



**Curso de especialista  
universitario en técnicas  
ópticas y optométricas  
avanzadas en Oftalmología**



# *Técnicas aplicadas a la cirugía de la córnea*

Antonio Benito Galindo. Departamento de Física.

Curso 2009-2010.



## Estudio de la córnea:

- Topografía corneal I. Topografía corneal. Sistemas comerciales.
- Topografía corneal II. Mapas e índices topográficos.
- Topografía corneal III. Córnea normal y patológica.
- Topografía corneal IV. Interpretación de resultados quirúrgicos. Aberraciones corneales.



## Estudio de la córnea:

- **Topografía corneal I. Topografía corneal. Sistemas comerciales.**
- Topografía corneal II. Mapas e índices topográficos.
- Topografía corneal III. Córnea normal y patológica.
- Topografía corneal IV. Interpretación de resultados quirúrgicos. Aberraciones corneales.



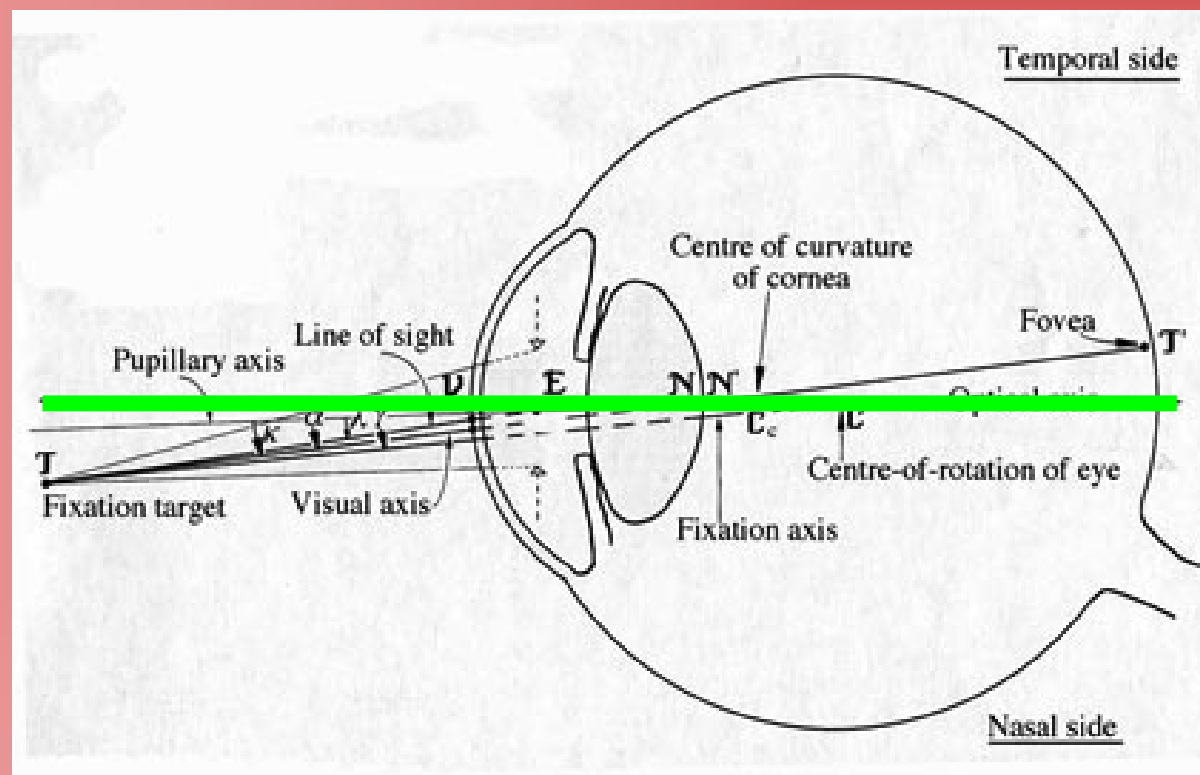
## Ejes y direcciones principales en el ojo

# Topografía corneal I



## Ejes y direcciones principales en el ojo

**Eje óptico:** atraviesa los cuatro centros de curvatura de las superficies oculares, córnea y cristalino.



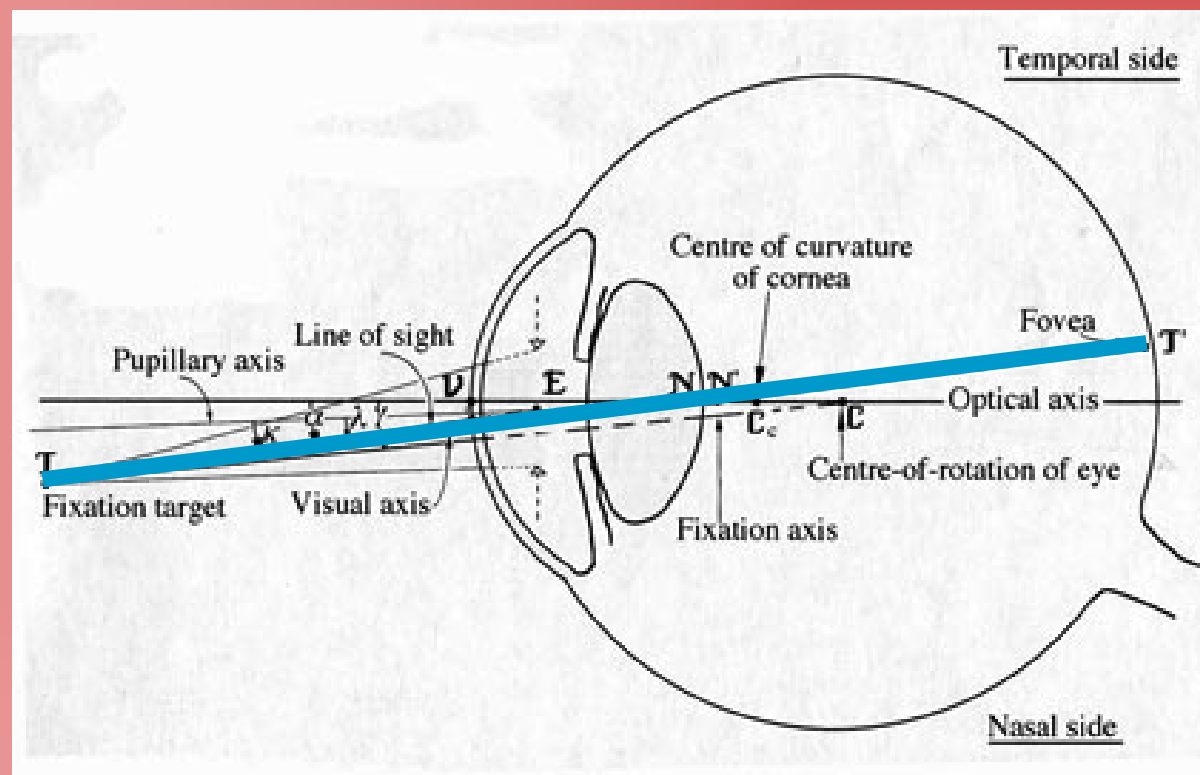
[Atchison y Smith, 2000]

# Topografía corneal I



## Ejes y direcciones principales en el ojo

**Eje visual:** procede del objeto y atraviesa los puntos nodales del ojo (N y N'), hasta alcanzar la fóvea.



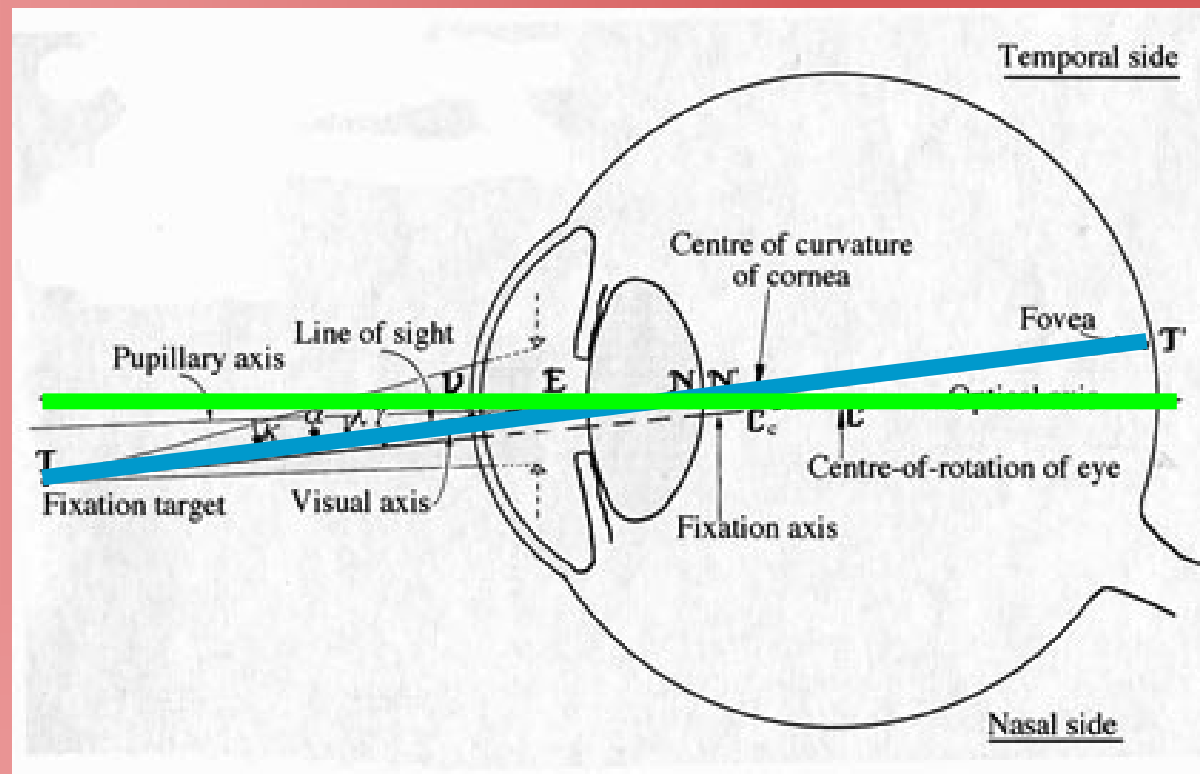
[Atchison y Smith, 2000]

# Topografía corneal I



## Ejes y direcciones principales en el ojo

Los ejes **óptico** y **visual** son **TEÓRICOS**, es decir, **NO** se pueden localizar experimentalmente.



[Atchison y Smith, 2000]



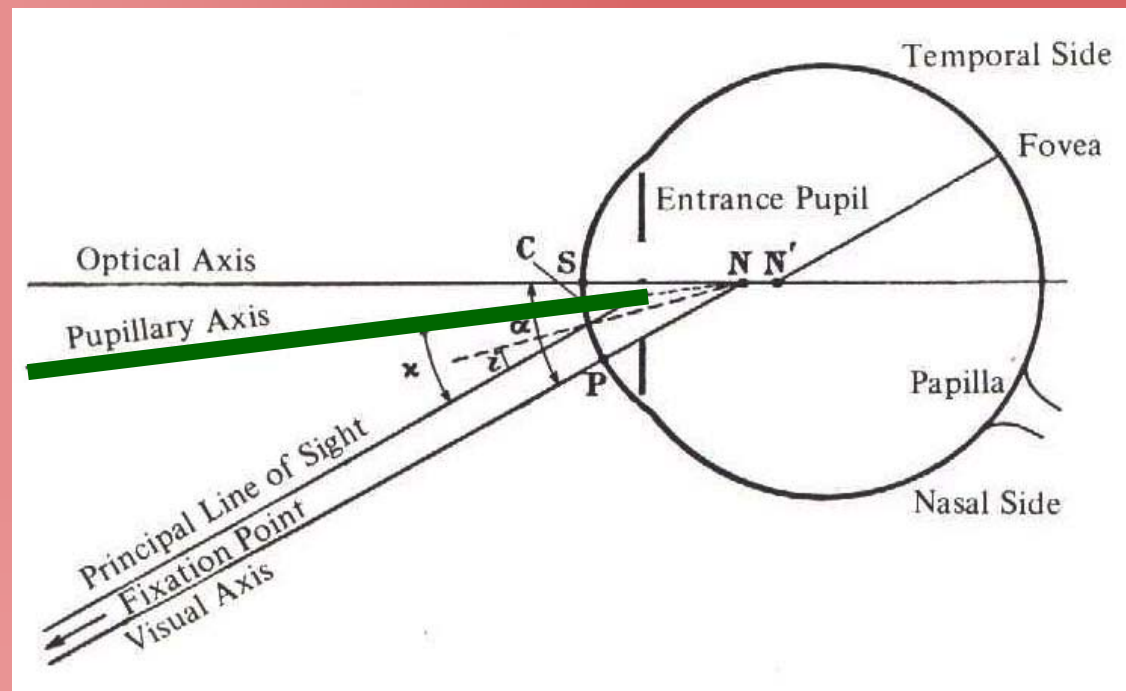
# Topografía corneal I



## Ejes y direcciones principales en el ojo

**Eje oftalmométrico o pupilar:** conecta el centro de la pupila de entrada con el reflejo corneal.

Su dirección es similar a la del eje óptico teórico.



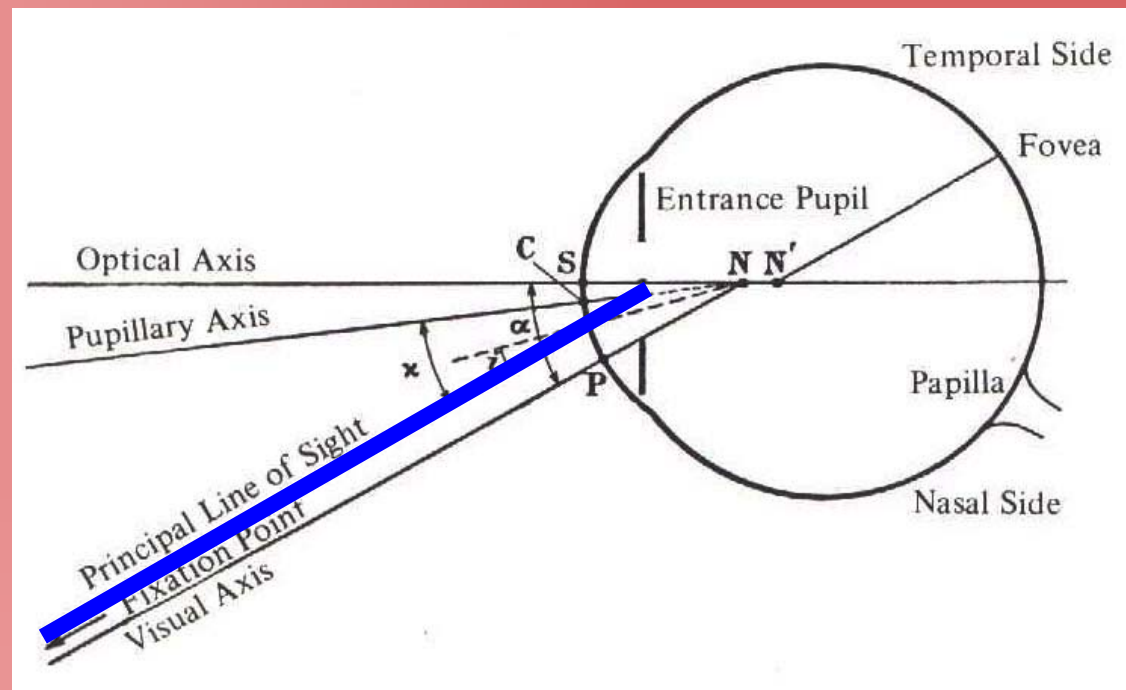
[LeGrand y El Hague, 1980]

# Topografía corneal I



## Ejes y direcciones principales en el ojo

La línea de mirada o eje de fijación visual: es la línea central del cono de luz que, procedente del objeto, atraviesa la pupila de entrada del ojo.



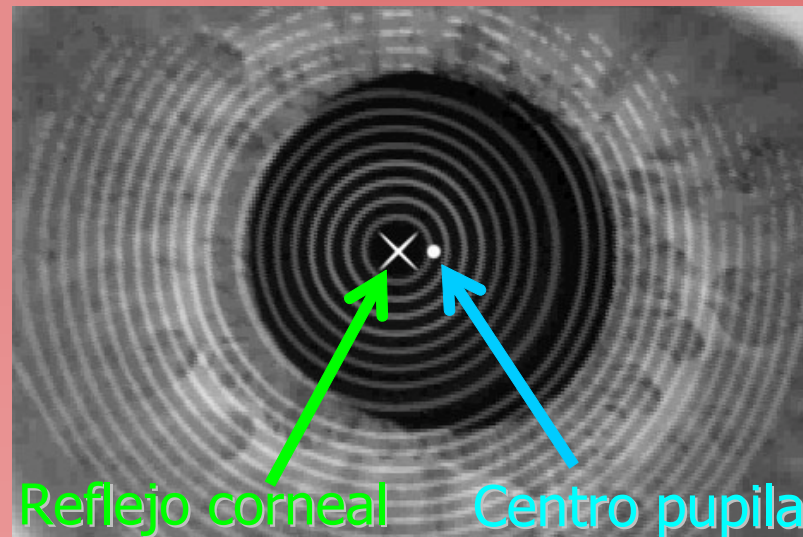
[LeGrand y El Hague, 1980]

# Topografía corneal I



## Orientación corneal y dirección de mirada

La diferencia entre las direcciones del **eje queratométrico** y de la **línea de mirada** se observa por la diferente posición entre la **primera imagen de Purkinje** con el **centro de la pupila de entrada**.



Jan E. Purkinje  
[home.datacomm.ch](http://home.datacomm.ch)



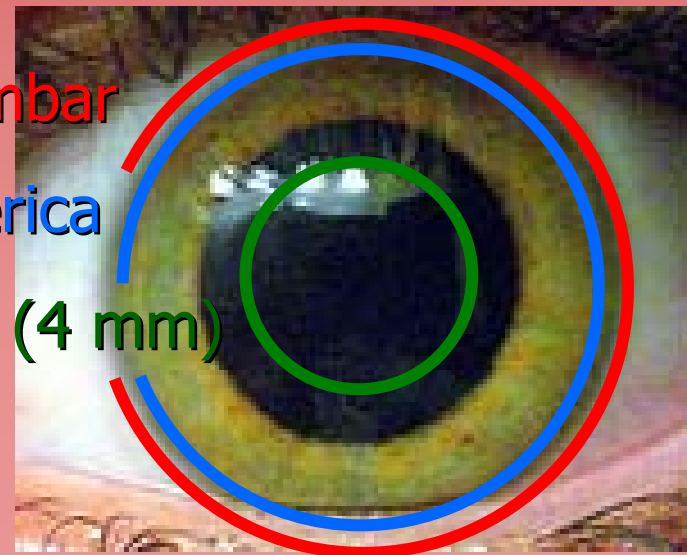
## Estudio de la córnea: Queratometría vs Topografía

## Áreas de estudio de la córnea

El área corneal se suele dividir en áreas.

Lo más habitual es hablar de una zona óptica central (visual), una zona periférica (tectónica) y una zona limbar.

Zona limbar  
Zona periférica  
Zona óptica (4 mm)

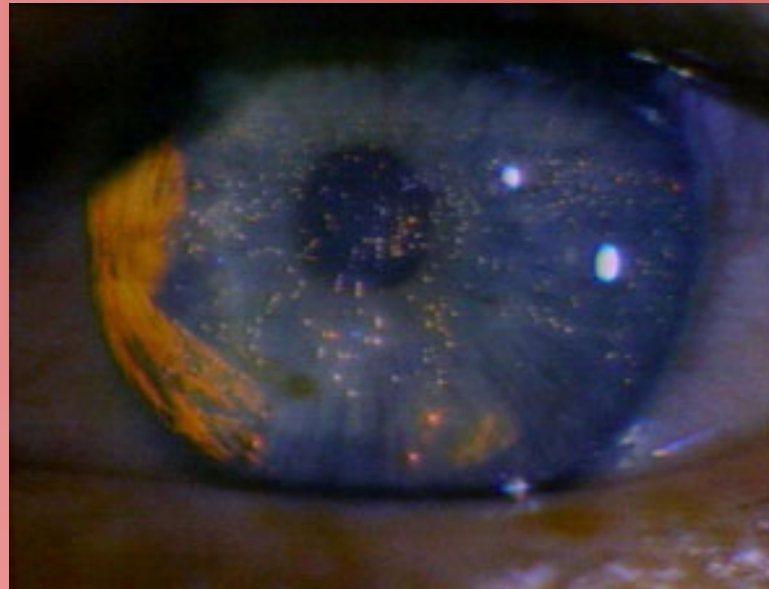


# Topografía corneal I



## Reflexión corneal

La forma más sencilla de explorar las propiedades de la superficie corneal anterior, es observar la imagen que forma al reflejar un objeto conocido.

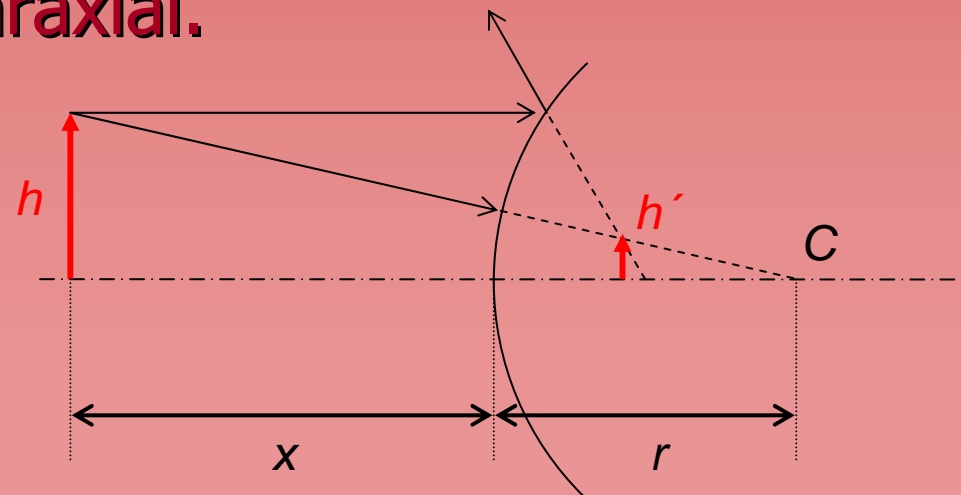




## Reflexión corneal

- El tamaño de imagen reflejada en una superficie esférica, en aproximación paraxial, depende del tamaño del objeto ( $h$ ), de la distancia al espejo ( $x$ ) y del radio de curvatura.
- El tamaño de imagen reflejada sirve para calcular su radio de curvatura paraxial.

$$\frac{h'}{h} = \frac{f}{x} \xrightarrow{f=r/2} \frac{h'}{h} = \frac{r}{2x} \rightarrow r \approx 2x \cdot \frac{h'}{h}$$





# Topografía corneal I



## Estudio de la córnea: Queratometría

Sistemas diseñados en el siglo XIX, proporcionan la potencia corneal o *queratometría*, en dioptrías o en milímetros.



Louis Emile Javal

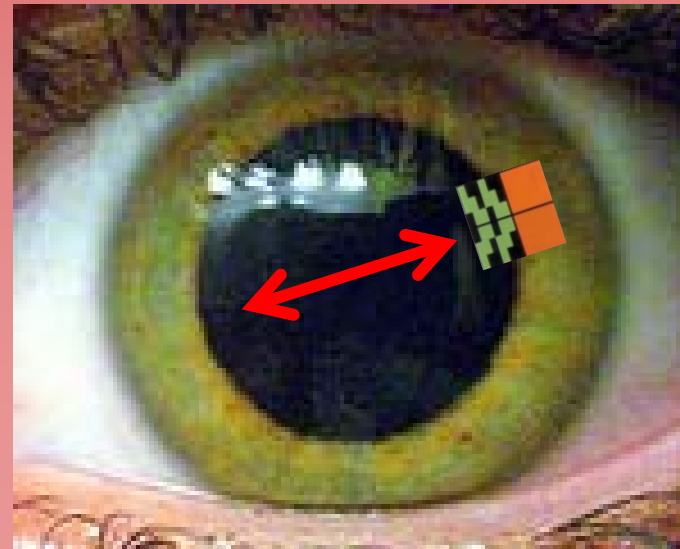


Hermann von Helmholtz



## Estudio de la córnea: Queratometría

- La curvatura de cualquier meridiano corneal se calcula gracias al tamaño de la imagen que refleja el área central de la cara anterior de la córnea.
- En los sistemas habituales, el área estudiada es de unos 3-4 mm.



## Estudio de la córnea: Queratometría

Como instrumento clínico, no permite diagnosticar deformidades ni distrofias corneales que no afecten al área central de la córnea.



## Estudio de la córnea: Queratometría

A nivel óptico-visual, la curvatura corneal obtenida corresponde únicamente al área corneal cercana al eje queratométrico, que con frecuencia NO coincide con el centro de la pupila de entrada.

