm)											
Dioptrías corregidas	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2 SRK/T	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,4	0,2	0
Hoffer/Q	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0	0
Holladay I	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0	0
3	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1	0,9	0,7	0,5	0,2	0
	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,3	0,2	—	—
	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,3	0,2	—	—
4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,2	0,9	—	—	—
	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0	0	0
	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,4	0,4	—	—
5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,8	1,7	—	—	—	—
	1,4	1,1	0,9	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1	0	0	0
	1,1	1,1	1	1	1	1	1	0,7	0,3	—	—	—
6	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,5	—	—	—	—	—	—
	1,7	1,3	1,1	0,9	0,7	0,5	0,3	0,2	0	0	0	0
	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,7	0,3	—	—	—

c) Por supuesto, para corregir la Kpost también podemos utilizar los métodos descritos en el apartado anterior, pero al no disponer de la Kpre no podremos realizar la corrección doble-K.

Asumiendo determinados valores podríamos arriesgarnos a calcular una Kpre para poder realizar la corrección doble-K en la fórmula de cálculo. Por ejemplo, paciente que dice haber sido operado hace 10 años de unas 8 dioptrías con PRK, la Kpost es de 37. Asumimos una corrección en gafa de 8D, que se traduce en 7,30 en plano corneal. Calculamos Kpost restando 15 % de 7,30 (es decir, 1,09) a 37:

Kpost= 37-1,09= 35,91.
Kpre podemos calcularla sumando 35,91 + 7,30= 43,21.
De esta forma introduciremos en la fórmula Kpre= 43,21 y Kpost= 35,91.

d) Método refractivo de Shammas[21].

$$\text{Kpost corregida} = 1{,}14 * \text{Kpost} - 6{,}8$$

e) Método de Jarade (corrección de índice refractivo)[2].

$$\text{Kpost corregida} = ((1{,}3375 + 0{,}0014 * \Delta EEc) - 1) / (\text{Kpost-r}/1000)$$

ΔEEc: Cambio en equivalente esférico en plano corneal
Kpost-r: Keratometría en radio de curvatura (mm).

f) Método de Savini (corrección de índice refractivo)[23].

Kpost corregida= [(1,3338 + 0,0009856 * ΔEEsp) – 1] / (Kpost-r/1000).
ΔEEsp: Cambio en equivalente esférico en plano de gafa.
Kpost-r: Keratometría en radio de curvatura (mm).

g) Método de Latkany (método de corrección de la LIO)[24].

Este método sólo requiere conocer la Rpre, lo cual puede ser útil cuando disponemos solamente de unas gafas viejas y no sabemos el procedimiento refractivo utilizado. Utiliza un método de regresión para corregir la potencia calculada de la LIO utilizando la K más plana y la fórmula SRK/T. La potencia de la LIO se corrige con la siguiente fórmula:

-(0.47 * EEpre + 0,85) y se redondea hacia el 0,50 más cercano.

Por ejemplo, si la fórmula SRK/T utilizando la K más plana es +15,21D para un resultado neutro y el EEpre= -5,63D:

-[0,47 * (-5,63) + 0,85]= 1,80
1,80 + 15,21= 17,01
Redondeando al 0,50 más cercano, +17,00D.
La LIO a implantar sería por tanto de +17,00.

h) Método de Masket (método de corrección de la LIO)[25].

Corrección LIO postLASIK= (– 0,326 * ΔEEc)+ 0,101.

Utilizamos la fórmula Holladay-I para LA>23 mm y la Hoffer-Q para LA<23 mm. La SRK/T suele infracorregir.

i) Método de Camellin (corrección de índice refractivo)[26].

Kpost corregida= ((1,3319 + 0,00113 * ΔEEsp) – 1) / (Kpost-r/1000).
ΔEEsp: Cambio en equivalente esférico en plano de gafa.
ΔKpost-r: Keratometría en radio de curvatura (mm).