Queratometría



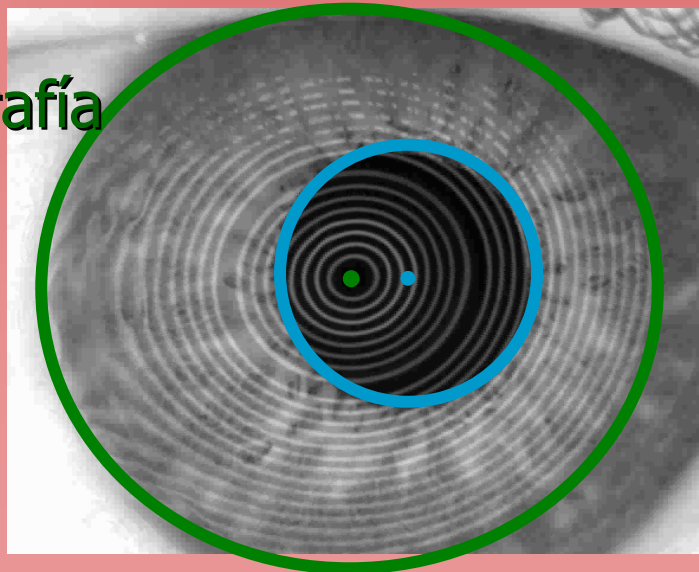
Pupila de entrada del ojo

Descentramiento pupilar en dirección temporal

## Estudio de la córnea: Queratometría

Una solución es utilizar un sistema computerizado de videoqueratografía, conocido comúnmente como topógrafo corneal, que permita estudiar zonas más amplias de la córnea.

Videoqueratografía



[Klyce, 1984]



## ¿Topografía corneal?



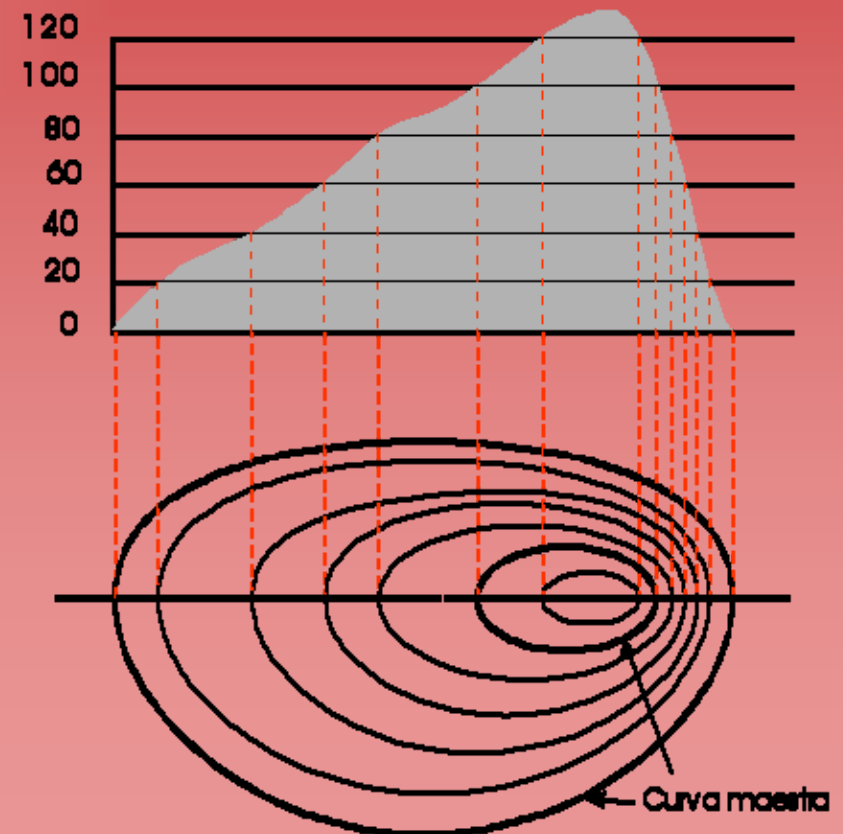
## ¿Qué es la Topografía?

Del griego *topos-*, lugar; y *-grafía*, dibujo. Su definición consta de dos posibles acepciones:

- 1. f. Arte de describir y delinear detalladamente la superficie de un terreno.*
- 2. f. Conjunto de particularidades que presenta un terreno en su configuración superficial.*

## ¿Qué es la Topografía?

*1. f. Arte de describir y delinear detalladamente la superficie de un terreno.*



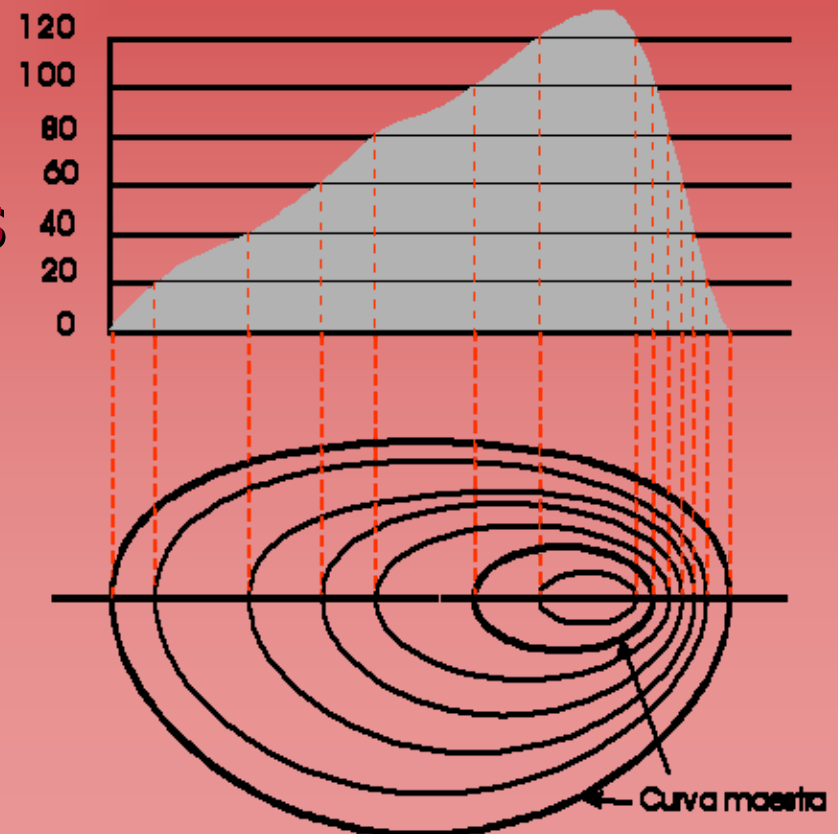
# Topografía corneal I



## ¿Qué es la Topografía?

*1. f. Arte de describir y delinear detalladamente la superficie de un terreno.*

Los detalles del "terreno" se representan o en mapas de isohipsas (curvas de nivel), o en mapas tridimensionales.





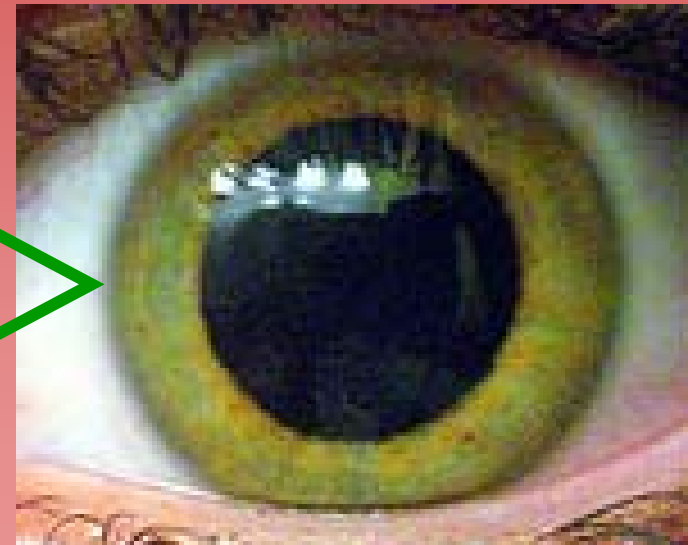
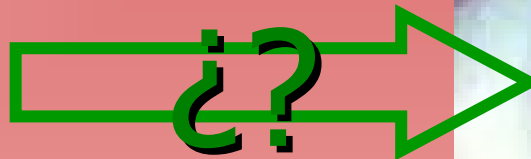
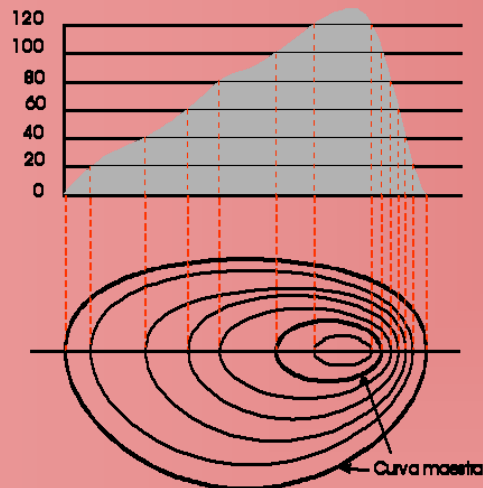
# Topografía corneal I



¿Qué es la Topografía?

## ¿Topografía corneal?

1. *f. Arte de **describir** y **delinear detalladamente** la **superficie** de un terreno.*

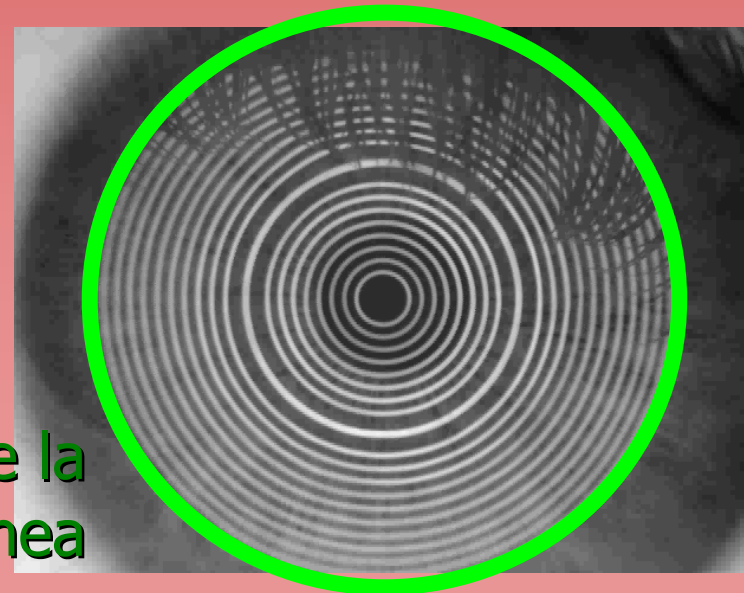




## Topografía aplicada a la córnea

La topografía permite conocer los detalles de la forma de la córnea, interpretados en mapas:

- Detectar distrofias corneales en áreas amplias.
- Describir las propiedades ópticas para casi cualquier tamaño pupilar.

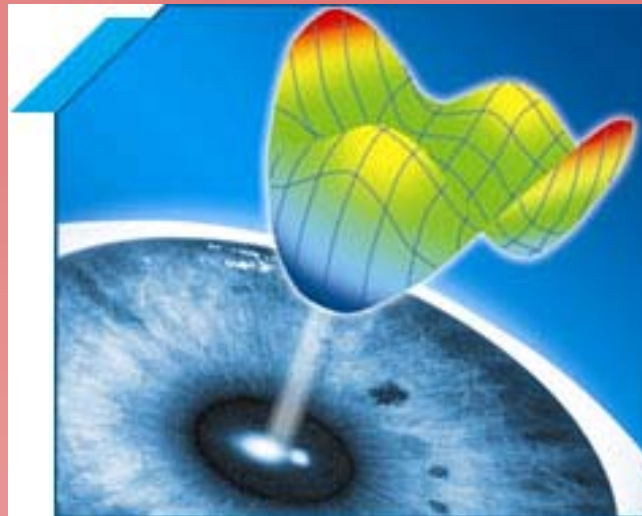


Área donde se obtiene la descripción topográfica de la córnea



## Topografía aplicada a la córnea

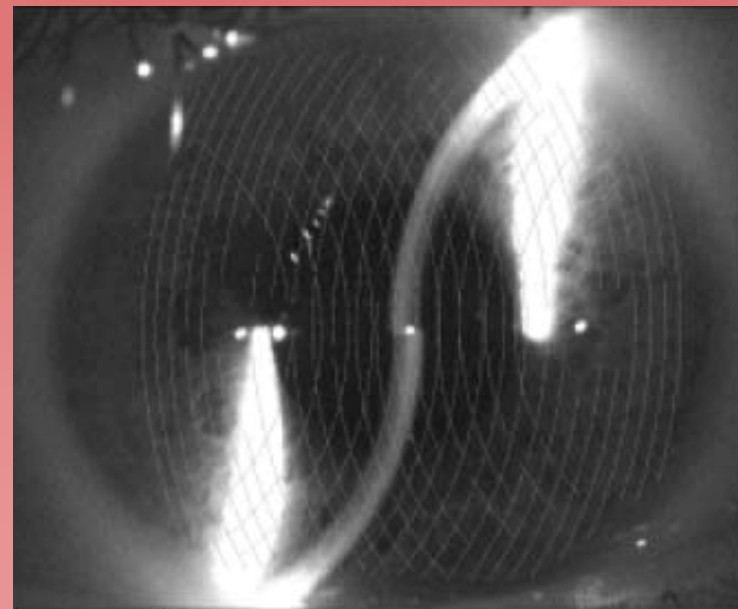
- Además, al ofrecer información muy detallada del perfil corneal, permite aplicar correcciones ópticas más complejas como nomogramas esféricos o corrección de aberraciones corneales.





# Topógrafos comerciales

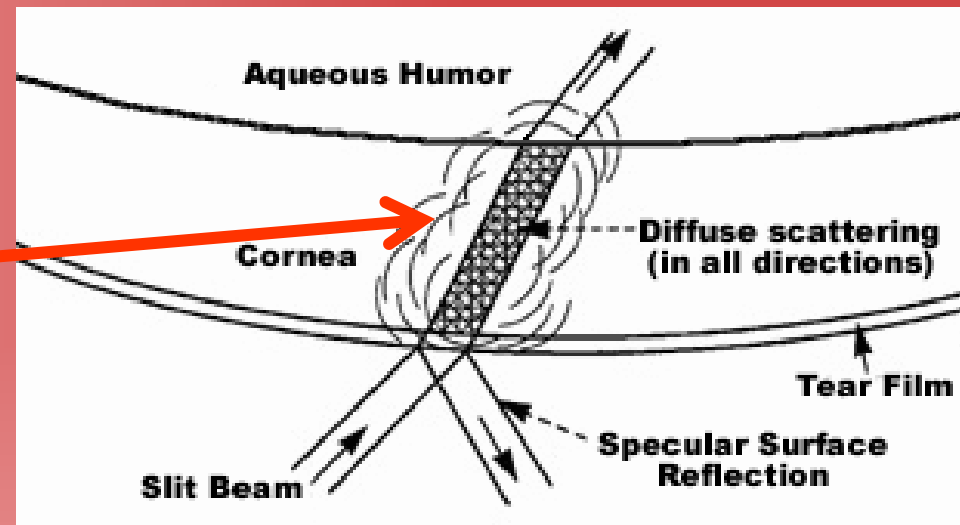
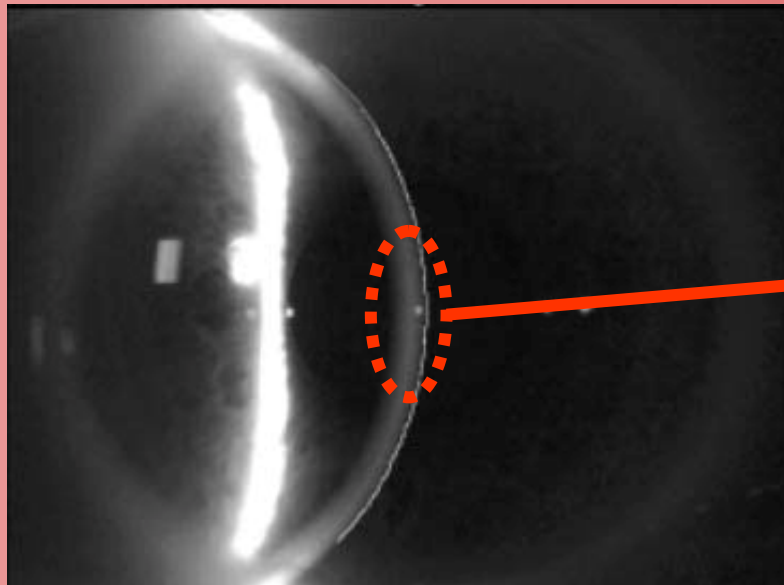
# Topógrafo de proyección (Orbiscan<sup>®</sup>)



# Topografía corneal I



## Topógrafo de proyección

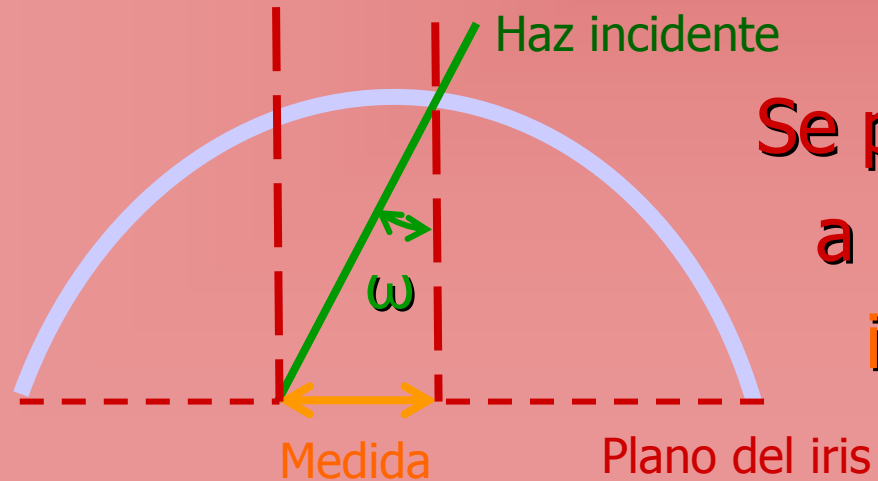
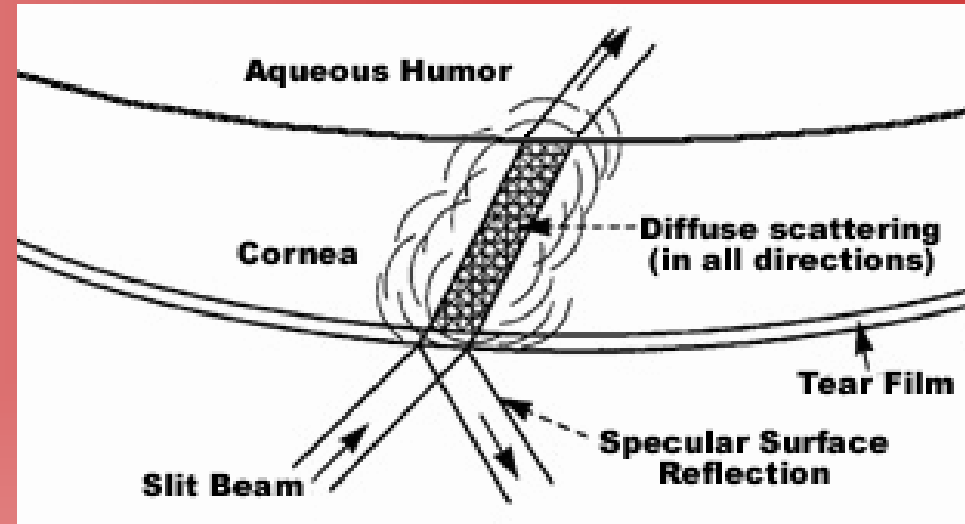
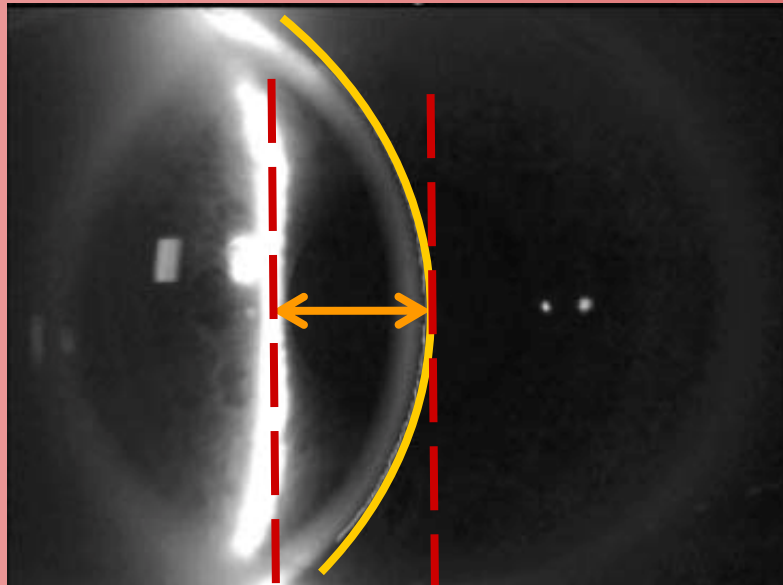


Al hacer una sección óptica, se observa la luz difundida por el tejido corneal

# Topografía corneal I



## Topógrafo de proyección



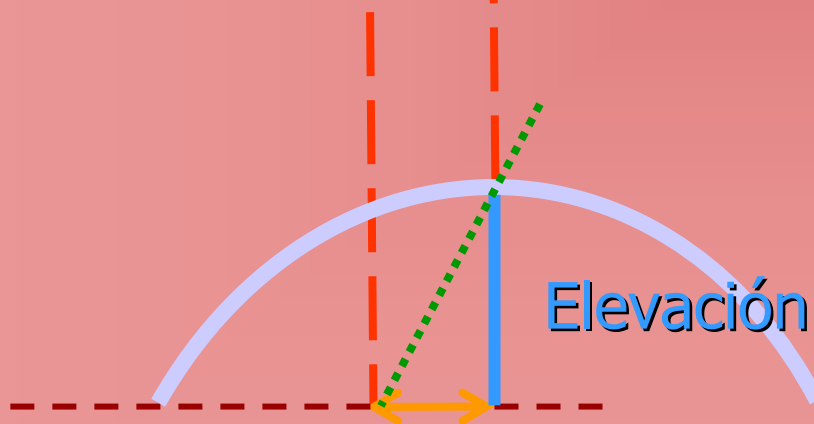
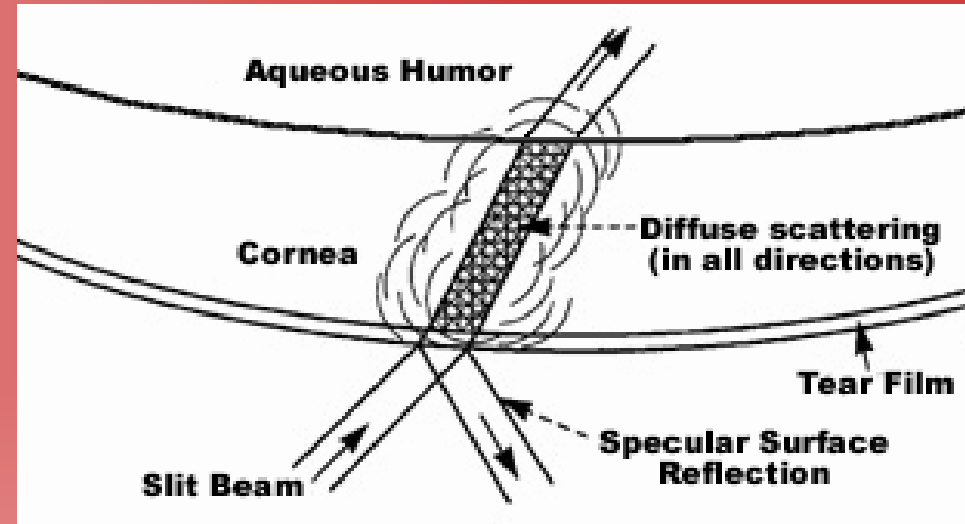
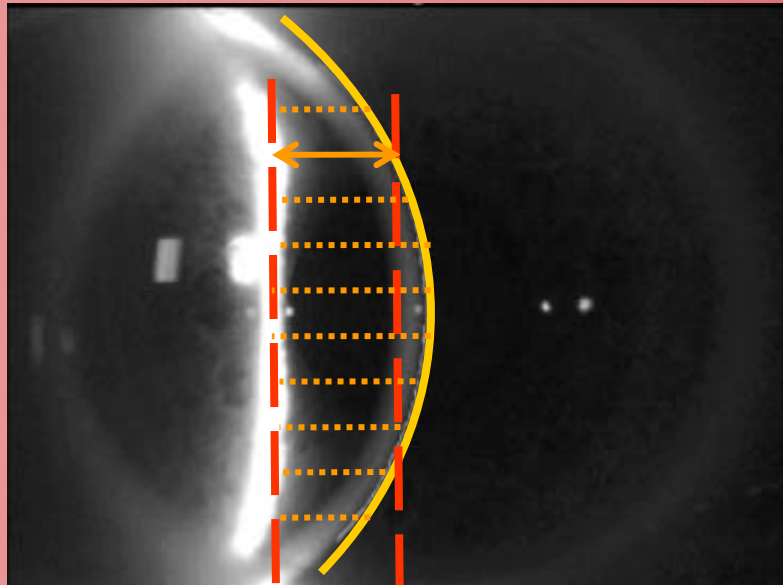
Se puede calcular la elevación a partir de la medida de la imagen y del ángulo de incidencia ( $\omega=45^\circ$ ).