1.e) No sabemos ningún dato anterior a la cirugía: sólo Kpost.
Medimos la K de forma habitual (en el ejemplo Kpost= 39,25). A continuación, corregimos el valor Kpost mediante dos fórmulas de regresión:

a) Método de Rosa[27].

Refracción corregida con método de Rosa (Rrosa):
Rrosa= R (0.0276 LA + 0,3635)
LA= longitud axial; R= k/337,5

Por tanto, la K postoperatoria estimada [Kpost(Rrosa)]= 337,5/Rrosa

Ejemplo: LA= 25,5
R= 337,5/39,25= 8,5987
Rrosa= 8,5987*(0,7038 + 0,3635)= 9,17
Por tanto, Kpost(Rosa)= 36,80

El método de Rosa utiliza sólo la fórmula SRK (SRK/T si LA<= 29,4 mm ó SRK-II si LA>29,4 mm).

Otra manera de realizar el cálculo es:

Kpost-corr= (1,3375-1)/((Kpost * FCR)/1000).
FCR: Factor corrector de Rosa según longitud axial:
22 – <23: 1,01
23 – <24: 1,05
24 – <25: 1,04
25 – <26: 1,06
26 – <27: 1,09
27 – <28: 1,12
28 – <29: 1,15
>29: 1,22

b) Fórmula de Shammas[21].

Kpost(Shammas)= 1,14 K- 6,8.

Kpost (Shammas)= 1,14 * 44,25 – 6,8= 50,45 -6,8
Kshammas= 43,65D

El método de Shammas sólo utiliza la fórmula de Shammas.

c) Método de la lente de contacto[28].

Realizamos una refracción subjetiva. A continuación colocamos una lente de contacto rígida de PMMA de una curva base (potencia) conocida y se realiza una nueva refracción.

Si la refracción no ha cambiado, la córnea tiene igual potencia que la lente de contacto. Si la refracción es más miópica, la lente de contacto es más curva (más potencia) que la córnea y lo contrario pasará en la hipermetropía. Estimamos la Kpost.

Rpost= Refracción en gafa postoperatoria= -1D
Rlc= Corrección con la lente de contacto= +1D.
Curva base= CB= 40 (en plano corneal= 39,25).
DR (diferencia de refracción)= Rlc-Rpost= +1-(-1)= +2
Kpost= CB + DR= 39,25 + 2= 41,25 D.

d) Método de Maloney-Koch[29].

Necesitamos una topografía y estimamos la Kpost a partir de EffRp.

Kpost= (EffRp x 1,114)-6,1

e) Método de la Asociación Americana de cirugía refractiva y cataratas[1].

Este método permite calcular el radio posterior de la córnea en función de las dioptrías corregidas. El objetivo es cuantificar la razón cara anterior/cara posterior antes y después de la cirugía.

El resultado es que esta razón es bastante constante en todo el rango de córneas no operadas (40,55-47,2):1,25 (± 0,3) (media y desviación estándar). Tras la cirugía la razón se hace variable, con un incremento proporcional a las dioptrías corregidas, pudiendo ajustarse una relación lineal:

Razón Ant/Post= 1,257 + 0,032 x dioptrías corregidas en córnea.

Mediante esta fórmula podemos calcular, a partir de un radio de curvatura anterior obtenido por topografía o queratometría, el radio de la cara posterior y a continuación la potencia total de la córnea.

Si la Simk es de 37 D, obtenemos el radio anterior:

n2-n1/dioptrías:
0,3375/37= 9,12 mm
Si aplicamos la fórmula razón Ant/Post:
1,257 + 0,032 x 10= 1,58
Obtenemos rpost:
9,12/1,58= 5,77 mm
Si lo convertimos a dioptrías:
1,336-1,376/5,77= -6,93
Calculamos la potencia de la cara anterior:
0,376/9,12= 41,23
Sumamos superficies y grosor corneal:
41,23 + 0,1 – 6,93= 34,4
Esta es la potencia paraxial real de la córnea.

También podríamos estimar la Kpre según lo visto anteriormente, para así intentar realizar la corrección doble-K.

f) Método de Savini-Barboni-Zanini[30].