# Topografía corneal I



## Topógrafo de proyección

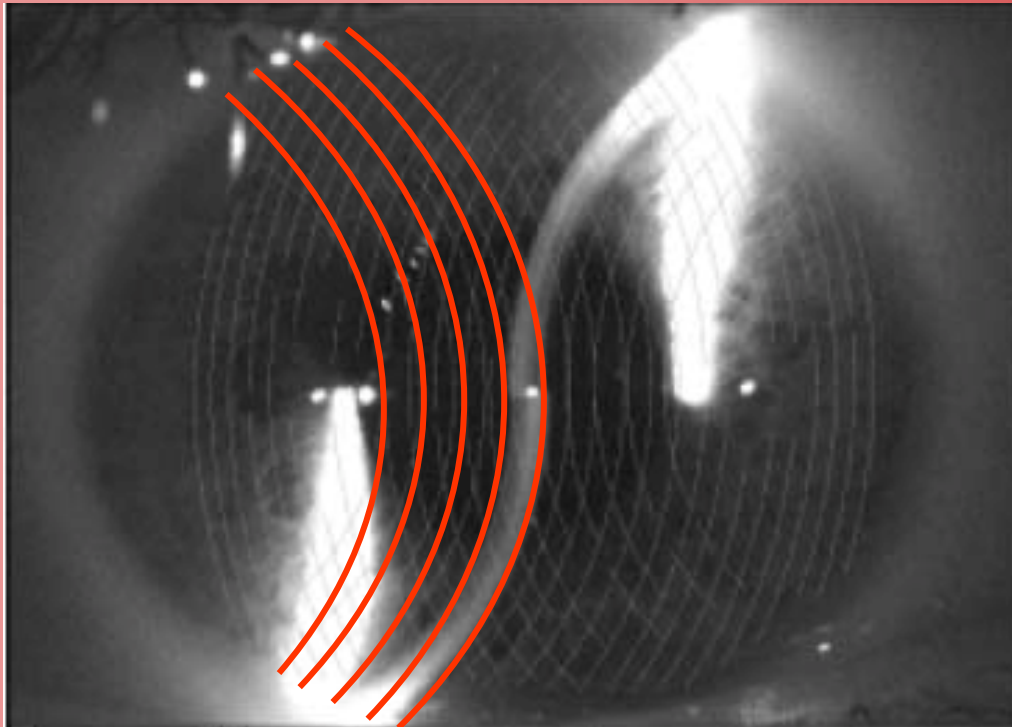


De ese modo, calculamos la **elevación** en cada punto de cada **línea de corte**.

# Topografía corneal I



## Topógrafo de proyección

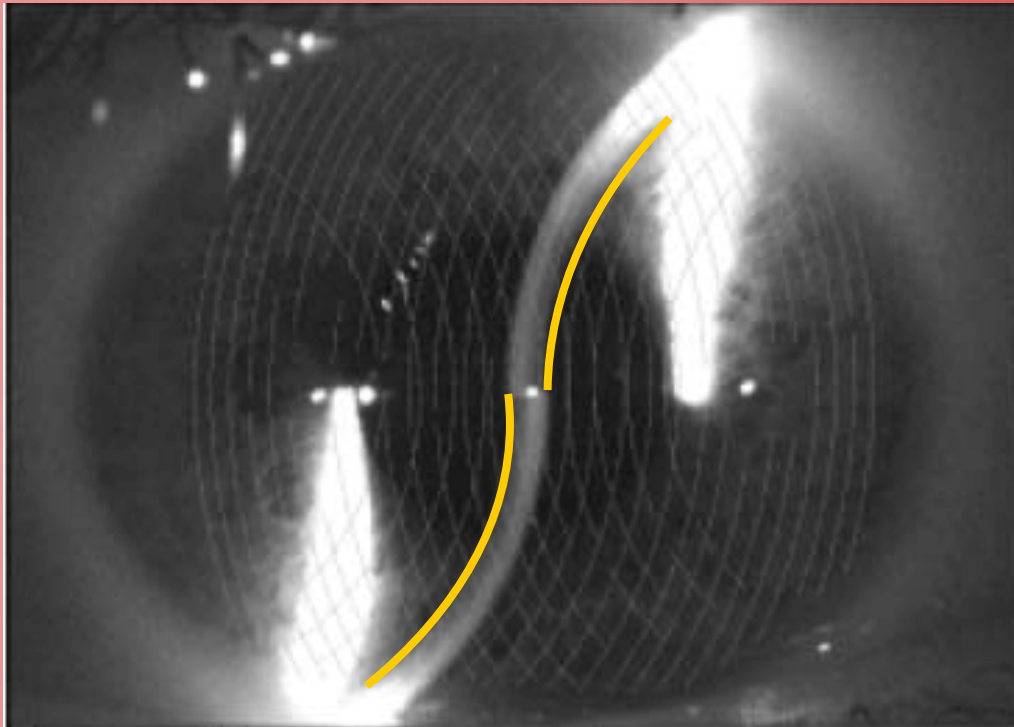


Extrapolando las elevaciones de 20 secciones realizadas en cada sentido obtenemos un mapa bidimensional de la elevación corneal.

# Topografía corneal I



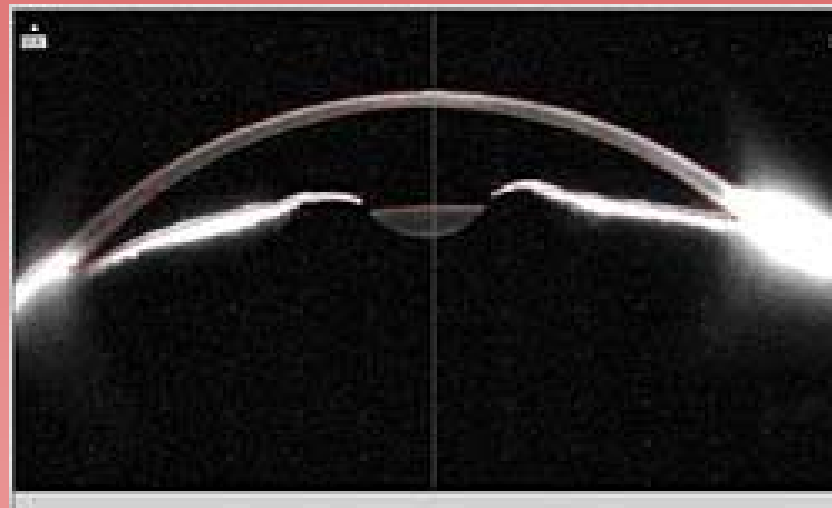
## Topógrafo de proyección



También calcula la elevación de la segunda cara.

La paquimetría corneal global se obtiene restando la elevación de ambas caras corneales.

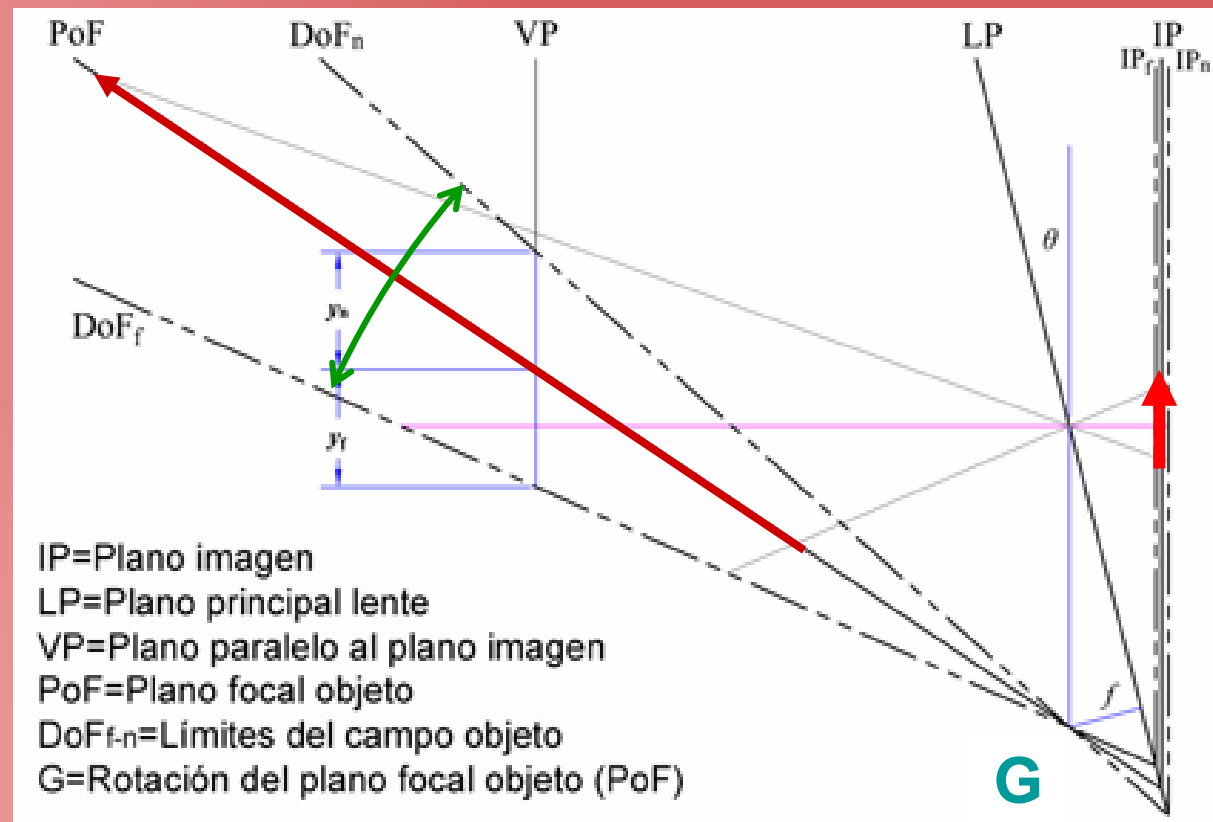
# Cámara de Scheimpflug (Pentacam<sup>®</sup>)



# Topografía corneal I

## Principio de Scheimpflug

El principio de Scheimpflug permite ampliar la **profundidad de campo**, inclinando para ello el objetivo y la película en torno a una *línea de rotación (G)*.



# Topografía corneal I



## Principio de Scheimpflug

Propuesto en 1904 por Theodor Scheimpflug como método para ampliar la profundidad de campo en imágenes militares tomadas desde el aire.

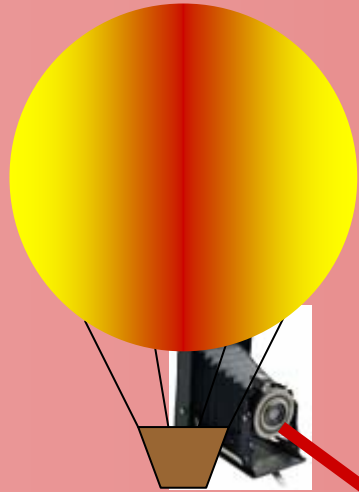


# Topografía corneal I

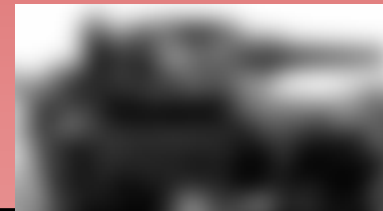


Imagen convencional:

Plano de foco perpendicular a la cámara.



Plano de foco  
convencional

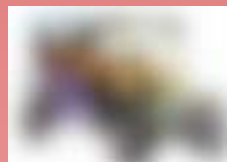
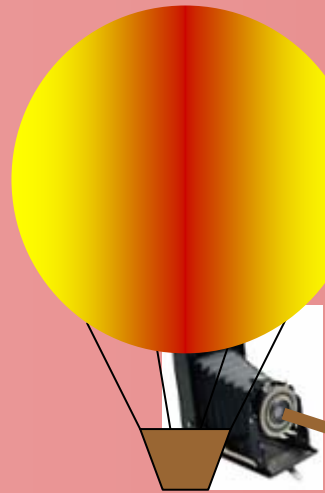


# Topografía corneal I



Imagen convencional:

Plano de foco perpendicular a la cámara.



Plano de foco  
convencional





# Topografía corneal I



Principio de Scheimpflug:

Se obtiene un plano de foco inclinado.



# Topografía corneal I



## Principio de Scheimpflug en Oftalmoscopia

- Se aplicó en oftalmoscopia en la década de los 70.
- Su interés era poder obtener una imagen simultánea de de varios planos de tejido simultáneamente.

Imagen de polo anterior con  
lámpara de hendidura



# Topografía corneal I



## Principio de Scheimpflug en Oftalmoscopia

- La idea es obtener una imagen simultánea de todo el polo anterior del ojo.
- La imagen sufre una distorsión, que no afecta a la calidad de la imagen, pero limita su exactitud.
- La distorsión se suele limitar tratando digitalmente la imagen.

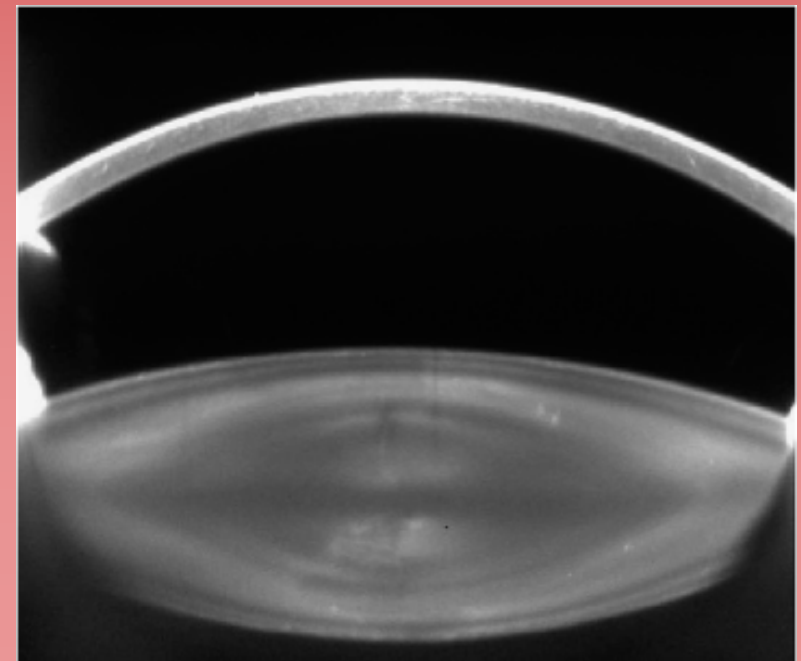


Imagen de cámara anterior  
obtenida con la cámara de

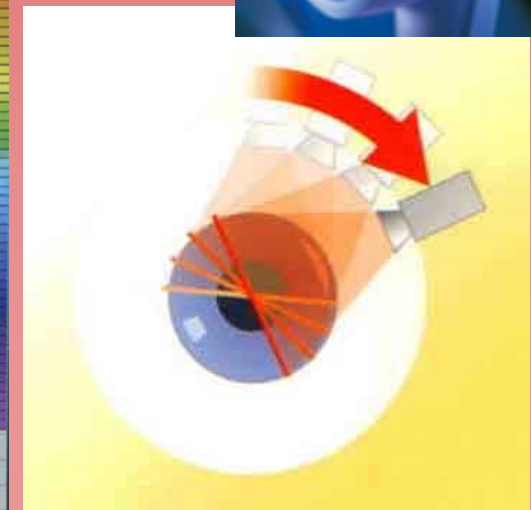
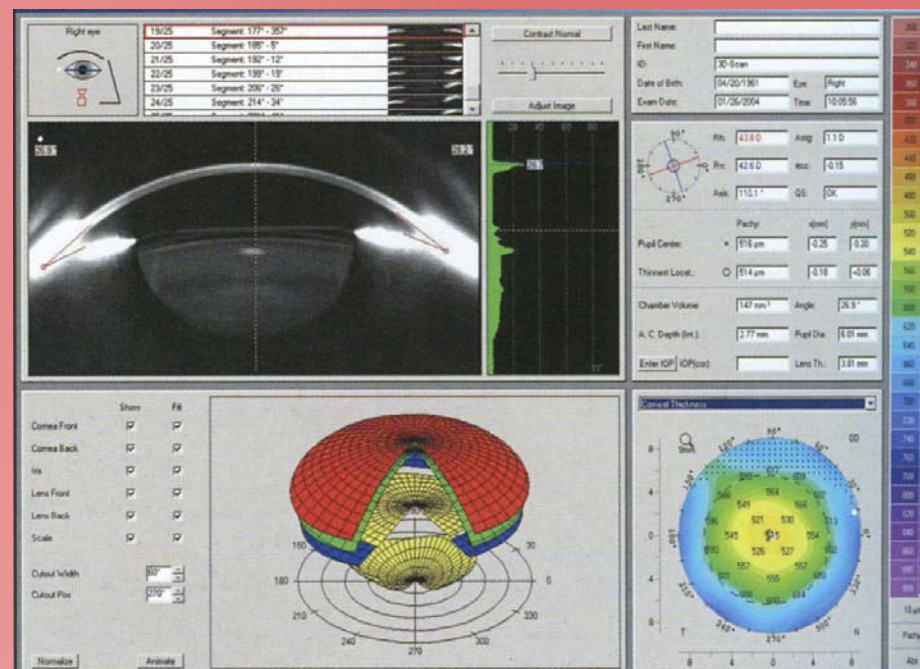
[Hermans et al, 2007] Scheimpflug de Topcon®

# Topografía corneal I



## Principio óptico de la *Pentacam*

Pentacam<sup>®</sup> es un sistema de topografía corneal que incorpora una cámara de Scheimpflug rotatoria que gira 180°, capturando 50 secciones del polo anterior del ojo, creando una imagen 3 D.



[[www.oculus.de](http://www.oculus.de)]

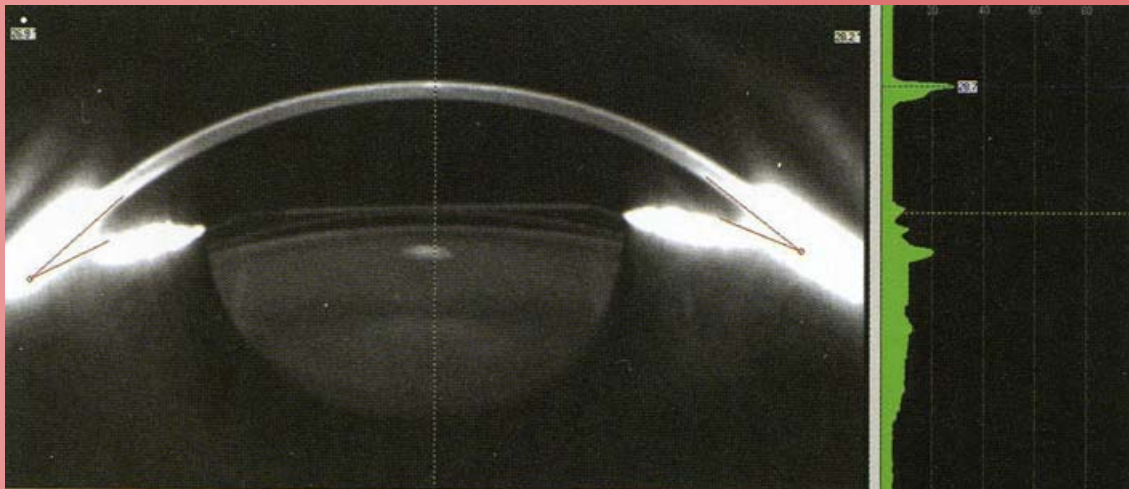
[Wang, 2006]

# Topografía corneal I

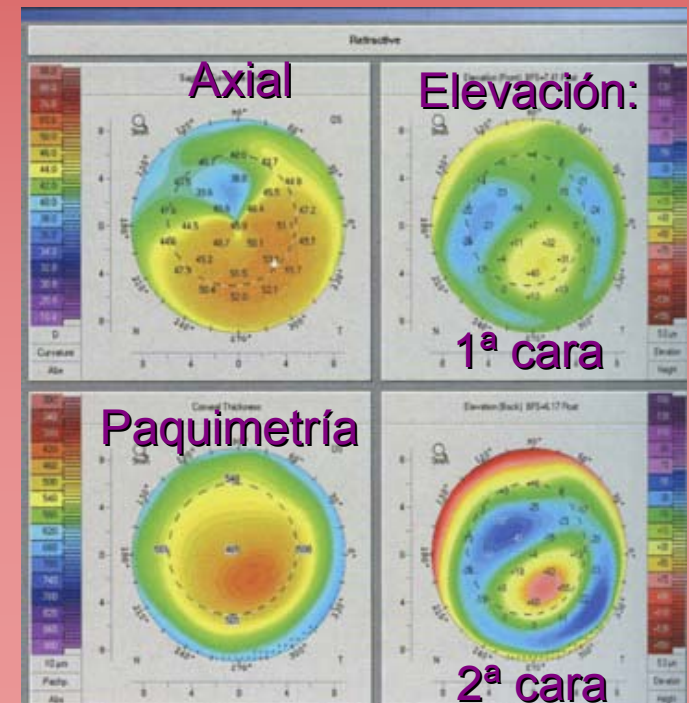
## Principio óptico de la *Pentacam*

En imagen se registra la posición de hasta 25.000 puntos, incluyendo ambas superficies corneales.

Esto permite obtener mapas corneales así como información de la transparencia del cristalino.

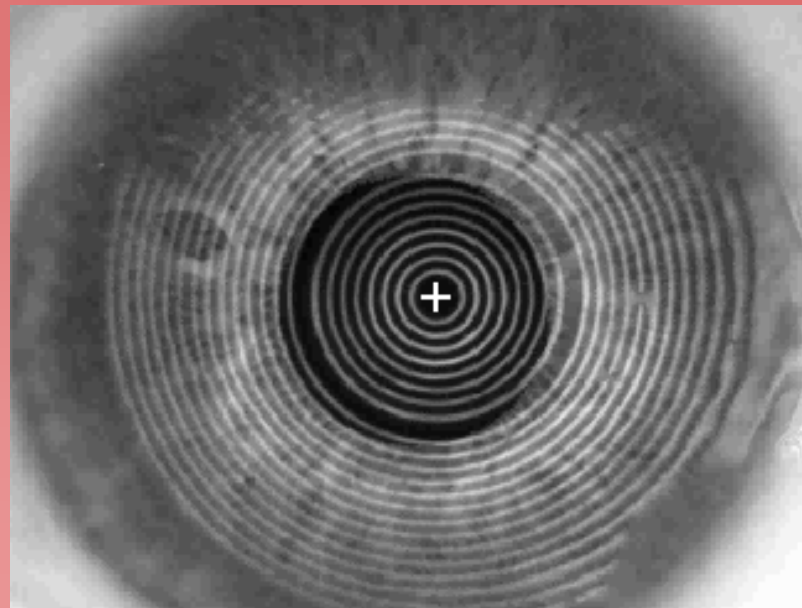


[Wang, 2006]





# Topógrafo de reflexión (Atlas<sup>®</sup>)

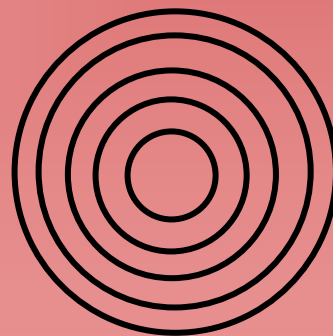


# Topografía corneal I

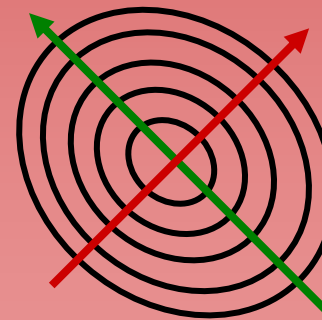


## Anillos de Placido

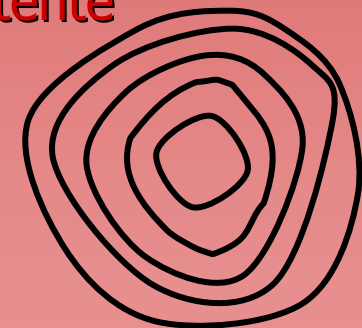
- Propuestos en 1882 por Plácido.
- Anillos concéntricos claros y oscuros.
- Permite saber *cualitativamente* cómo es la córnea.



REGULAR



TÓRICA



IRREGULAR

Meridiano +  
potente

# Topografía corneal I



## Videoqueratografía+anillos de Plácido

- La calidad de la imagen reflejada depende de la calidad de la lágrima.
- Se captura un único frame (exposición de unos pocos milisegundos), del cual se pueden analizar miles de puntos.



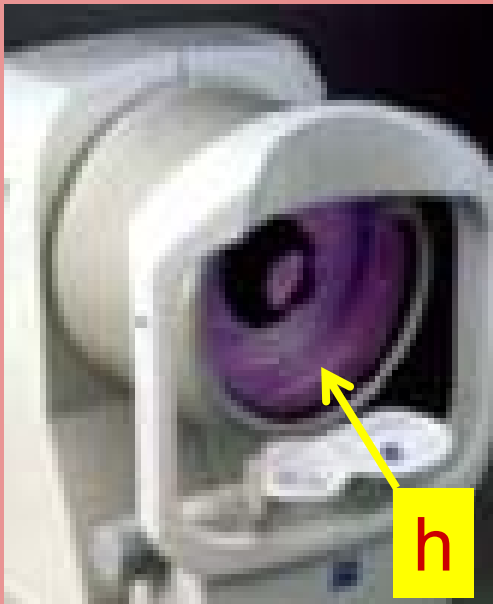
# Topografía corneal I



## Videoqueratografía corneal

- El tamaño de cada anillo (h) es fijo.

$$\frac{h'}{h} = \frac{r}{2d}$$



# Topografía corneal I

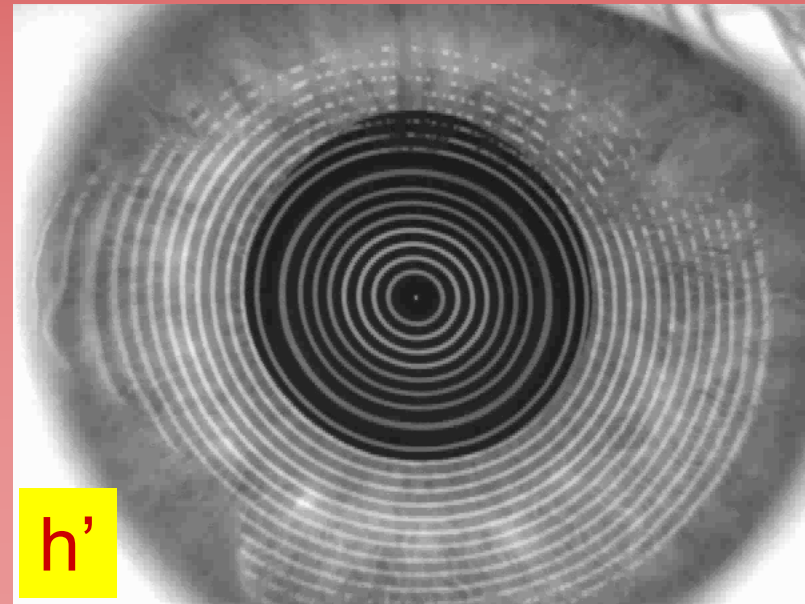


## Videoqueratografía corneal

• El tamaño de cada anillo ( $h$ ) es fijo.

• Si fijamos la distancia a la córnea ( $d$ ), y medimos el tamaño de  $h'$ , puede calcular  $r$  en cada punto.

$$\frac{h'}{h} = \frac{r}{2d}$$



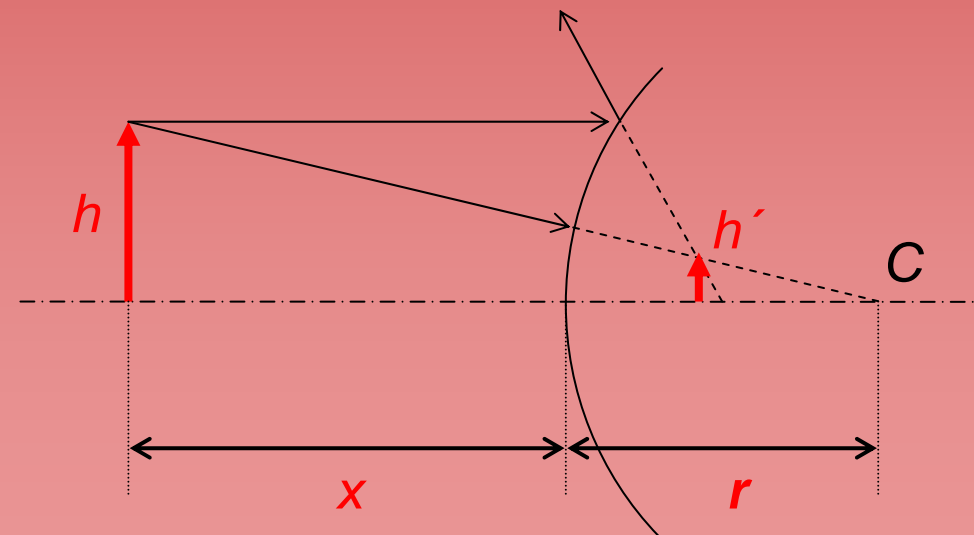
[Wang, 2006]

# Topografía corneal I



## La córnea como espejo esférico

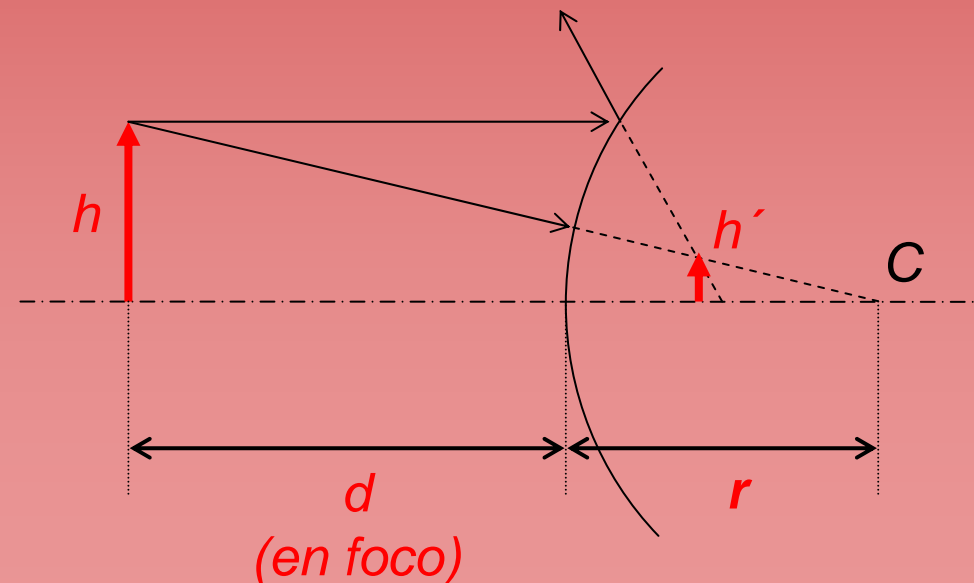
La disposición en cono de los anillos del topógrafo se hace para asegurar que la distancia de los anillos al vértice corneal de los anillos sea similar ( $x=d\approx cte$ ).



# Topografía corneal I

## La córnea como espejo esférico

- Para localizar la distancia  $d$ , se debe focalizar el iris.
- Este centrado no está exento de errores...

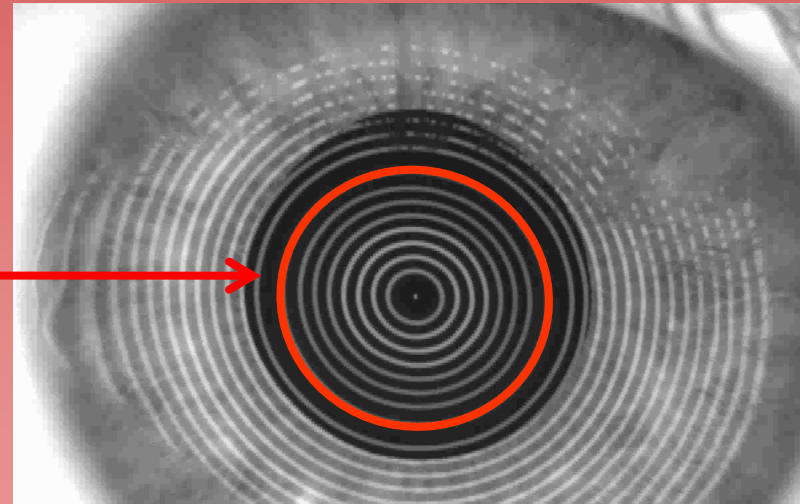


# Topografía corneal I



## Videoqueratografía corneal

Para situar correctamente la distancia del topógrafo a la córnea ( $d$ ), se utiliza un anillo de enfoque, que está más próximo que el resto de anillos.



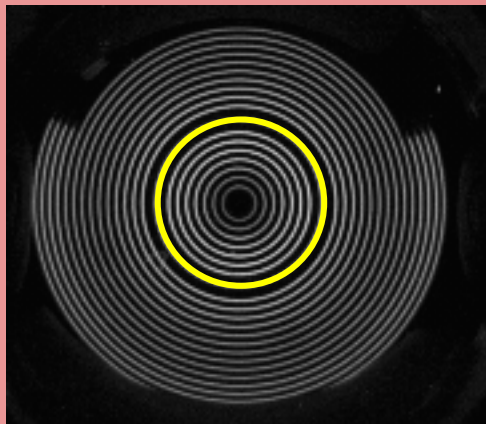
Del total de anillos (20 a 25), el 10º anillo no tiene vecinos para facilitar su visualización

# Topografía corneal I

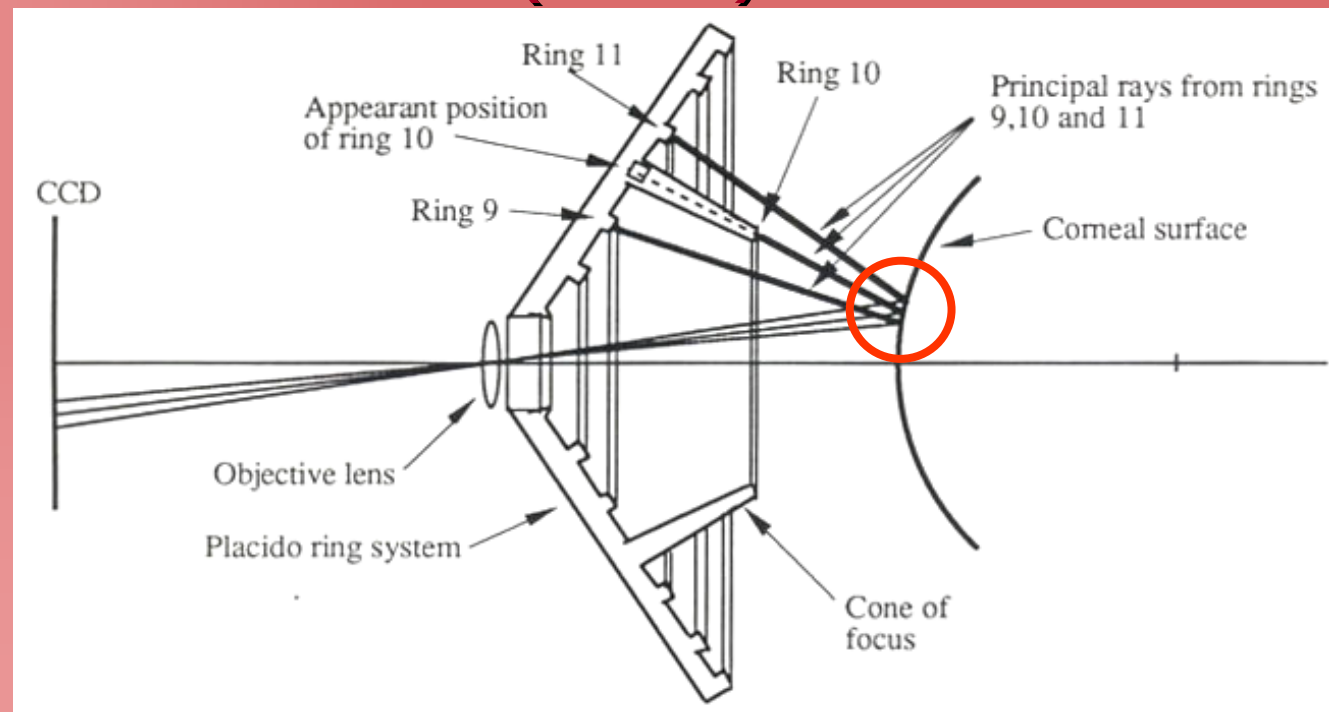
## Videoqueratografía corneal

- Al estar más cerca, el tamaño de la imagen de este anillo cambia más rápido con  $x$  que el resto.
- El resto están situados en un cono, es decir, a una misma distancia de la córnea ( $x \approx \text{cte}$ ).

Esfera de 8 mm enfocada



[Campbell, 1997]



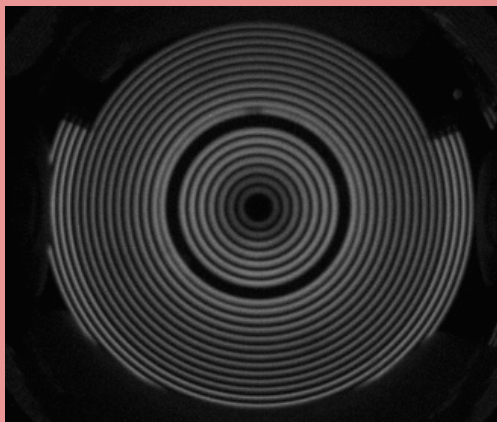
# Topografía corneal I



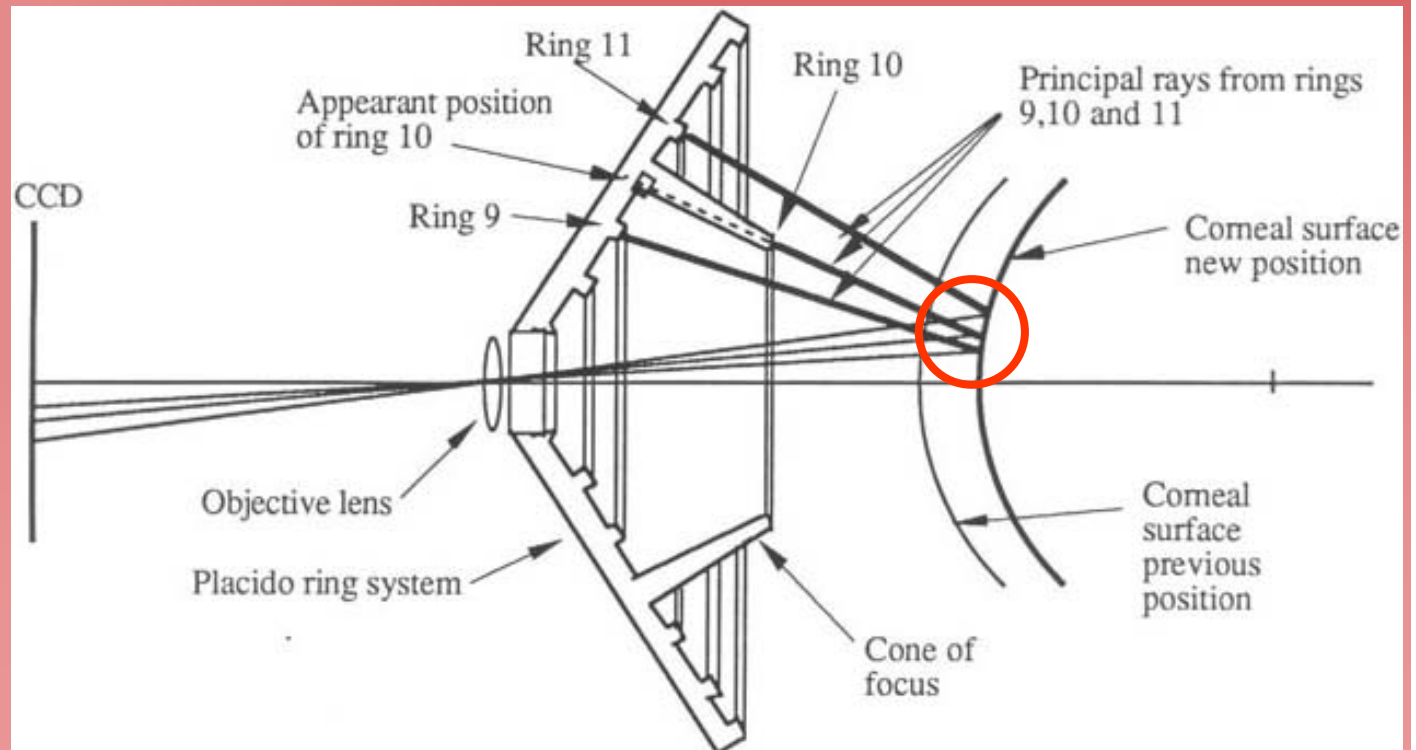
## Videoqueratografía corneal

- Si la distancia es incorrecta, el anillo intermedio cambia de tamaño y se confunde con los cercanos.
- Esto reduce el error al situar la distancia a la córnea.

Esfera desenfocada



[Campbell, 1997]

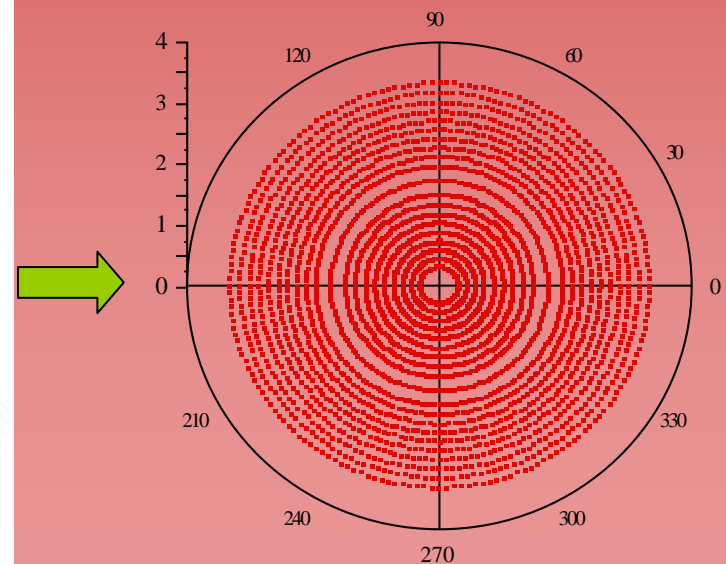
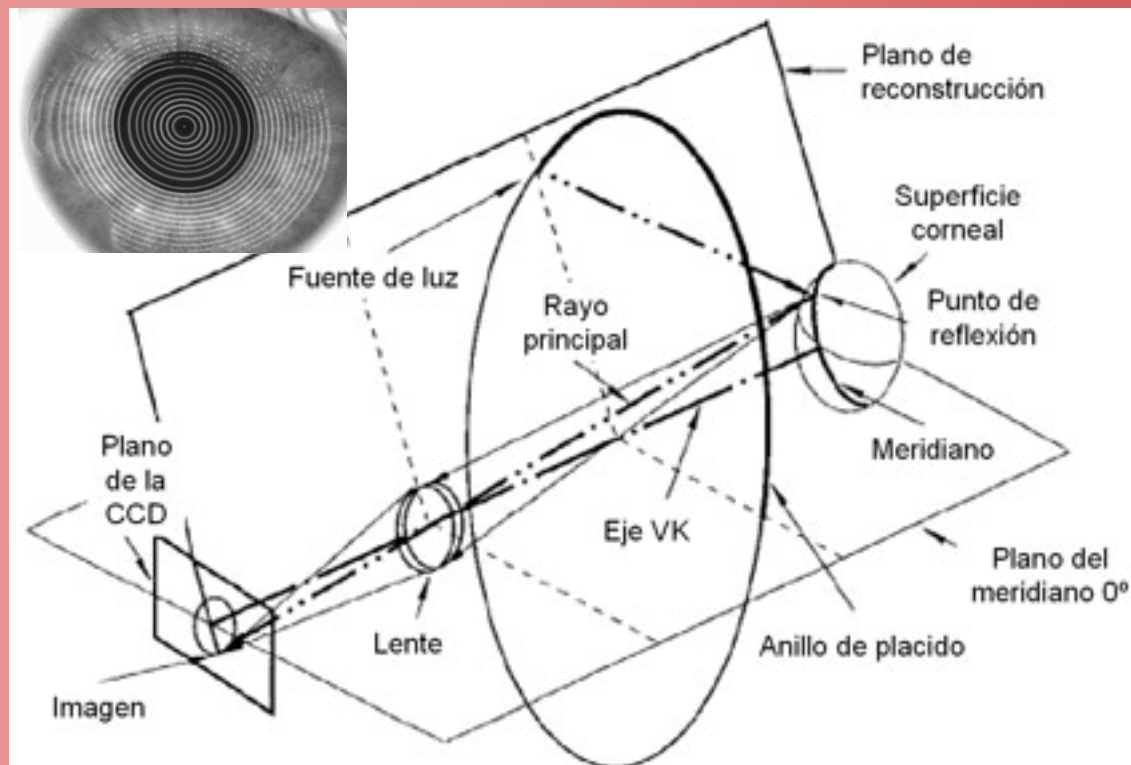




# Topografía corneal I

## Videoqueratografía: cálculos

- Cada punto tiene unas coordenadas polares  $(d, \theta)$ .
- La curvatura local  $r_{d, \theta}$  para cada punto, se calcula en el llamado *plano de reconstrucción*.



[Campbell, 1997]



# Topografía corneal I



## Curvatura corneal local

La potencia corneal en cada punto ( $P_{d,\theta}$ ) se obtiene utilizando 1.3376 como índice de refracción de la córnea.

Nº anillo	$\theta^\circ$	d (mm)	P (D)
0	66	0.36	46.35
0	68	0.36	46.38
<b>0</b>	<b>70</b>	<b>0.36</b>	<b>46.38</b>
0	72	0.36	46.37
0	74	0.36	46.33
0	156	0.39	42.01
0	158	0.39	41.93
<b>0</b>	<b>160</b>	<b>0.4</b>	<b>41.85</b>
0	162	0.4	41.78
0	164	0.4	41.71

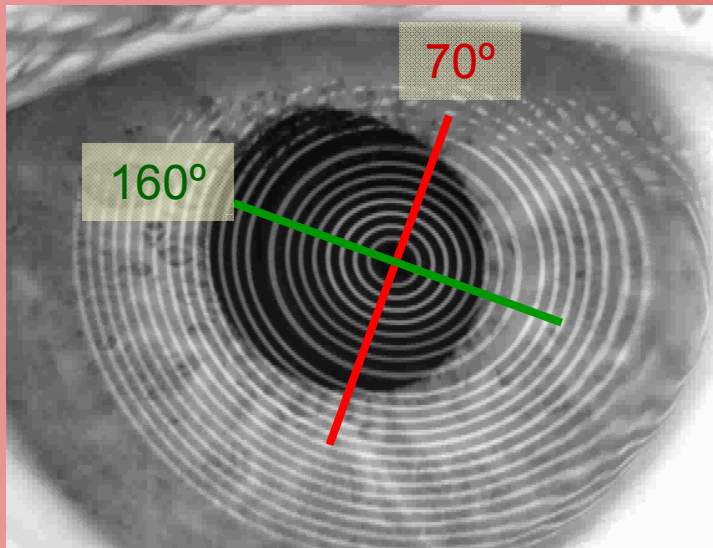
# Topografía corneal I



## Curvatura corneal local

En este ejemplo se puede ver cómo cambia el tamaño del anillo ( $h'$ ) y la potencia debido a un astigmatismo corneal.

Nº anillo	$\theta^\circ$	d (mm)	P (D)
0	66	0.36	46.35
0	68	0.36	46.38
<b>0</b>	<b>70</b>	<b>0.36</b>	<b>46.38</b>
0	72	0.36	46.37
0	74	0.36	46.33
0	156	0.39	42.01
0	158	0.39	41.93
<b>0</b>	<b>160</b>	<b>0.4</b>	<b>41.85</b>
0	162	0.4	41.78
0	164	0.4	41.71



14	66	3.32	43.75
14	68	3.32	43.79
<b>14</b>	<b>70</b>	<b>3.32</b>	<b>43.77</b>
14	72	3.33	43.69
14	74	3.34	43.56
14	156	3.51	41.29
14	158	3.51	41.34
<b>14</b>	<b>160</b>	<b>3.5</b>	<b>41.37</b>
14	162	3.5	41.39
14	164	3.5	41.4



## Estudio de la córnea:

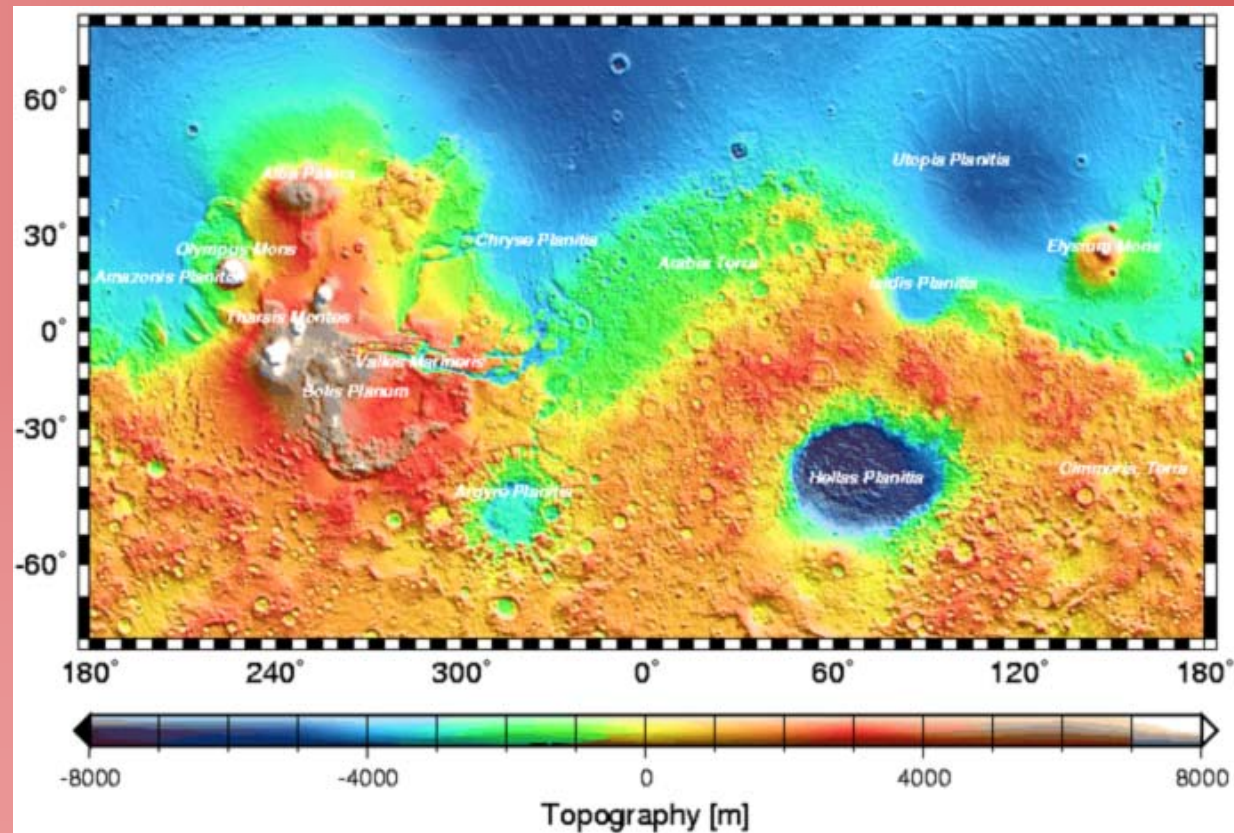
- Topografía corneal I. Topografía corneal. Sistemas comerciales.
- **Topografía corneal II. Mapas e índices topográficos.**
- Topografía corneal III. Córnea normal y patológica.
- Topografía corneal IV. Interpretación de resultados quirúrgicos. Aberraciones corneales.