Kpost-corr= 1,114 * Kcentral – 4,98

Con Kcentral obtenida de la topografía corneal.

g) Método de Ferrara[31].

Kpost-corr= ((-0,0006 * LA^2 + 0,0213 * LA + 1,1572) -1) / (Kpost-r/1000).
LA: Longitud axial.
Kpost-r: Keratometría en radio de curvatura (mm).

i) Método de Bestt (Pentacam).

Ya comentado.

j) Algoritmo de Mackool (implante secundario)[32].

LIOem= 1,75 * EEafaquia + (A – 118,4)
LIOem= LIO para emetropía
EEafaquia: Equivalente esférico en afaquia.
A: Constante A de la lente.

k) Método de Ianchulev (intraoperatorio)[33].

LIOem= 2,02 * EEafaquia + (A – 118,4).

l) Método doble-K de Aramberri con estimación de Kpre.

Utilizamos una K estándar de 43,5 ó 44 para el cálculo de la ELP y la Kpost para el cálculo de la LIO.

Una medida de control interesante es emplear la fórmula de Haigis, que no emplea la K como predictora de la ELP, para validar el resultado. En esta fórmula únicamente introduciremos LA, profundidad de cámara anterior (ACD) y Kpost. Podemos obtener las constantes de la LIO de esta fórmula en la página web de la Universidad de Wuerzburg[19].

1.f) El biómetro no nos deja introducir valores <28D.

Supongamos que tenemos un paciente cuya K= 22. Normalmente el biómetro estándar no nos dejará introducir valores <28. Para evitar este problema realizamos los siguientes pasos: Introducimos 28 como K en el biómetro. Nos faltan por tanto 6D. Sabiendo que 1 dioptría queratométrica corresponde a 0,8 dioptrías refractivas en el postoperatorio: 6 x 0.8= 4,8. En la fórmula debemos introducir que nuestra refracción diana será de -5 en lugar de 0 si queremos la emetropía, aunque sería aconsejable que nuestra refracción diana fuera de -6 para evitar sorpresas refractivas.

2. LASIK hipermetrópico y PRK

La estimación de la potencia central en estos ojos es mucho más fácil que en el LASIK miópico, debido a que la ablación se realiza fuera de la córnea central. Un hallazgo interesante del LASIK hipermetrópico es que la relación entre los radios anterior y posterior de la córnea aumenta, de forma similar a lo que ocurre tras la queratotomía radial. Por ello, es factible utilizar un método similar de estimación de la potencia de la córnea central.

La media de las potencias de los anillos de 1, 2 y 3 mm en la vista numérica del topógrafo de Zeiss es suficientemente adecuada para estimar la potencia de la córnea central, con la siguiente corrección (**Tabla 6 y Figura 7**)[35]:

La potencia refractiva efectiva (EffRP) del sistema de análisis corneal EyeSys también funciona bien, con la siguiente corrección (**Tabla 7**)[35]:

Además, también requerimos la corrección doble-K para el cálculo de la LIO tras el LASIK hipermetrópico en las fórmulas de 3ª generación o utilizar una fórmula de 4ª generación (Holladay-II).