# Topografía corneal II



## Interpretación de topografías: Escala

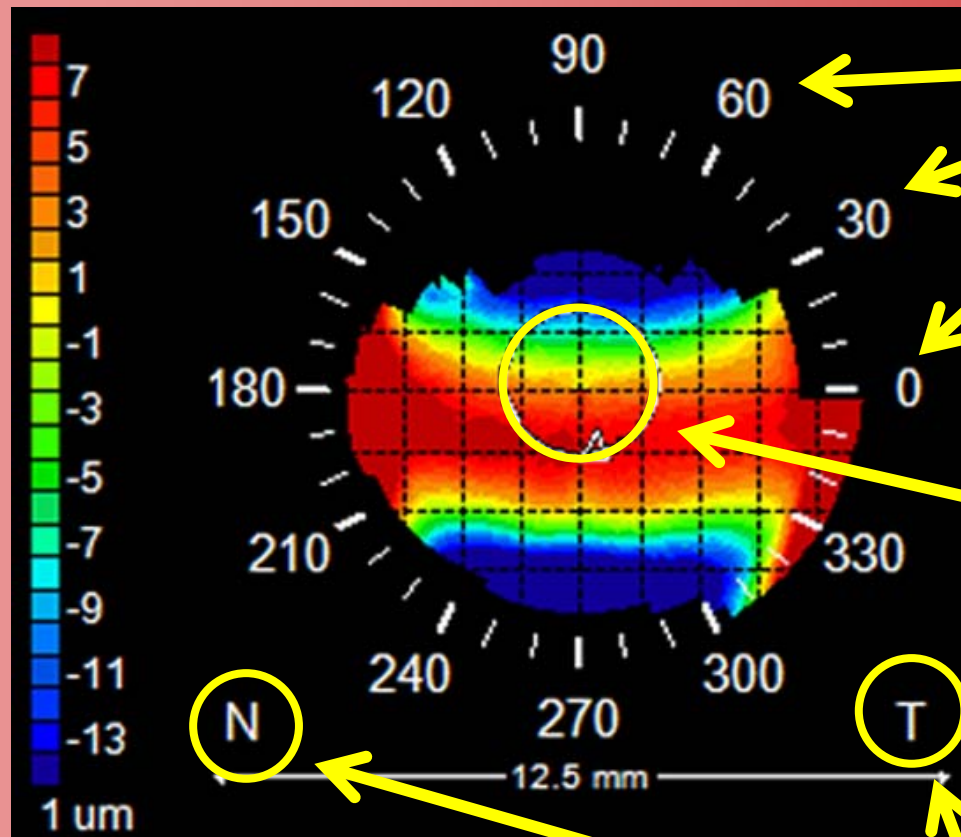
Un mapa topográfico representa en 2 D una representación con escala, que permite interpretarlo.



# Topografía corneal II



## Mapas topográficos de la córnea ( $\mu\text{m}$ , mm, D)



Meridianos

Localización  
de la pupila

Correspondencia  
Nasal/Temporal

Escala de altura ( $\mu\text{m}$ )



# Topografía corneal II



Tipos de mapas topográficos de la córnea:

A. Mapa de elevaciones.

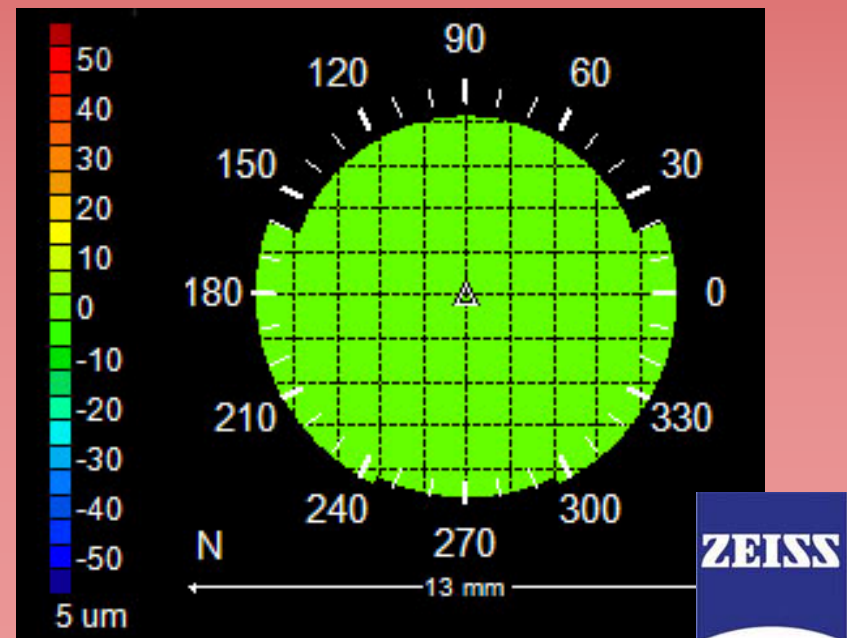
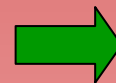
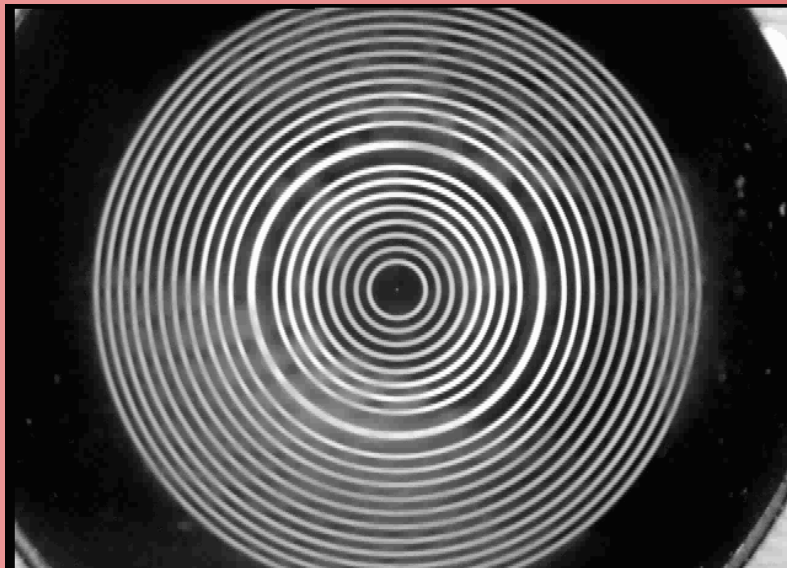


# Topografía corneal II



## A. Mapa de elevaciones.

La escala de elevación corneal representa la diferencia de elevación frente a la esfera que mejor se ajusta a los valores (*best fit sphere*).



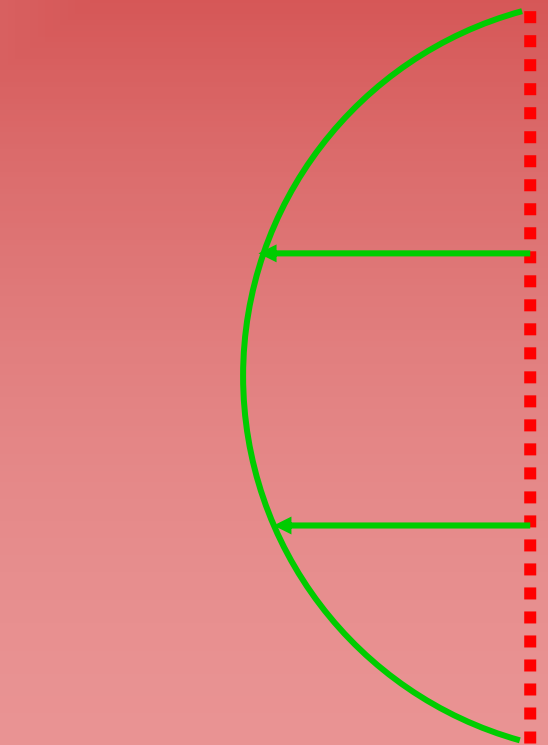
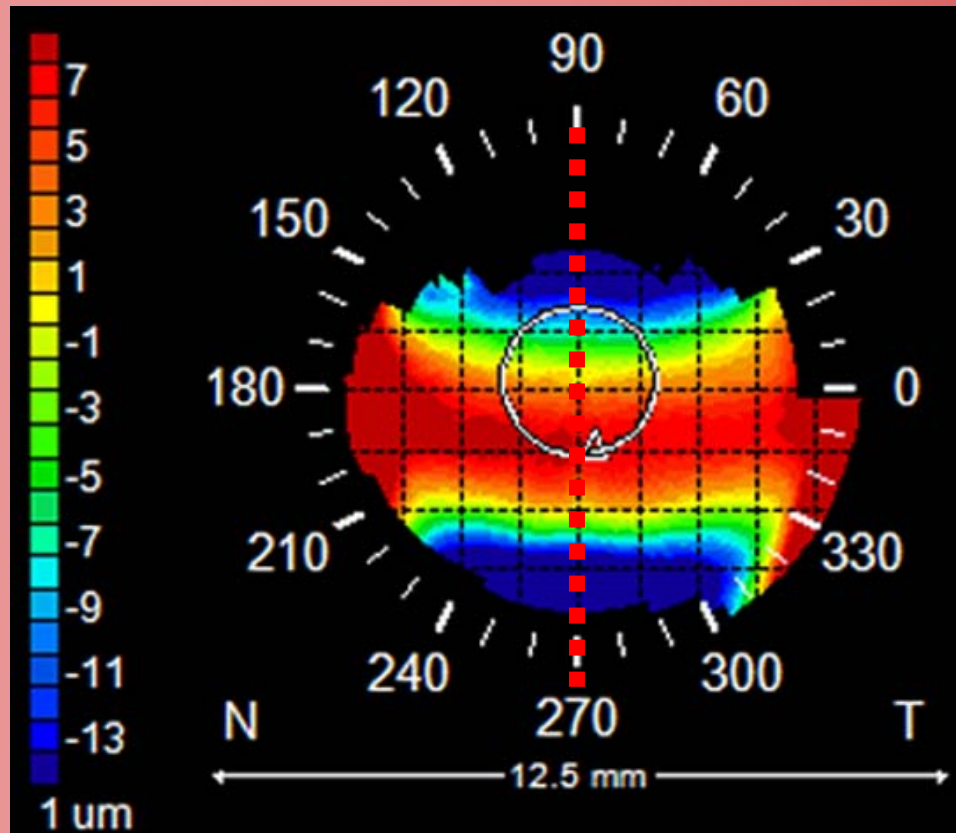
Elevación en una bola de 8 mm de radio.

# Topografía corneal II



## A. Mapa de elevaciones ( $\mu\text{m}$ )

Suele representar los valores de elevación en  $\mu\text{m}$  de la ságitas corneal respecto a la superficie considerada.



Corte vertical: BFS

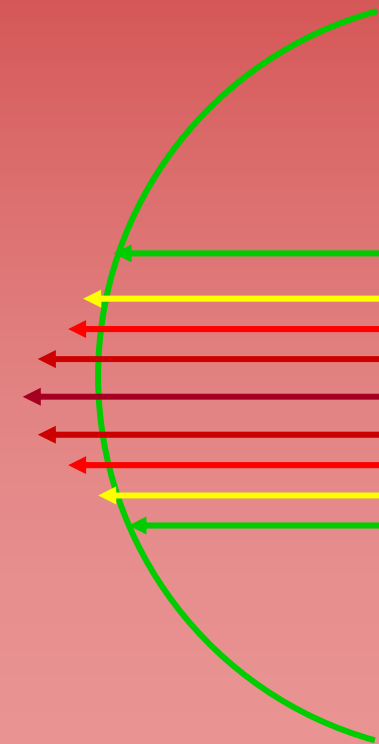
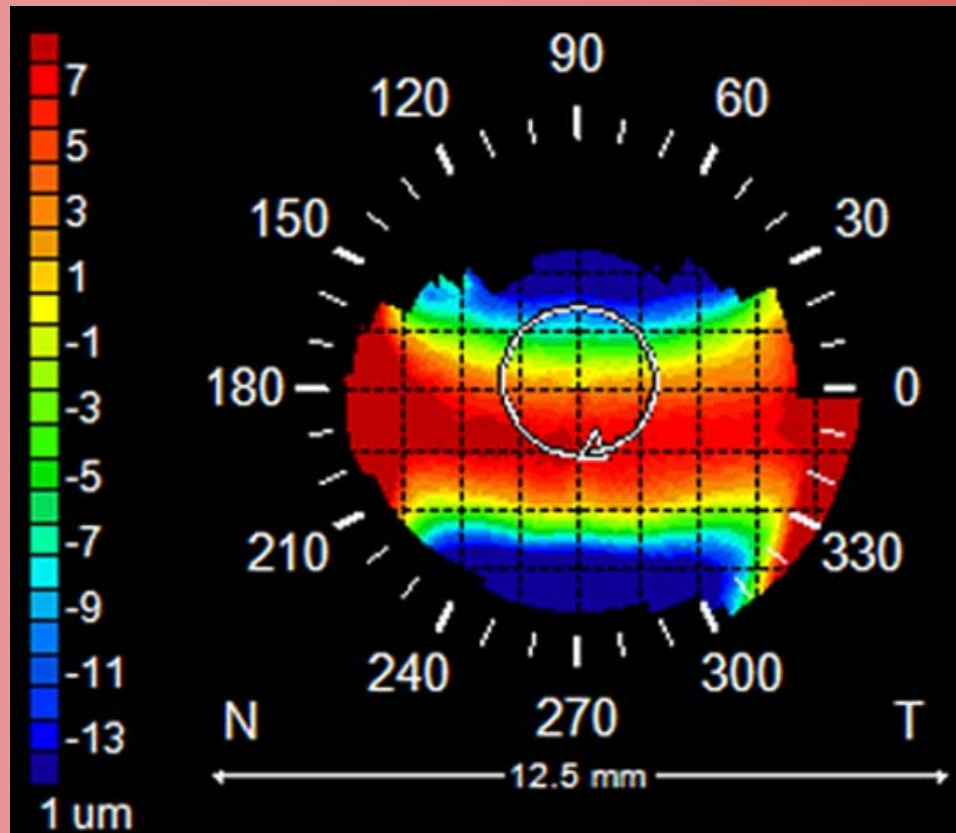


# Topografía corneal II



## A. Mapa de elevaciones ( $\mu\text{m}$ )

Los **tonos cálidos** indican elevaciones mayores, luego indican zonas que sobresalen más que el resto.



Zonas elevadas

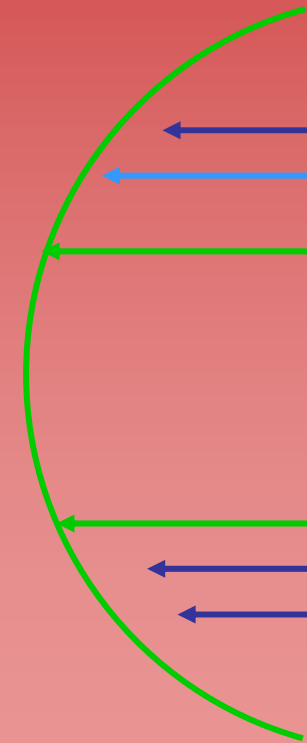
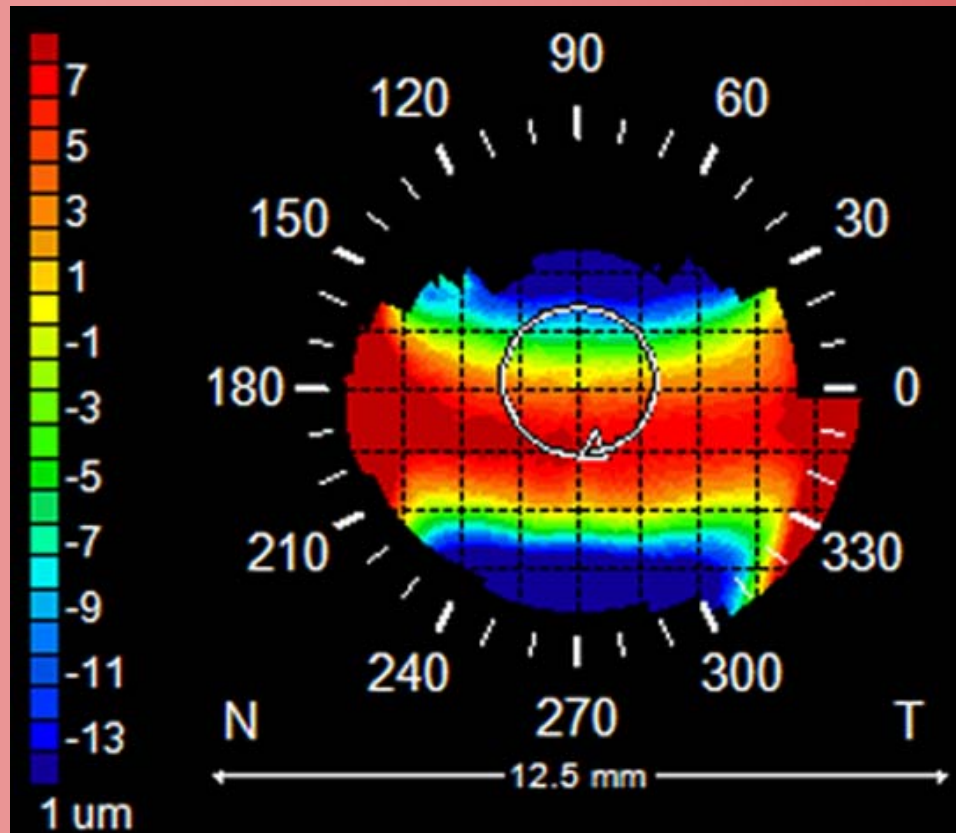


# Topografía corneal II



## A. Mapa de elevaciones ( $\mu\text{m}$ )

Los tonos fríos indican áreas situadas por debajo de la BFS, es decir, zonas deprimidas respecto a la esfera de referencia.



Zonas deprimidas

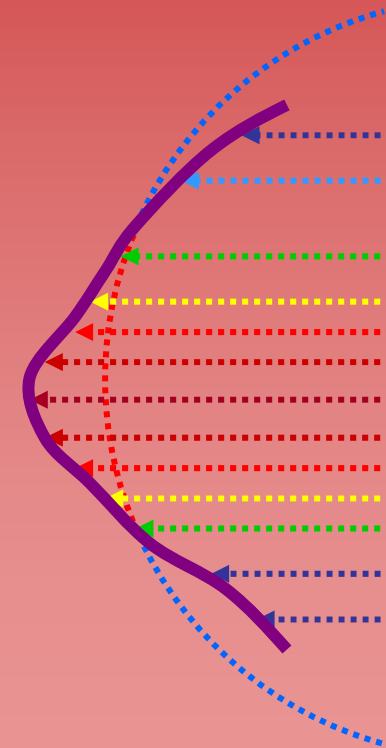
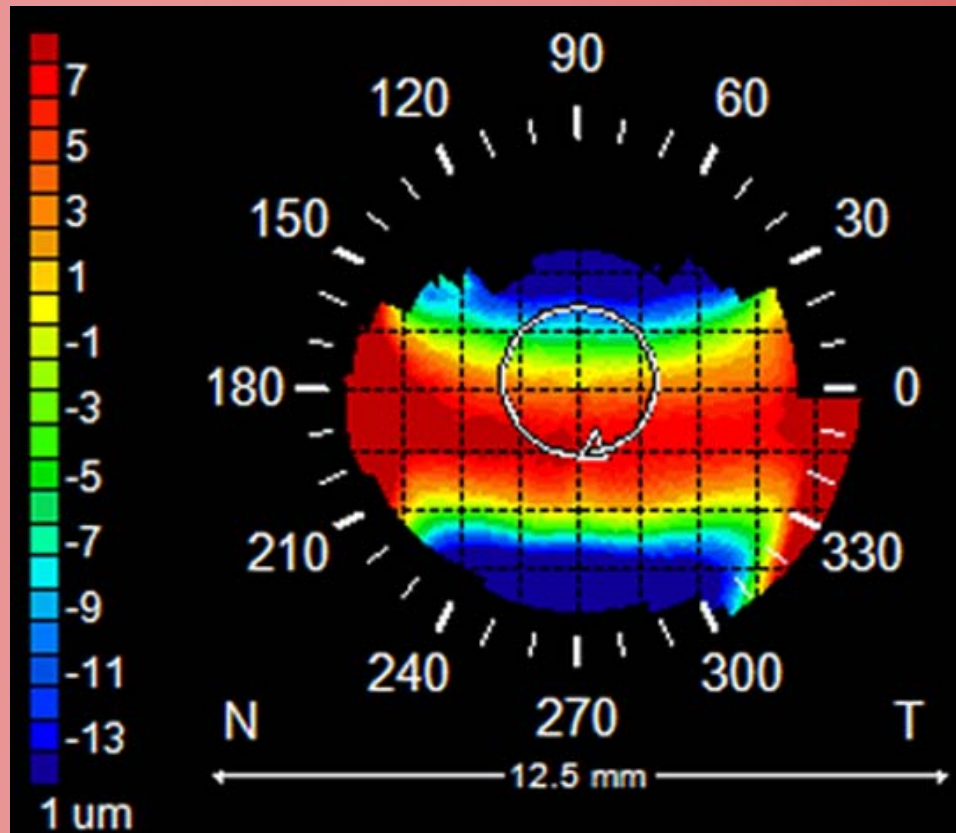


# Topografía corneal II



## A. Mapa de elevaciones ( $\mu\text{m}$ )

El cambio de tonalidad permite interpretar las elevaciones relativas de cada zona y cada meridiano corneal.



Superficie real



# Topografía corneal II



Tipos de mapas topográficos de la córnea:

B. Mapas de curvatura.



Tipos de mapas topográficos de la córnea:

B.1 Mapa Axial: Curvatura en eje corneal.

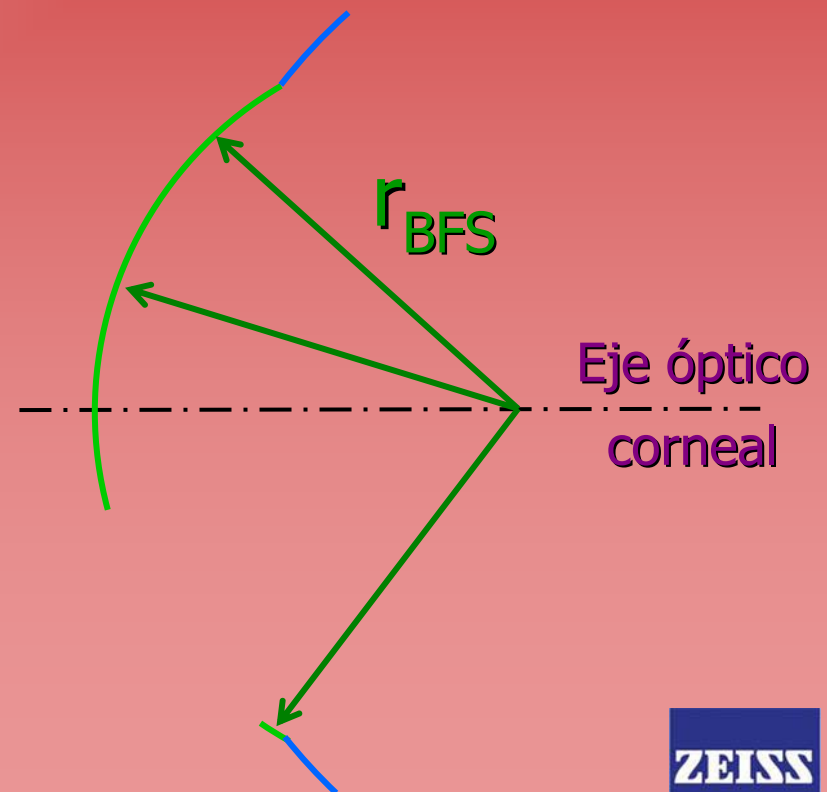
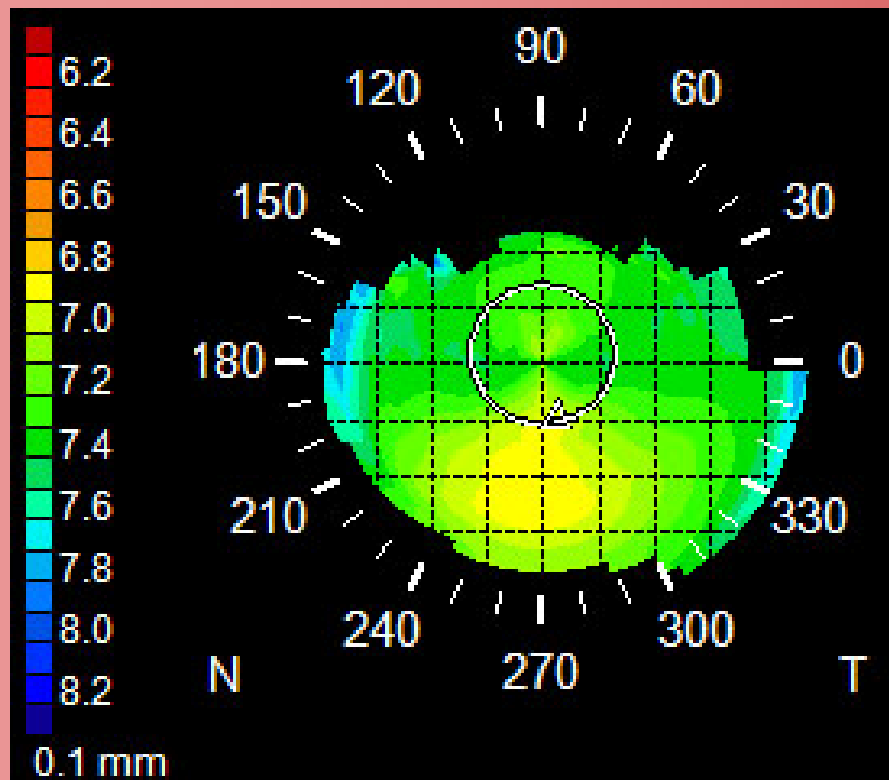
- Representa la potencia (D) o la curvatura (mm) en cada punto respecto del eje óptico corneal.
- Es similar a una extensión de la queratometría clásica para por ejemplo hacerse una idea del astigmatismo corneal para pupilas grandes.
- Representa bastante mal la forma de la córnea.

# Topografía corneal II



## B1. Mapa axial (mm, D)

Las **zonas frías** indican mayor radio de curvatura (+plano), como el aplanamiento periférico.

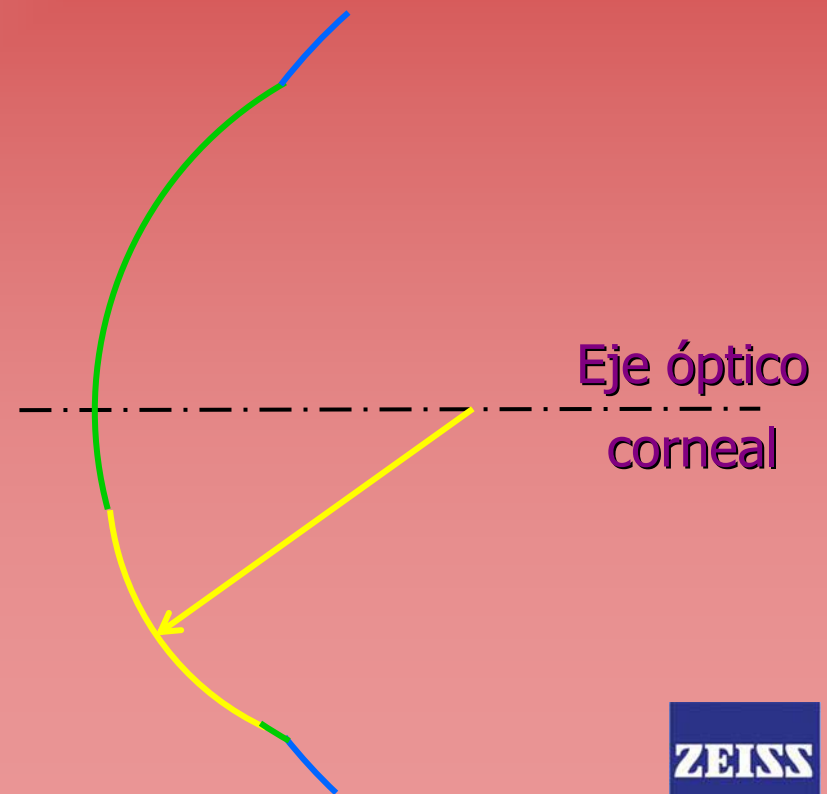
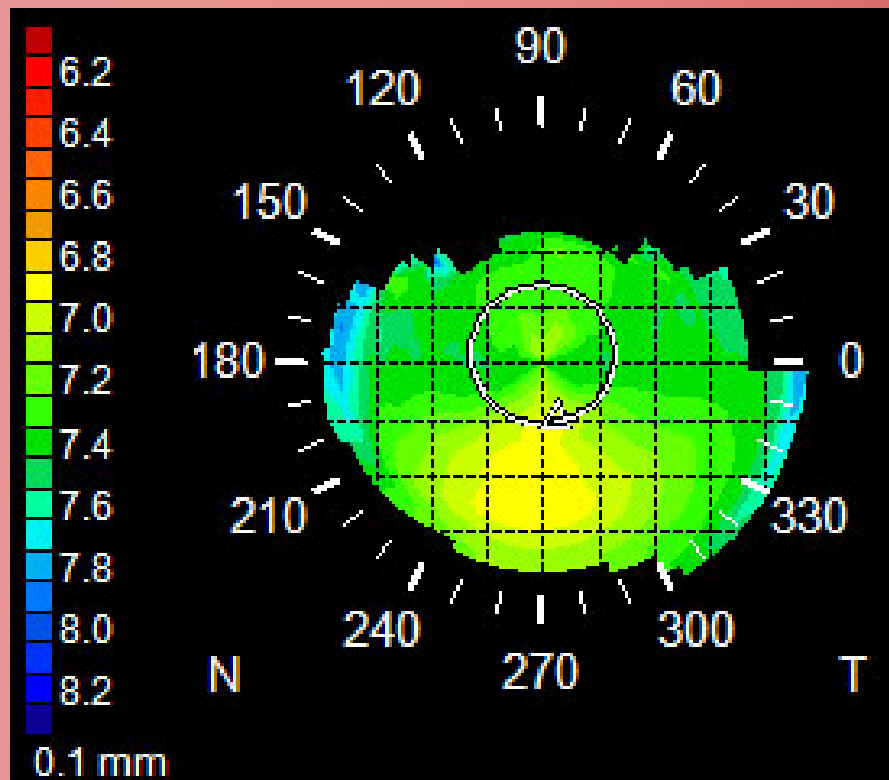


# Topografía corneal II



## B1. Mapa axial (mm, D)

Los tonos cálidos indican una zona más curvada, luego de mayor potencia óptica.



# Topografía corneal II



Tipos de mapas topográficos de la córnea:

B.2 Mapa Tangencial





Tipos de mapas topográficos de la córnea:

## B.2 Mapa Tangencial

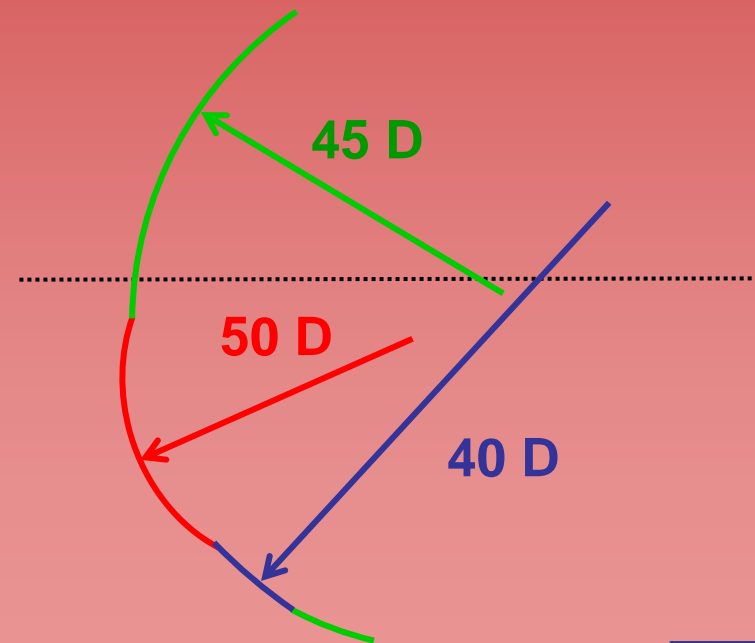
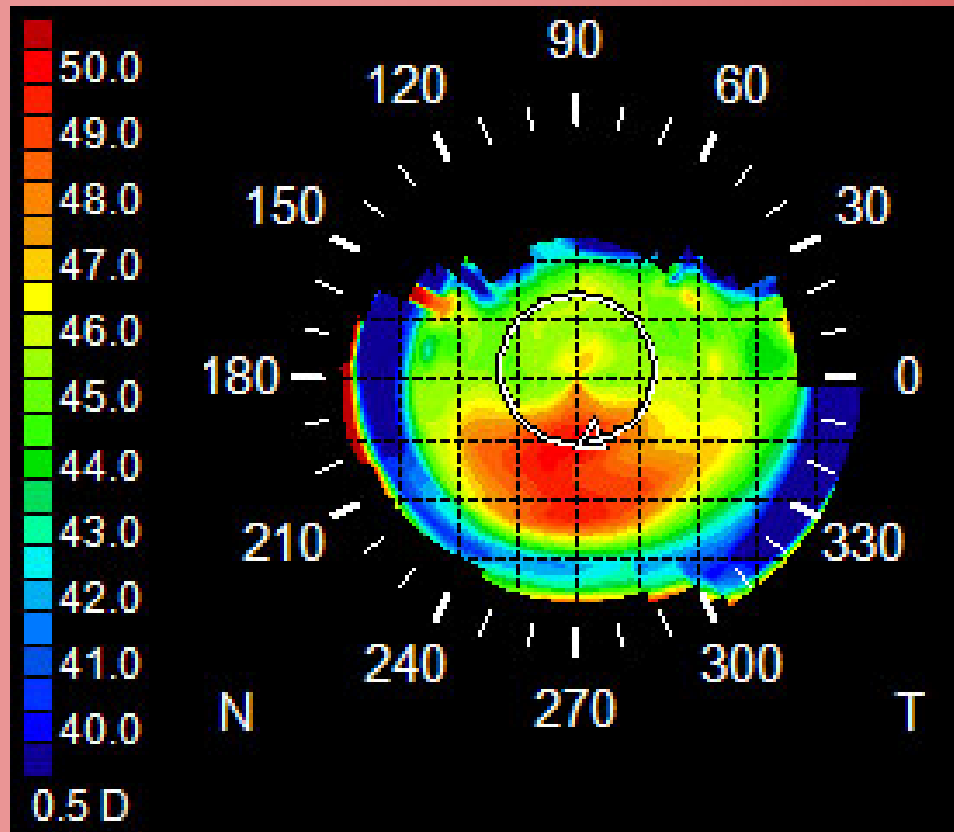
- Se obtiene haciendo un trazado de rayos, a partir de las elevaciones corneales.
- Esto permite describir con mayor fiabilidad la forma de la córnea, lo que permite detectar mejor las deformidades corneales.
- Pero tiene menos utilidad desde un punto de vista refractivo y/o visual.

# Topografía corneal II



## B2. Tangencial (mm, D)

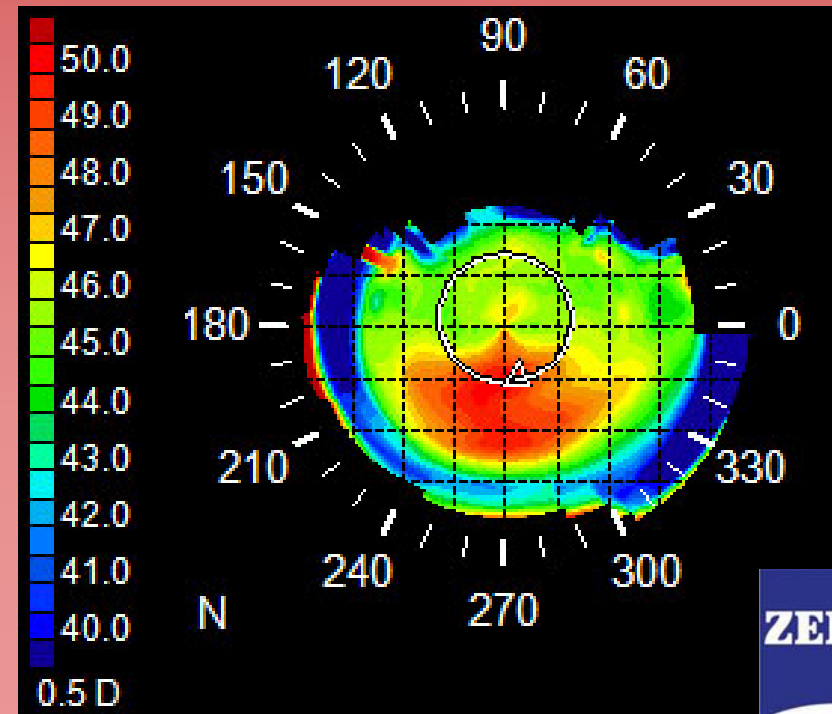
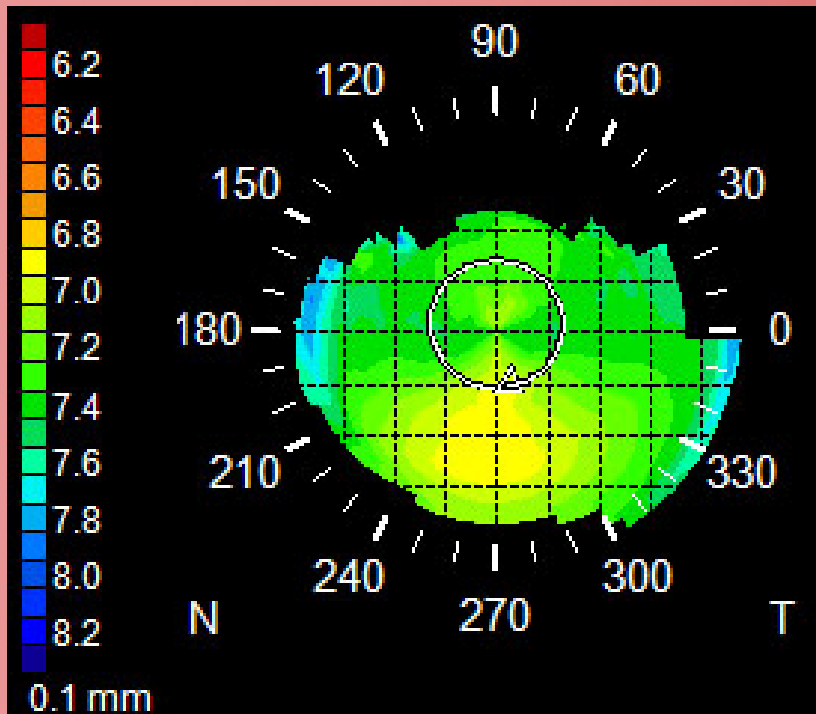
Al no tener un eje fijo, permite mostrar con más detalle los cambios de curvatura de la córnea.



# Topografía corneal II

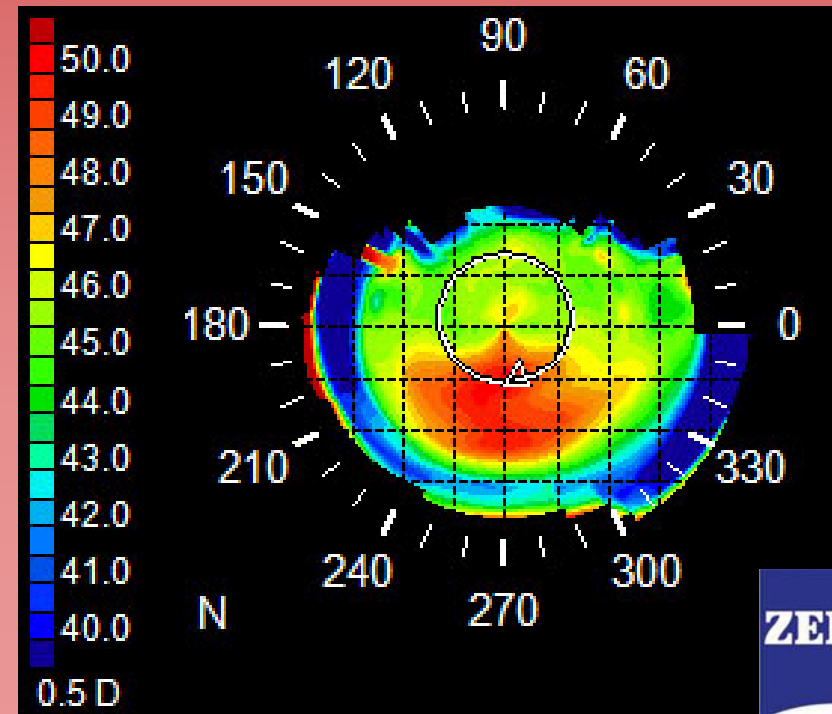
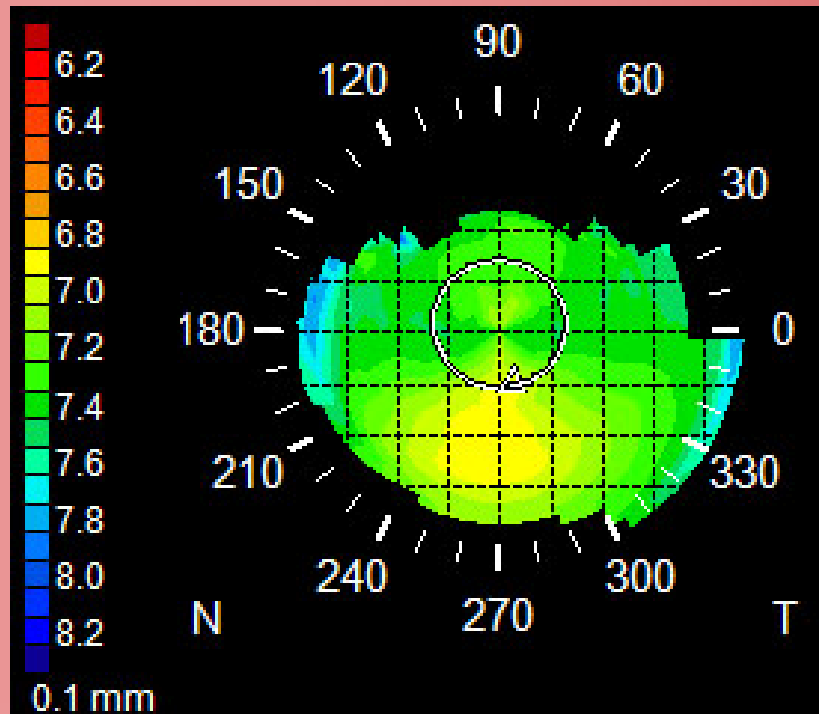


## Axial vs Tangencial



## Axial vs Tangencial

El astigmatismo asimétrico del axial (izq.), coincide con una zona inferior muy curvada (dcha), que representa el pico de un queratocono.



# Topografía corneal II



Tipos de mapas topográficos de la córnea:

C. Queratométrico

# Topografía corneal II



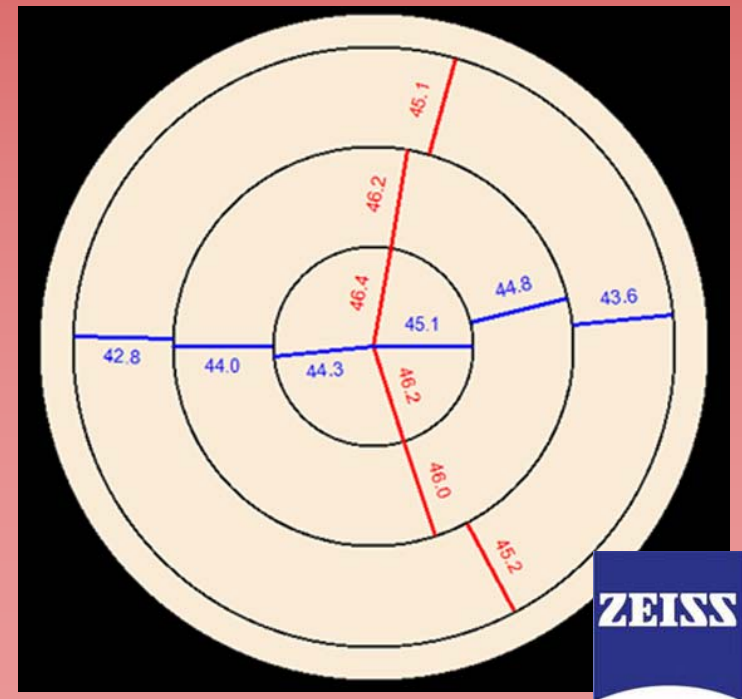
## C. Mapa Queratométrico (D). $Q=337.5/r_{\text{mm}}$

- Representa la dirección y potencia de los meridianos principales de la córnea, expresados como potencias queratométricas, en 3 zonas anulares diferentes.

- Puede ser útil al adaptar lentes de contacto semirrígidas, ya que puede ayudar a saber cómo será el apoyo de la lente.

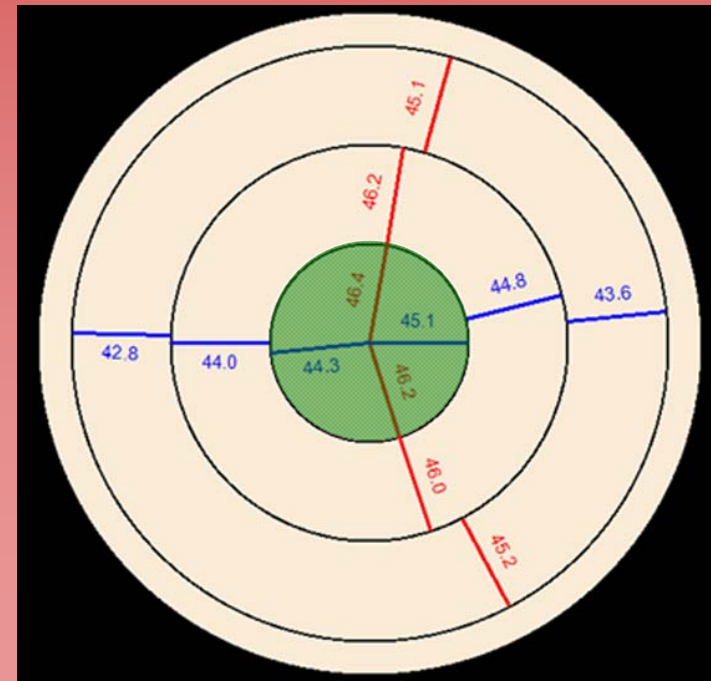
Indicadores numéricos relacionados:

*Simulated keratometry (Sim K's).*



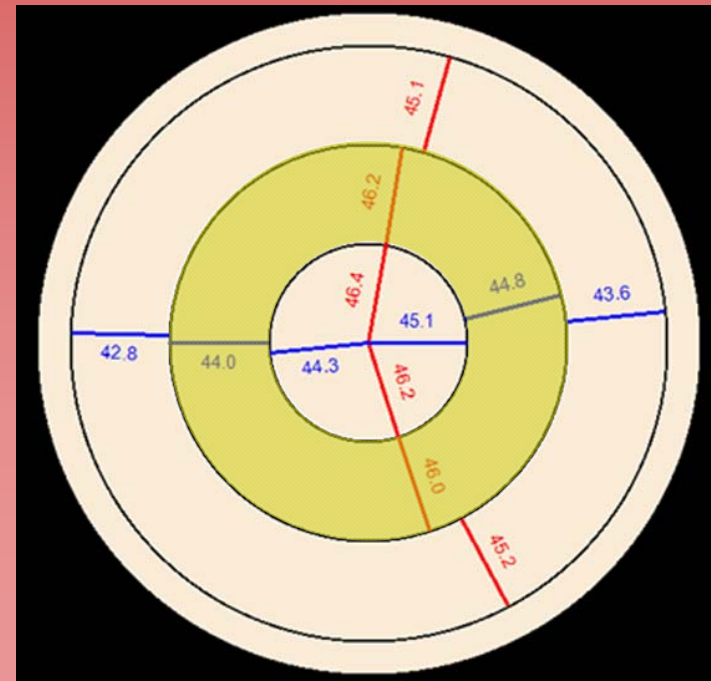
## C. Mapa Queratométrico (D)

- El área central de  $< 3$  mm, es equivalente a la queratometría centrada en el reflejo corneal.
- Puede servir para determinar el radio de ZO de la LC semirrígida.



## C. Mapa Queratométrico (D)

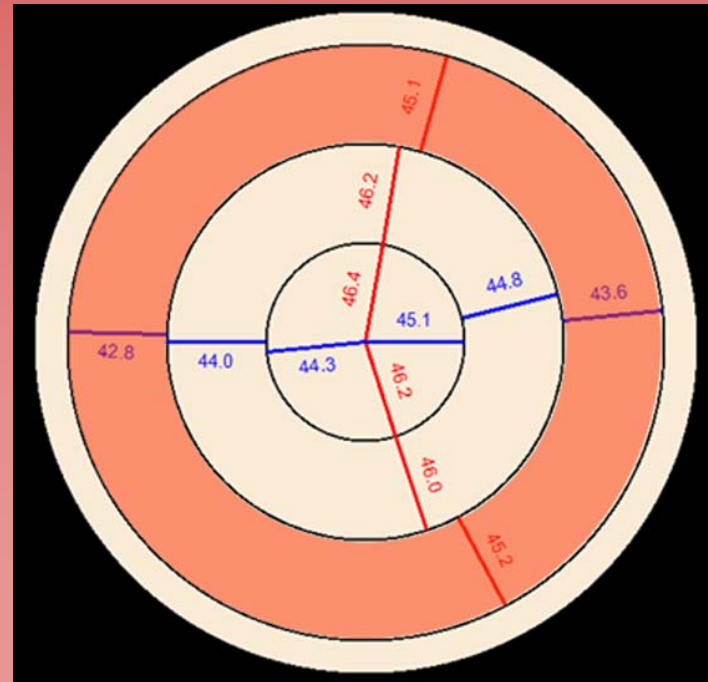
- El área intermedia cubre el área entre los 3 y los 6 mm centrales de la córnea.
- Puede facilitar la adaptación en casos de pupila descentrada.