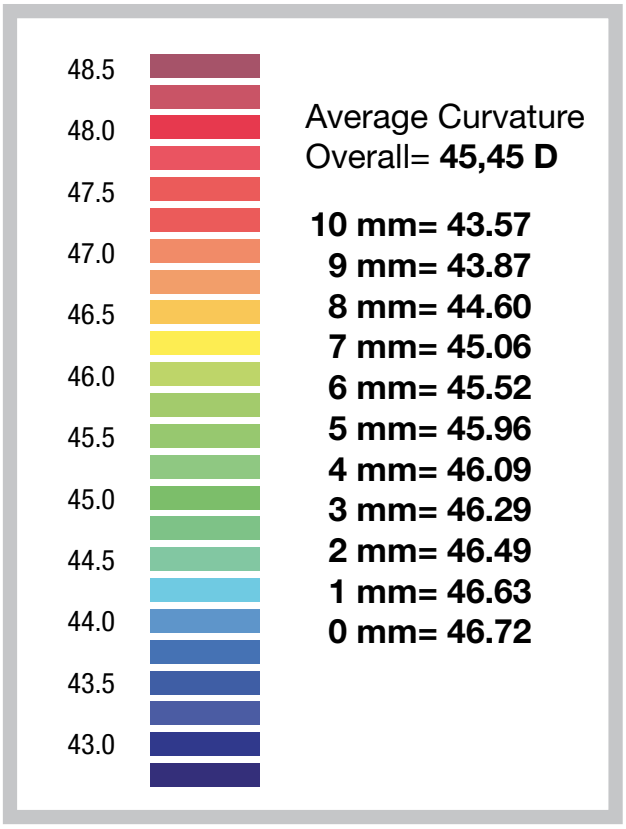


FIGURA 7: **Vista numérica del topógrafo Zeiss.**

TABLA 6: Corrección a realizar con el topógrafo Zeiss.

ΔEE (D)	Corrección
0.5	-0.30
1.0	-0.20
1.5	-0.11
2.0	-0.01
2.5	0.08
3.0	0.18
3.5	0.27
4.0	0.37
4.5	0.46
5.0	0.56
5.5	0.65
6.0	0.75

TABLA 7: Corrección con EyeSys.

ΔEE (D)	Corrección
0.5	-0.20
1.0	-0.12
1.5	-0.04
2.0	0.04
2.5	0.13
3.0	0.21
3.5	0.29
4.0	0.37
4.5	0.45
5.0	0.53
5.5	0.61
6.0	0.69

3. Queratotomía radial

A diferencia de la cirugía refractiva ablacional miópica en la que la relación entre el radio anterior y posterior de la córnea disminuye, en la queratotomía radial esta relación aumenta (**Figura 8**).

El concepto clave en este escenario es que intentamos conocer la potencia de la córnea en su zona central y los queratómetros y la queratometría simulada utilizando un topógrafo corneal estándar sobreestimará esta potencia central, originando una hipermetropía en el postoperatorio.

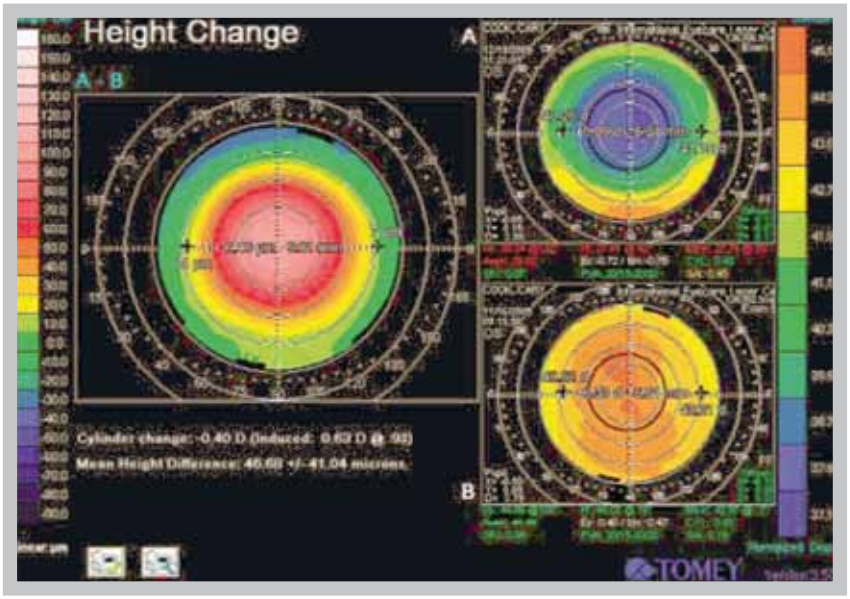


FIGURA 8: **Cambios topográficos tras queratotomía radial.**

La media de las potencias de los anillos de 1, 2, 3 y 4 mm en la vista numérica del topógrafo de Zeiss es suficientemente adecuada para estimar la potencia de la córnea central (**Figura 9**). También se puede utilizar la potencia refractiva efectiva ajustada (EffRPadj) del sistema de análisis corneal EyeSys[35].