## C. Mapa Queratométrico (D)

- El área externa, cubre el área entre los 6 y los 6 mm más externos de la córnea.
- Puede ayudar a predecir el apoyo de las lentes semirrígidas.



# Topografía corneal II



Tipos de mapas topográficos de la córnea:

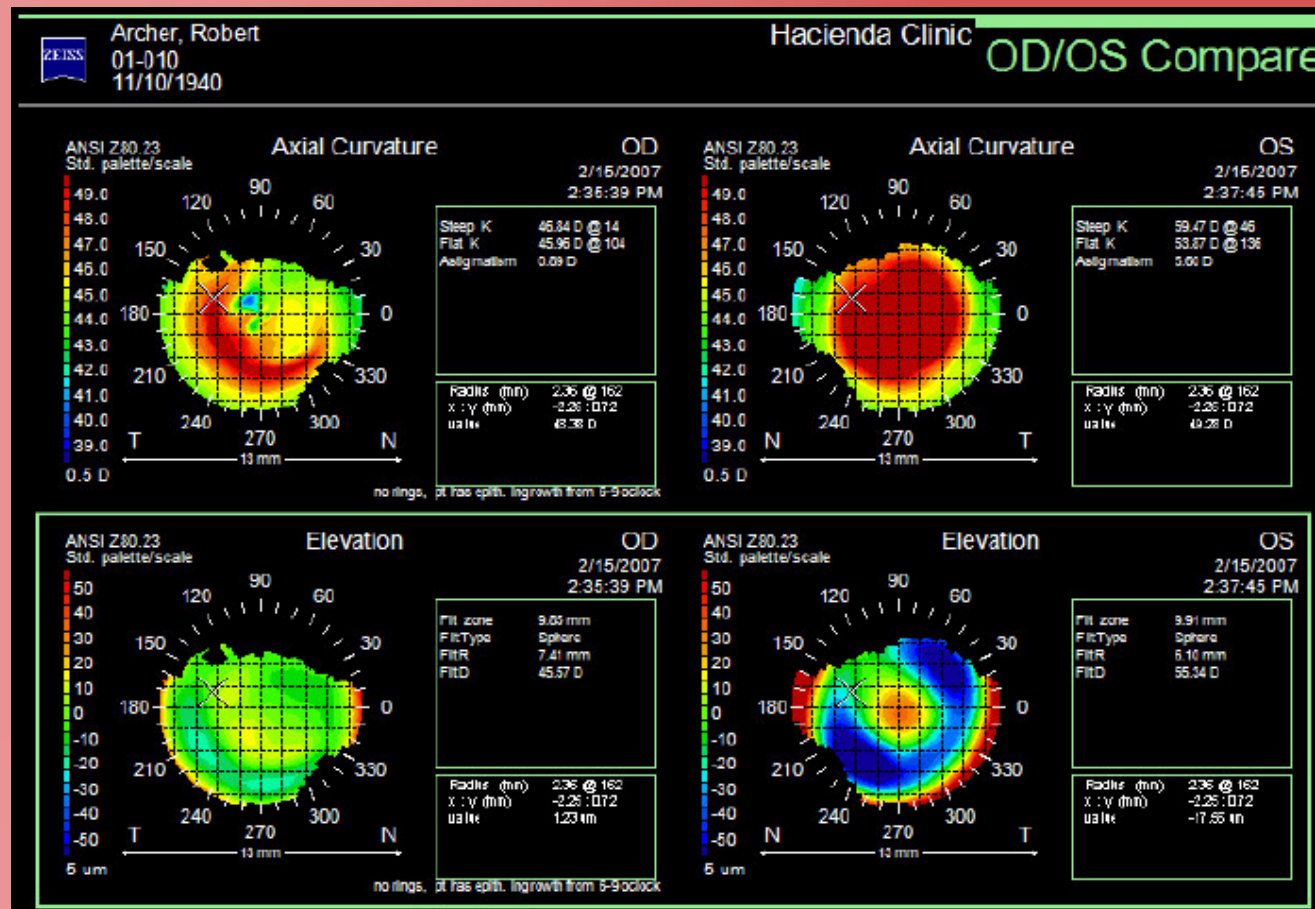
E. Mapas de comparación.

# Topografía corneal II



## Tipos de mapas topográficos de la córnea:

### E1. Comparación OD/OS.

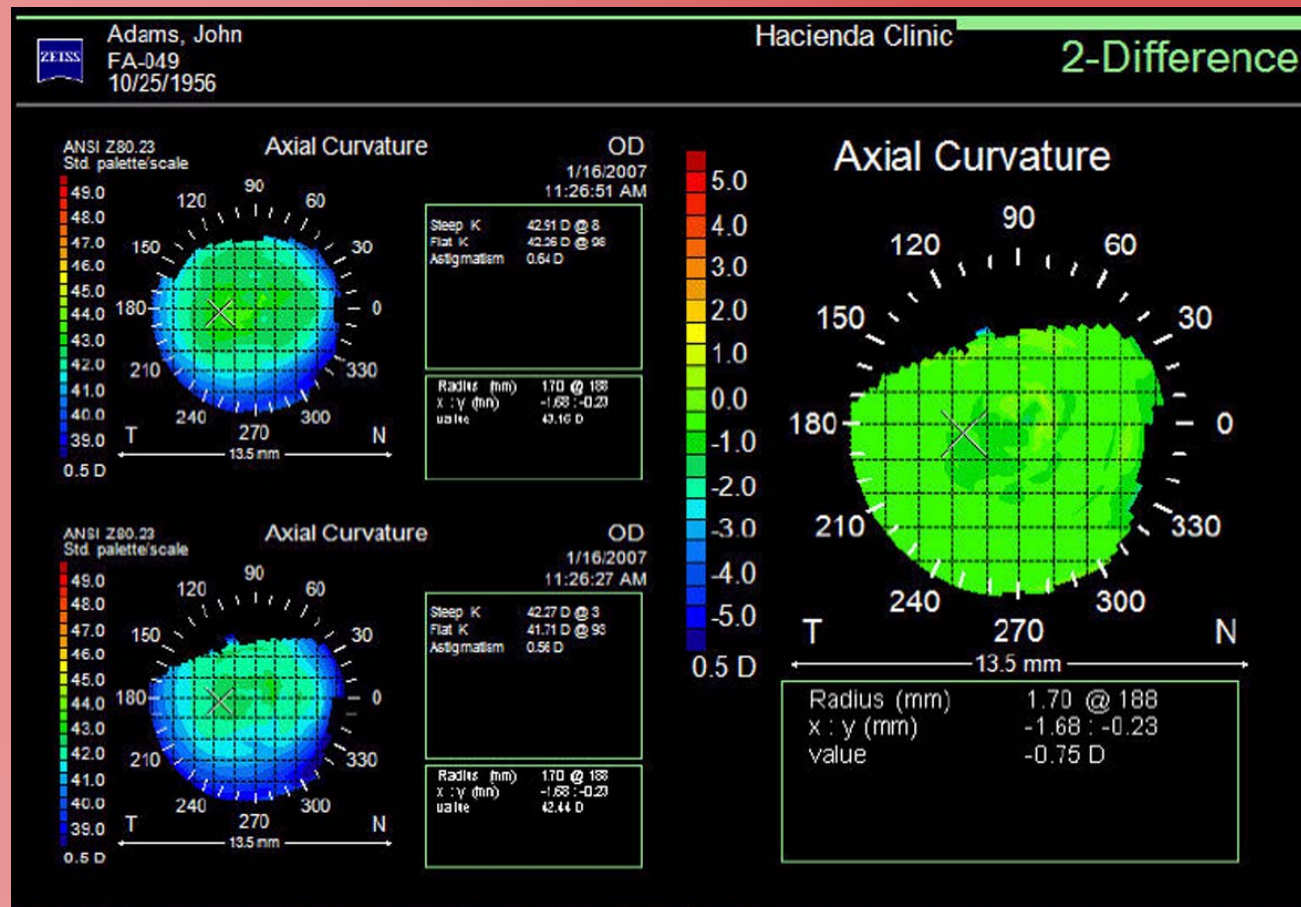


# Topografía corneal II



## Tipos de mapas topográficos de la córnea:

### E2. Mapa de diferencias.





# Índices topográficos



## Parámetros corneales medios

La córnea humana típica es un dioptrio convexo-cóncavo de revolución, con forma de elipse prolata y un ligero astigmatismo de tipo directo.

	Radio (mm)	Asfericidad (Q)
Córnea anterior	7,77	-0,18
Córnea posterior	6,40	-0,60

# Topografía corneal II



## Parámetros corneales medios

- La asfericidad de la cara anterior de la córnea, permite saber el tipo de superficie de que se trata.
- La primera cara corneal tiene una asfericidad media de entre  $-0.03$  y  $-0.30$  (prolata).

Conic Section	Shape Factor (SF)	p	Q
Hyperbola	$> 1$	$< 0$	$< -1$
Parabola	1	0	-1
Prolate Ellipse (normal eye)	$0 < SF < 1$	$0 < p < 1$	$-1 < Q < 0$
Circle	0	1	0
Oblate Ellipse	$< 0$	$> 1$	$> 0$

## Asfericidad corneal (Q)

- La curvatura anterior de la córnea en su zona central depende de su radio apical (R).
- Pero el radio en la periferia depende además de Q.

### Ságita corneal anterior

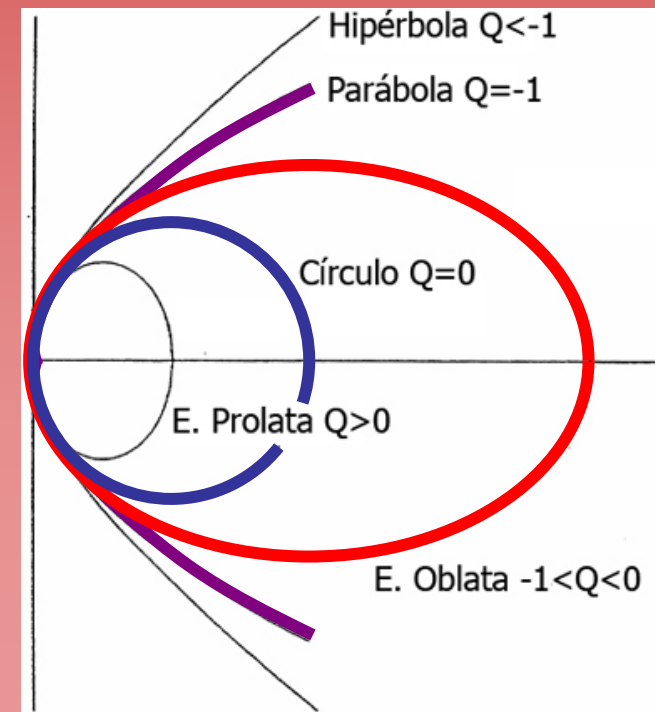
$$z(r, \theta) = \frac{r^2}{2R} + (1 + Q) \frac{r^4}{8R^3} + \dots + \Delta z(r, \theta)$$



Radio de curvatura apical (R)



Coeficiente de asfericidad (Q)





# Topografía corneal II



## Índices de regularidad y simetría

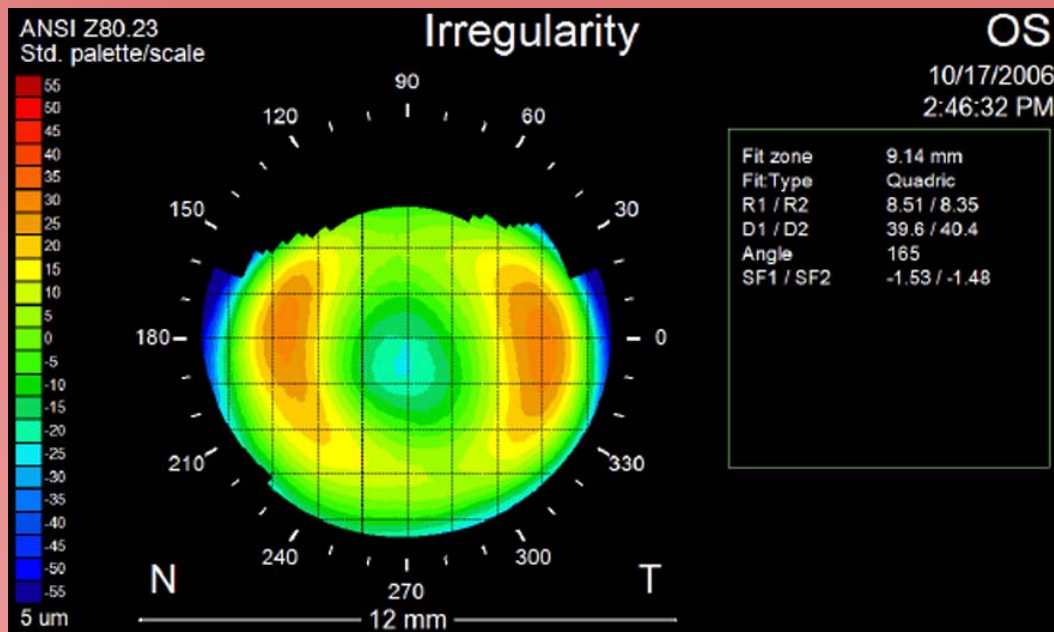
# Topografía corneal II



## Mapa de irregularidad

- Para detectar patrones asimétricos típicos en distrofias corneales y para evaluar la regularidad de la superficie corneal tras una cirugía.
- Presenta la elevación respecto a una superficie elipsoidal.

Indicadores numéricos relacionados: *Toric keratometric mean (TKM)*.

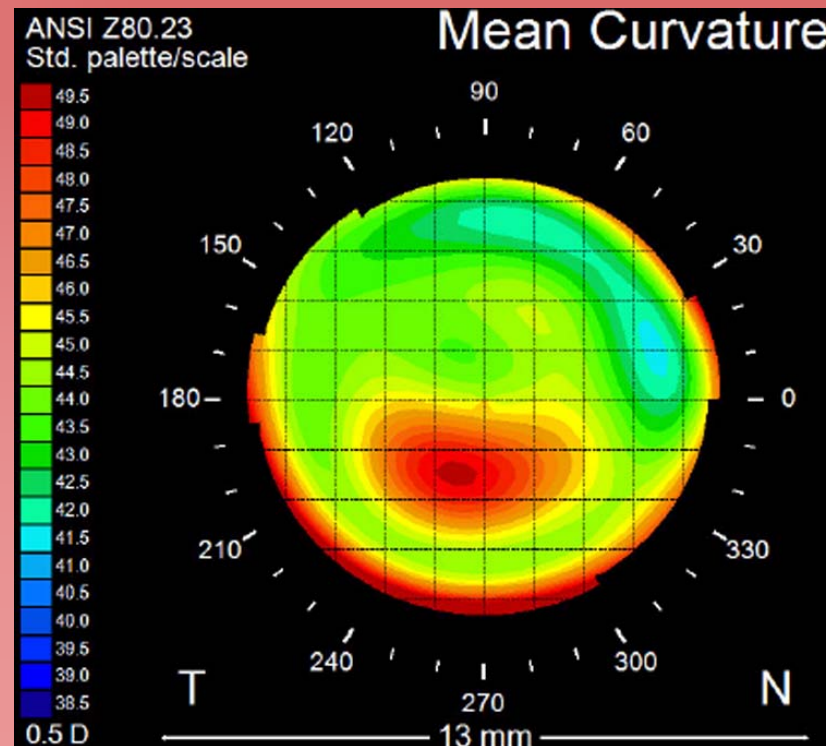


# Topografía corneal II



## Mapa de curvatura media

Prescinde del astigmatismo corneal, mostrando un mapa de la superficie corneal con sólo el valor de la esfera equivalente corneal.



Indicadores relacionados: *Corneal irregularity measurement (CIM)*.

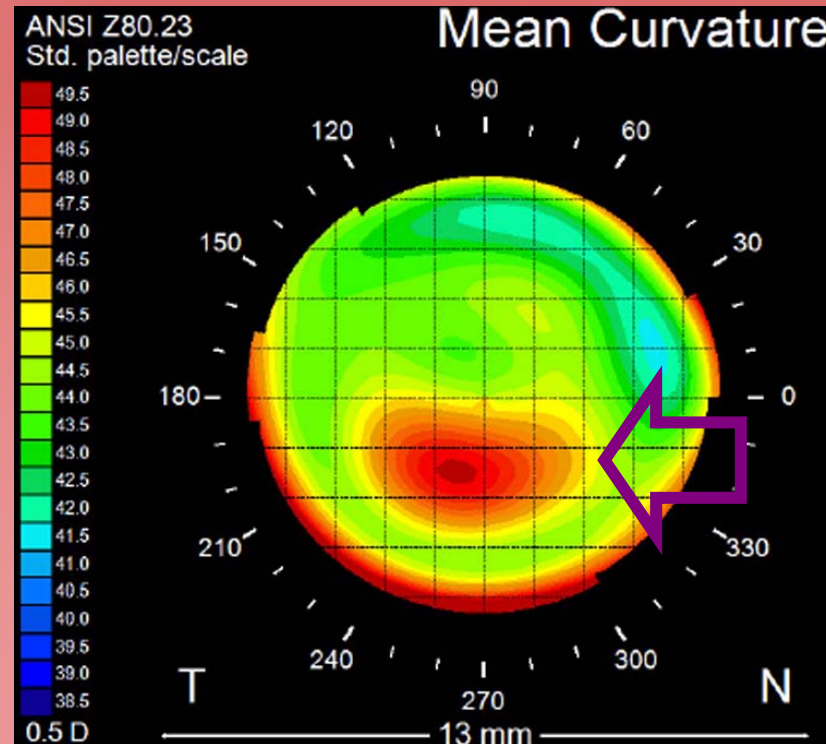


# Topografía corneal II



## Mapa de curvatura media

Es útil para diferenciar deformidades asimétricas, especialmente cuando se combinan con astigmatismo corneal, como en el queratocono.



Indicadores relacionados: *Corneal irregularity measurement (CIM)*.



# Topografía corneal II

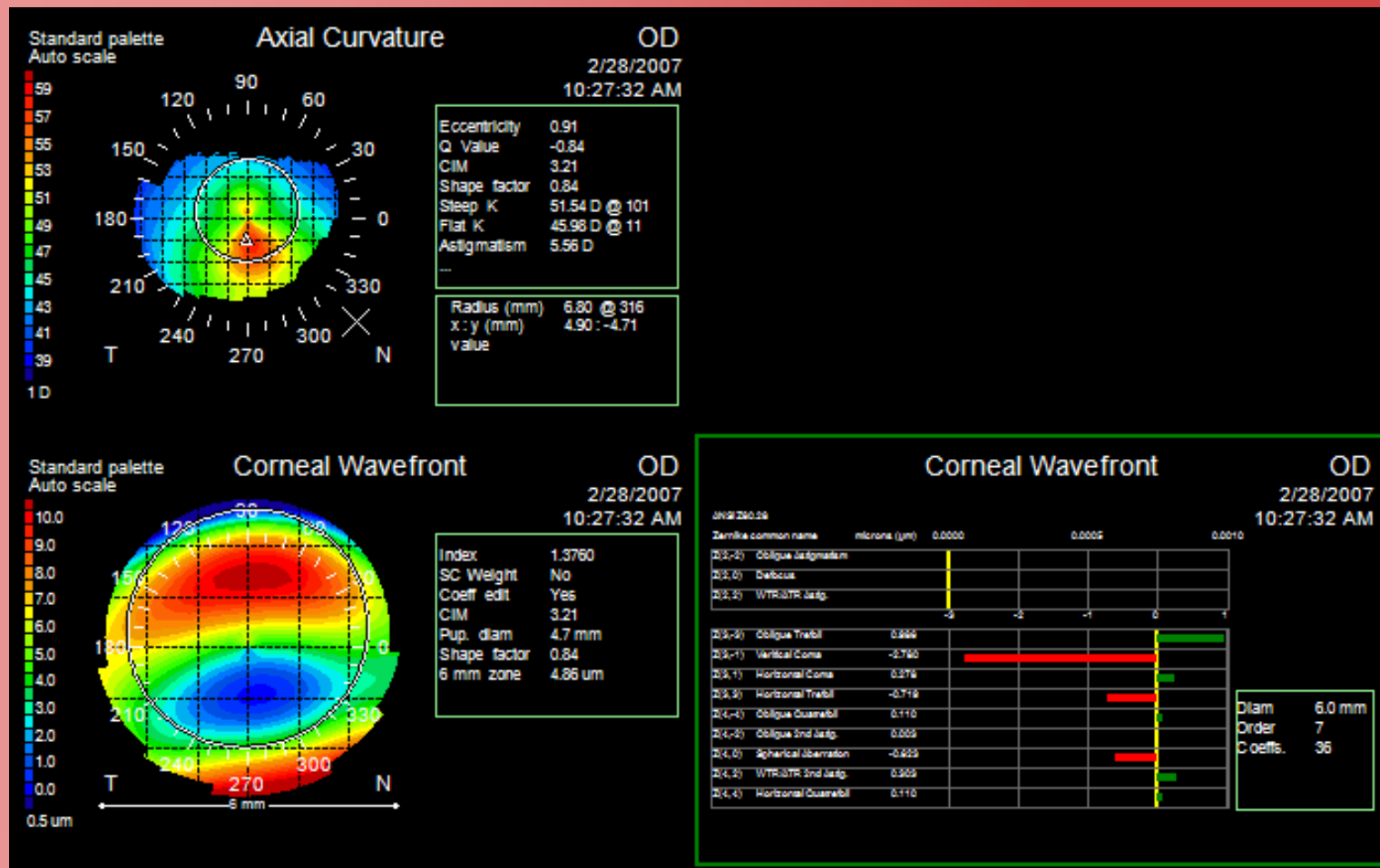


## Parámetros aberrométricos y simulaciones

# Topografía corneal II



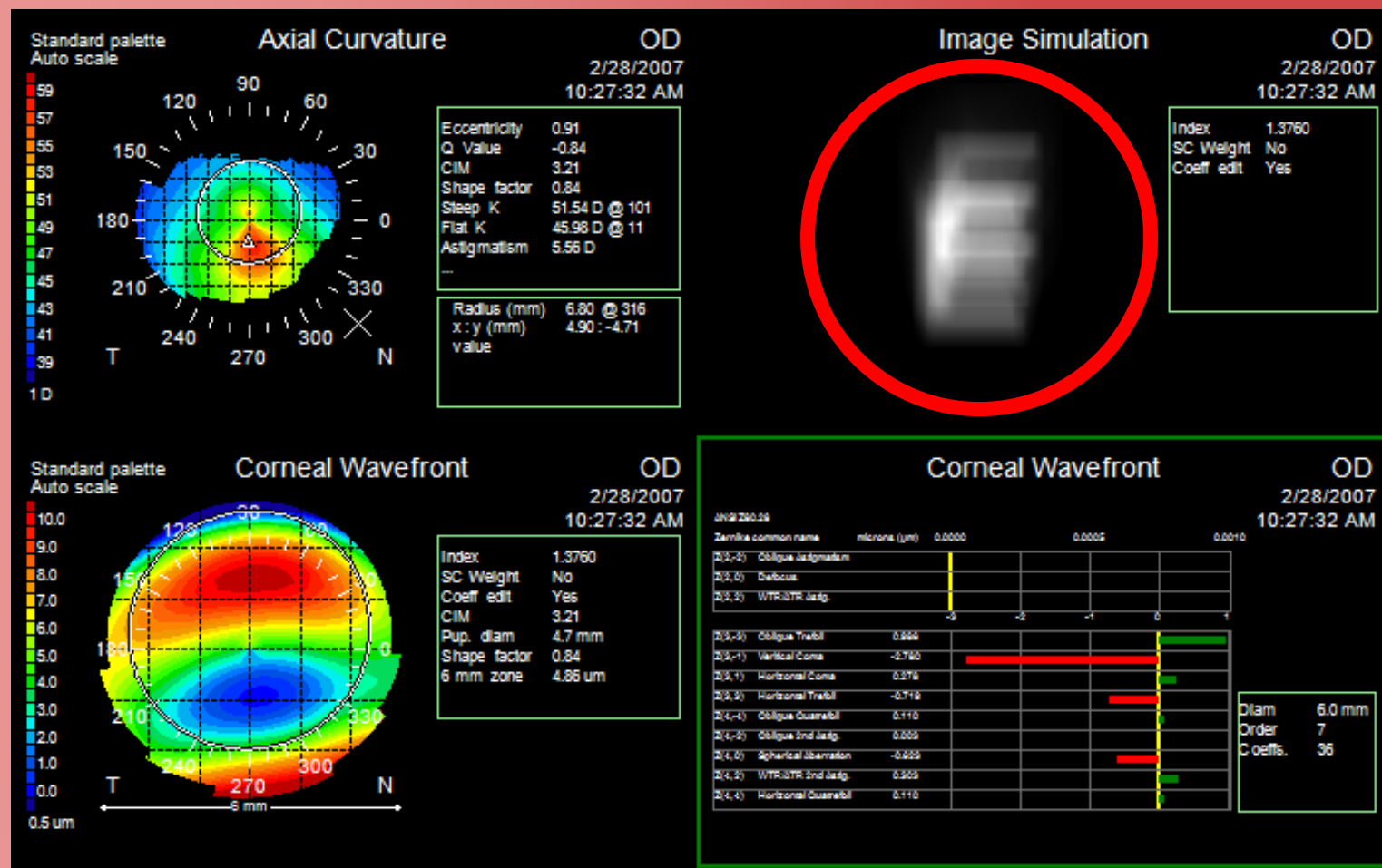
Algunos topógrafos pueden representar las características ópticas de la forma corneal actual.