Además, es necesario un ajuste de la potencia calculada (corrección doble-K) para prevenir que el artefacto de una córnea central muy plana infraestime la potencia de la LIO.

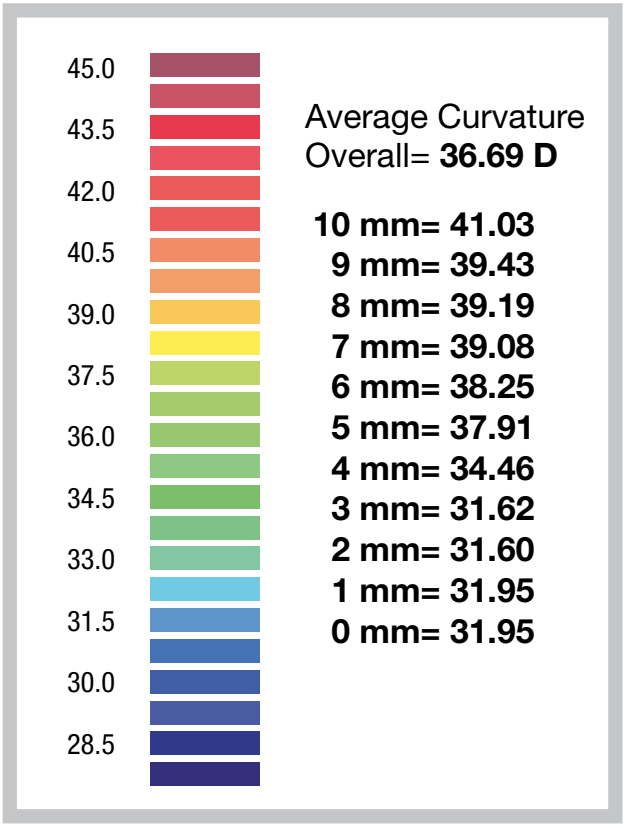


FIGURA 9: **Vista numérica del topógrafo Zeiss para queratomía radial.**

Por otro lado, es frecuente en los pacientes con queratotomía radial previa la aparición de cantidades variables de hipermetropía transitoria tras la cirugía de cataratas. Esto parece deberse al edema estromal alrededor de las incisiones de queratotomía que origina una mejora temporal del aplanamiento corneal central. Esta hipermetropía transitoria puede alcanzar las 4 dioptrías y se acentúa si se han realizado más de 8 incisiones, si la zona óptica es menor a 2 mm o si las incisiones se extienden completamente al limbo.

Esta hipermetropía va resolviéndose en un período que oscila entre 8 y 12 semanas y a veces acaba convirtiéndose en una miopía que puede alcanzar hasta las 5 dioptrías al final de estas 12 semanas.

Si el objetivo refractivo postoperatorio sigue sin alcanzarse tras este período, el recambio de la LIO o un implante piggyback no debe plantearse hasta que hayan pasado unos 2 meses con 2 refracciones estables separadas por un período de 2 semanas (regla del 2).

Además, si pasan más de 6 meses antes de que se requiera la cirugía del ojo adelfo, deberían repetirse las medidas corneales debido al hecho de que es frecuente un aplanamiento corneal en los meses posteriores a la cirugía radial. Por esta razón, el cálculo de la LIO se fija para una refracción objetivo de -0.75 a -1 dioptrías para dejar el ojo un poco más miope de lo habitual, de forma que a los 5-10 años de la cirugía, el error refractivo tras la cirugía de la catarata no se convierta en una hipermetropía.

4. Recambio de LIO

Si finalmente necesitamos realizar un recambio de la LIO previamente implantada, podemos utilizar el nomograma mostrado en la tabla. La LIO puede calcularse fácilmente en función de la refracción postoperatoria. Por ejemplo, si la refracción postoperatoria es +4D tras un implante de 20D, la potencia ajustada para el recambio de la LIO sería: 20 + 5,19= 25,19D. Si la refracción postoperatoria es -4D, la potencia será: 20 - 4,16= 15,84D[36].

TABLA 8.

EEpre (D)*	Hipermetropía residual: Aumentar potencia de la LIO (D)	Miopía residual: Disminuir potencia de la LIO (D)
1	0,21	0,68
1,50	1,04	1,26
2	1,87	1,84
2,50	2,70	2,42
3	3,53	3,00
3,50	4,36	3,58
4	5,19	4,16
4,50	6,02	4,74
5	6,85	5,32
5,50	7,68	5,90
6	8,51	6,48

D=Dioptrías; EEpre: Equivalente esférico preoperatorio

* Valores absolutos de EE

Conclusión

Es fundamental el cálculo correcto del poder dióptrico de la LIO en la cirugía de la catarata. Para ello se disponen de fórmulas cada vez más precisas que exigen una medición exacta de los distintos parámetros, pues pequeños errores pueden provocar importantes errores en la refracción postoperatoria.

Con la cirugía refractiva podemos solucionar algunos de estos problemas, pero también ha provocado un aumento de las expectativas del paciente, que cada vez es más exigente a la hora de conseguir una buena agudeza visual sin corrección.

Por todo ello, es importante conocer y saber interpretar los distintos métodos de medición y fórmulas biométricas necesarios para poder conseguir nuestro objetivo tras la intervención de cataratas: devolver la visión dependiendo lo menos posible de una corrección con gafas.

Bibliografía

1. Mesa JC, Martí T, Arruga J. Cálculo del poder dióptrico de la lente intraocular (LIO) tras cirugía refractiva. Arch Soc Esp Oftalmol 2005; 80: 699-704.
2. Koch DD; Wang L. Calculating IOL power in eyes that have had refractive surgery. J Cataract Refract Surg 2003; 29: 2039-42.
3. Holladay JT. Advanced IOL power calculations. No publicada, presentada en ASCRS, San Francisco 2006.
4. Hill WE. IOL power calculations after keratorefractive surgery. Supplement to cataract and refractive surgery today 2008; 1-3.
5. Speicher L. Intra-ocular lens calculation status after corneal refractive surgery. Curr Opin Ophthalmol 2001;12:17-29.
6. Seitz B, Langenbucher A. Intraocular lens calculation status after corneal refractive surgery. Curr Opin Ophthalmol 2000; 11:35-46.
7. Aramberri J. Intraocular lens power calculation after corneal refractive surgery: double-K method. J Cataract Refract Surg 2003; 29:2063-2068.
8. Gimbel H, Sun R, Kaye GB. Refractive error in cataract surgery after previous refractive surgery. J Cataract Refract Surg 2000; 26:142-144.
9. Gimbel H, Sun R, Furlong MT. Accuracy and predictability of intraocular lens power calculation after laser in situ keratomielusis. J Cataract Refract Surg 2001; 27:571-576.
10. Koch D, Wang L. Calculating IOL power in eyes that have had refractive surgery. (Carta). J Cataract Refract Surgery 2003; 29 2039-42.
11. Hamed A, Wang L, Misra M, Koch C. A comparative analyisis of five methods of determining corneal refractive power in eyes that have undergone myopic laser in situ keratomileusis. Ophthalmology 2002; 109: 651-8
12. Aramberri J: Cálculo de la lente intraocular tras cirugía refractiva corneal. In: Alió J, Rodríguez-Prats J. Buscando la excelencia en la cirugía de la catarata. Barcelona: Editorial Glosa; 2006; 179:191.
13. Walter K, Gagnon M, Hoopes P, Dickinson P. Accurate intraocular lens power calculation after myopic laser in situ keratomieliusis, bypassing corneal power. J Cataract Refract Surgery 2006; 32: 425-9.
14. Feiz V, Mannis M, Garcia-Ferrer F, Kandavel G, Darlington J, Kim E. Intraocular lens power calculation after laser in situ keratomieleusis for myopia and hyperopia: a standardized approach. Cornea 2001; 20:792-97.
15. Savini G. Cataract Refractive Surgery Today 2008; 1-2.
16. Speicher C, Seitz J. Cataract surgery in patients with prior refractive surgery. Current opinion Ophthalmol 2003; 14 (1): 44-53
17. Borasio E, Stevens J, Smith G. Estimation of true corneal power after keratorefractive surgery in eyes requiring cataract surgery: BESSt formula. J Cataract Refract Surgery 2006; 32: 2004-14.
18. Feiz V. Moshirfar M, Mannis M, Reilly C, Garcia-Ferrer F. Nomogram-based intraocular lens power adjustment after myopic photokeratectomy and Lasik. Ophtahlmology 2005; 112 1381-7.
19. Haigis W. IOL calculation according to Haigis. Disponible en: http://www.augenklinik.uni-wuerzburg.de/uslab/ioltxt/haie.htm.
20. Wang L, Booth M, Koch D. Comparison of intraocular lens power calculation methods in eyes that have undergone LASIK. Ophthalmology 2004; 111:1825-31.
21. Shammas H, Shamas M, Garabet A, Kim J, Shammas A, LaBree L. Correcting the corneal power measurements for intraocular lens power calculations after myopic laser in situ keratomileusis. Am J Ophthalmol 2003; 136: 426-432.
22. Jarade EF, Abinader FC, Tabbara KF. Intraocular lens power calculation following LASIK. Invest ophthalmol vis sci 2002; 43: 41-43.
23. Hill WE. IOL power calculations following keratorefractive surgery. Presentado en Cornea DAY del Annual Meeting of the American Society of cataract and refractive surgery, San Francisco, California, 17 marzo 2006.
24. Latkany R, Chokshi A, Speader M, Abramson I, Solowitz B. Intraocular lens calculations after refractive surgery. J Cataract Refract Surgery 2005; 31:562-70.
25. Masket S, Masket SE. Simple regression formula for intraocular lens power adjustement in eyes requiring cataract surgery asfter excimer laser photoablation. J Cataract Refract Surgery 2006; 32:430-34.
26. Camellin. IOL power calculation after corneal refractive surgery. J Cataract Refract Surgery 2006; 22:187-99.
27. Rosa N, Capaso L, Romano A. A new method of calculating intraocular lens power alter photorefractive keratectomy. J Cataract refract Surg 2002; 18:720-724.
28. Haigis W. Corneal power alter refractive surgery for myopa: contact lens method. J Cataract Refract Surgery 2003; 29: 1397-1411.
29. Maloney koch. Am J Ophthalmol 1989. 108; 676-82
30. Savini G, Barboni G, Zanini M. IOL power calculation after myopic refractive surgery: theoretical comparison of different methods. J Cataract Refract Surgery 2006; 113:1271-82.
31. Ferrara G, Cennamo G, Marotta G. New formula to calculate IOL power. J Cataract Refract Surgery 2004; 20:465-71.
32. Mackool RJ, Wilson K, Mackool R.Intraocular lens power calculation aftrer laser in situ keratomieleusis: apahakik refraction technique. J Cataract Refract Surgery 2006; 32:435-37.
33. Ianchulev T, Salz J, Hoffer K, Albini T, Hsu H, Labree L. Intraoperatory optical biometry for intraocular lens power estimation without axial length and keratometry measurements. J Cataract Refract Surgery 2005; 31:1530-36.
34. Holladay JR. Achieving emmetropia in extremely short eyes with two piggyback posterior chamber intraocular lenses. Ophthalmology 1996; 103: 1118-1123.
35. Wang L, Jackson DW, Koch DD. Methods of estimating corneal refractive power after hyperopic laser in situ keratomileusis. J Cataract Refract Surg. 2002; 28:954-961.
36. Jin W, Crandall A, Jones J. Intraocular lens exchange due to incorrect lens power. Ophthalmology 2007;114:417-424.