# Topografía corneal II



De ese modo pueden incluso mostrar simulaciones visuales de cómo vería la calidad visual relativa.





## Estudio de la córnea:

- Topografía corneal I. Topografía corneal. Sistemas comerciales.
- Topografía corneal II. Mapas e índices topográficos.
- **Topografía corneal III. Córnea normal y patológica.**
- Topografía corneal IV. Interpretación de resultados quirúrgicos. Aberraciones corneales.





# Mapas topográficos de la córnea normal

# Topografía corneal III



## Patrones topográficos normales

A. Redondo.

B. Oval.

C. Pajarita simétrica.

D. Pajarita asimétrica.

E. Irregular.

(de Wang, 2006).

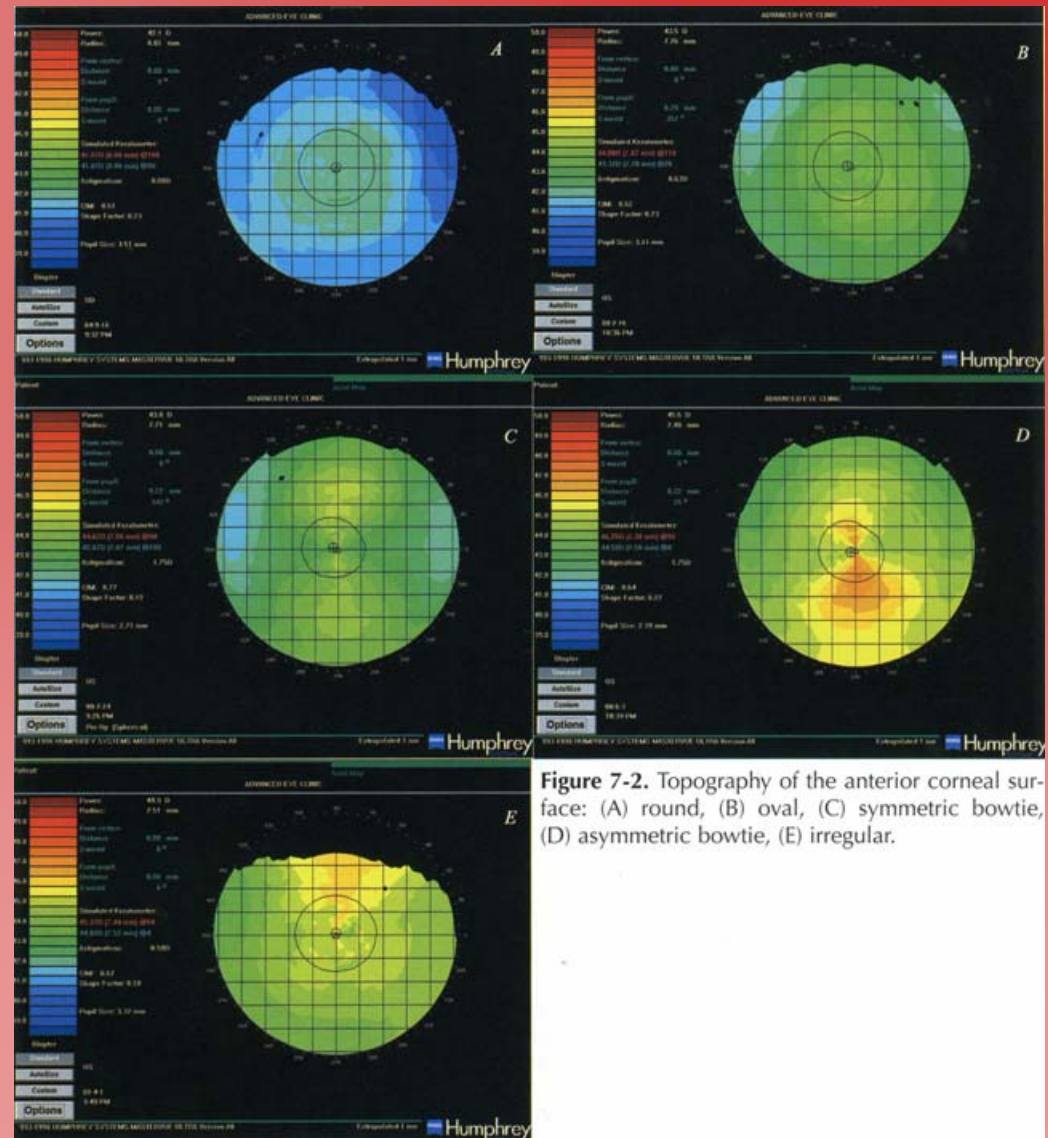


Figure 7-2. Topography of the anterior corneal surface: (A) round, (B) oval, (C) symmetric bowtie, (D) asymmetric bowtie, (E) irregular.



## Mapas topográficos normales

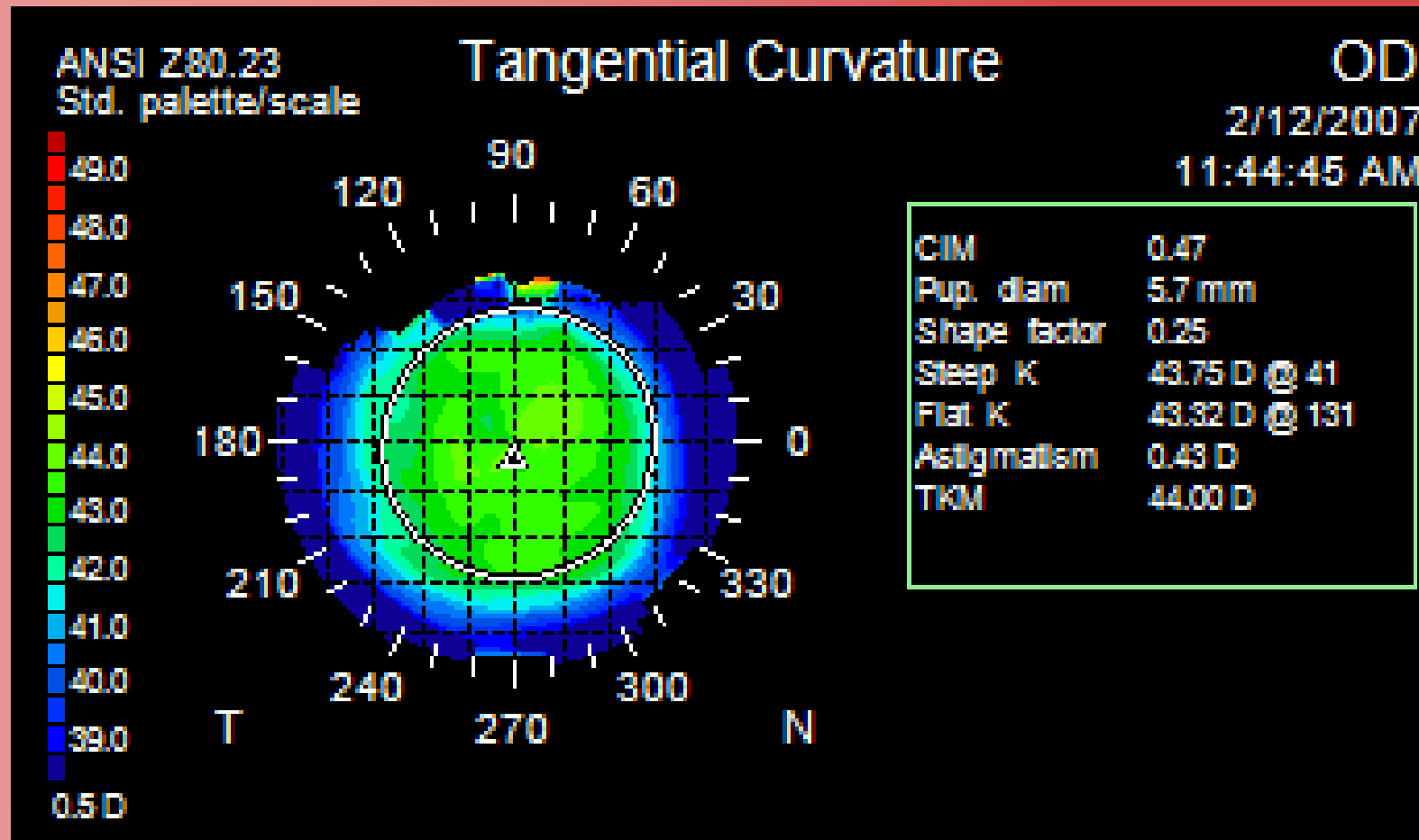
	Bogan	Kanpolat
-Pajarita asimétrica	32.1%	33.3%
-Pajarita simétrica	17.5%	29.0%
-Redondo	22.6%	14.0%
-Oval	20.8%	11.4%
-Irregular	7.1%	12.3%

[Bogan et al, 1990] [Kanpolat et al, 1997]

# Topografía corneal III

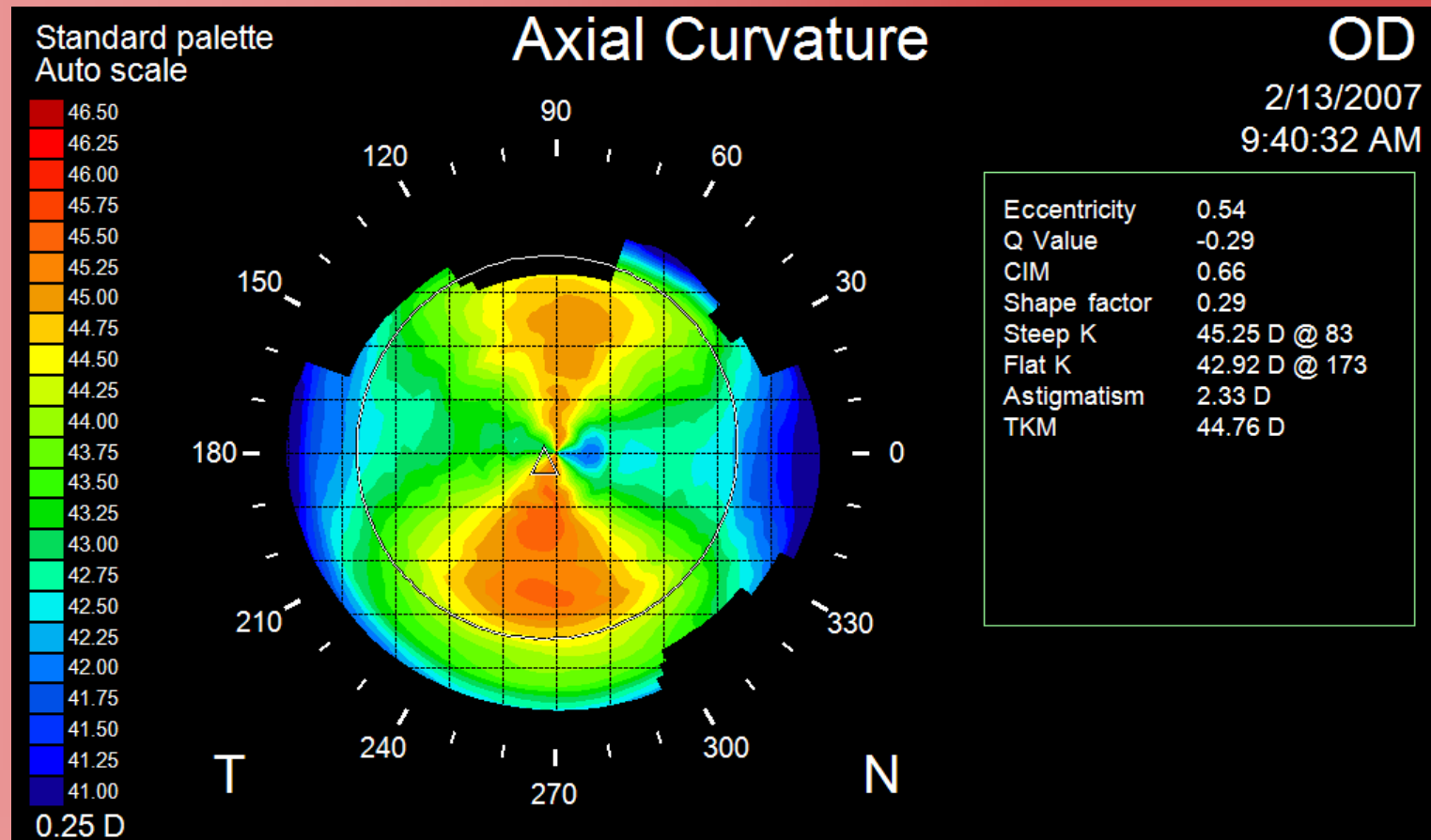


¿A qué patrón topográfico corresponde?





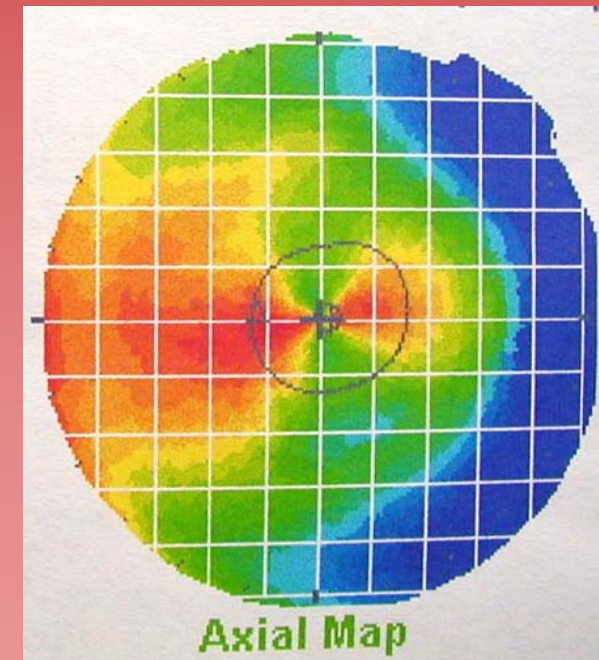
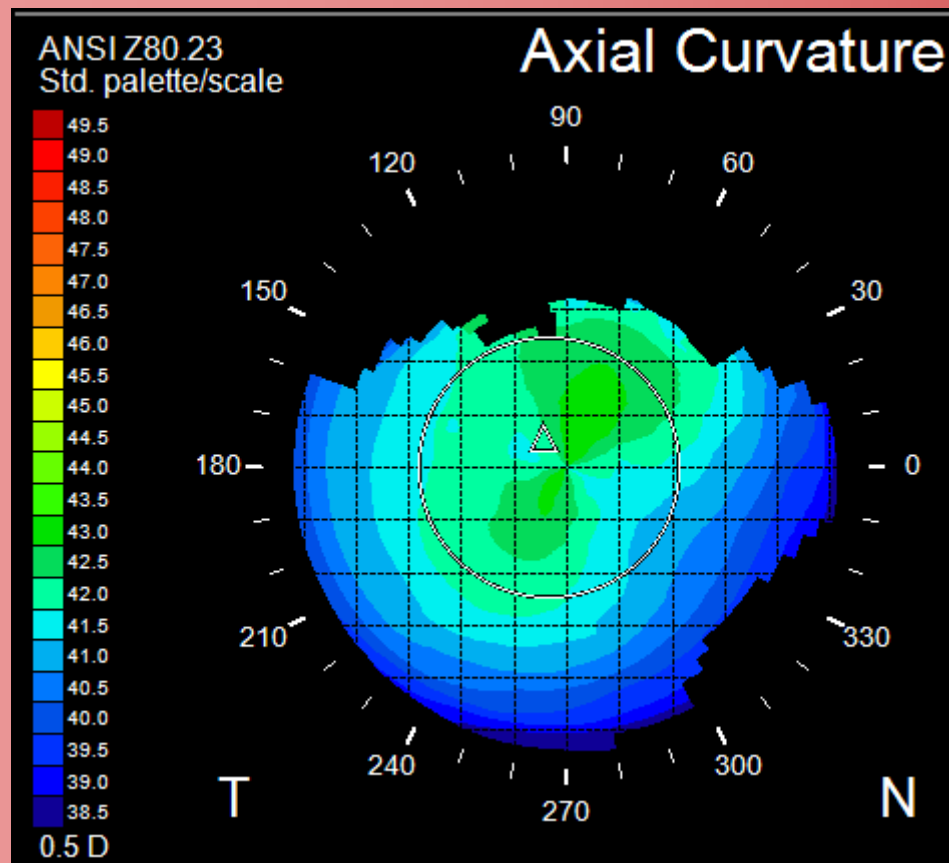
## ¿A qué patrón topográfico corresponde?



# Topografía corneal III



¿A qué patrón topográfico corresponde?

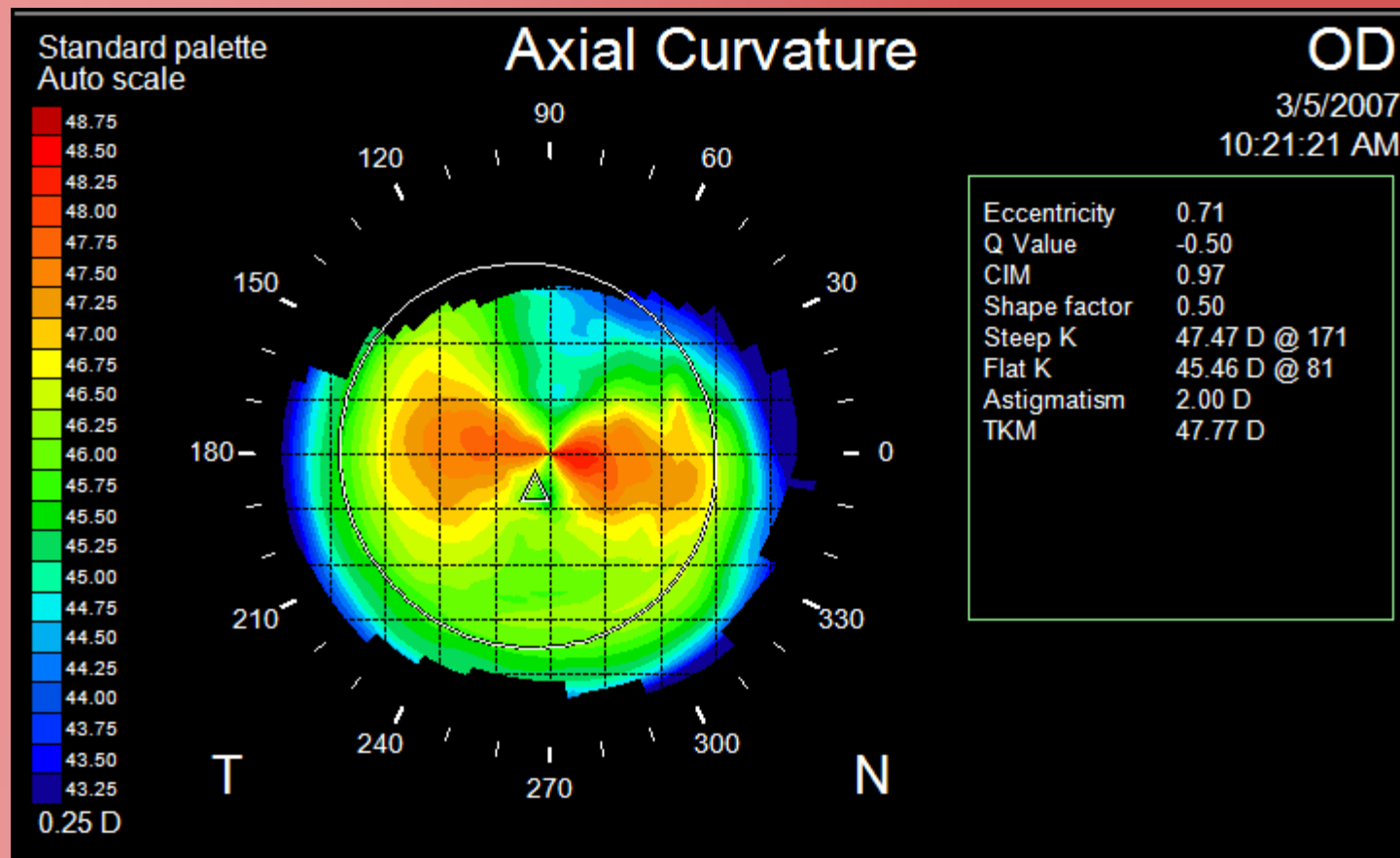


# Topografía corneal III



¿A qué patrón topográfico corresponde?

¿Crees que con esta córnea se puede alcanzar una BCVA elevada?





# Mapas topográficos de la córnea patológica





## Mapas topográficos anormales

### Distrofias corneales típicas:

- Queratocono
- Degeneración marginal pelúcida
- Moldeamiento corneal

# Topografía corneal III



## Queratocono:

Al parecer está causado por una degeneración del estroma corneal.



Posiblemente relacionada con una mala calidad de la membrana de Bowman, que perjudicaría a los fibroblastos.

La degeneración del estroma produce un progresivo adelgazamiento y una reducción de su resistencia mecánica, que causa un abombamiento corneal.

Su incidencia es del 2‰.

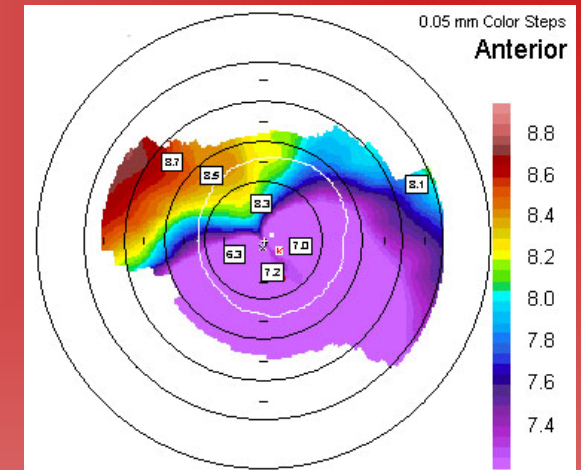
[Torres et al, 2005]

# Topografía corneal III

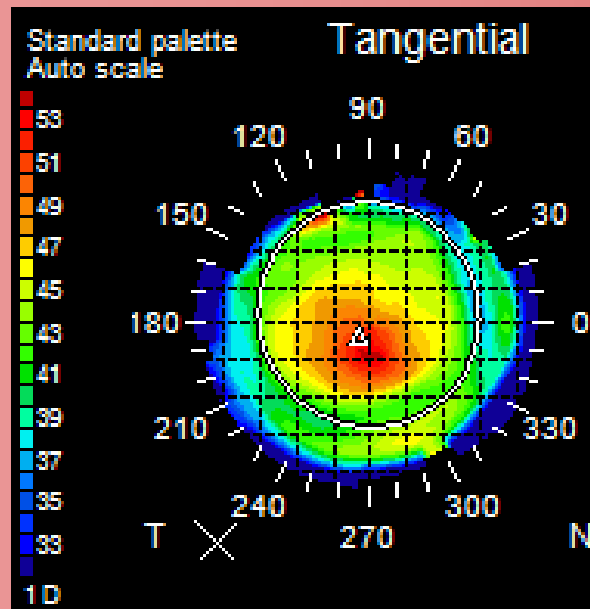


## Detección del queratocono

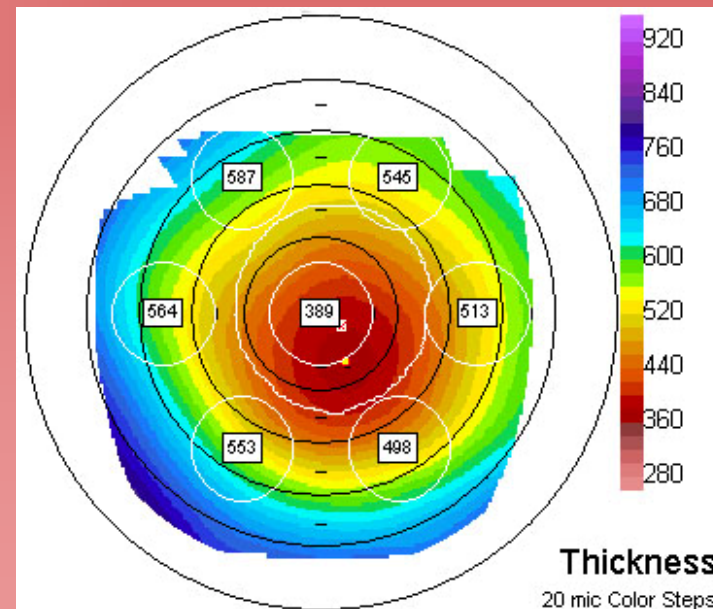
El queratocono provoca una pérdida progresiva de la BCVA, con un fuerte astigmatismo y un adelgazamiento corneal.



Queratocono avanzado



Vista en mapa Tangencial



Vista paquimétrica en queratocono





## Queratectasia corneal iatrogénica:

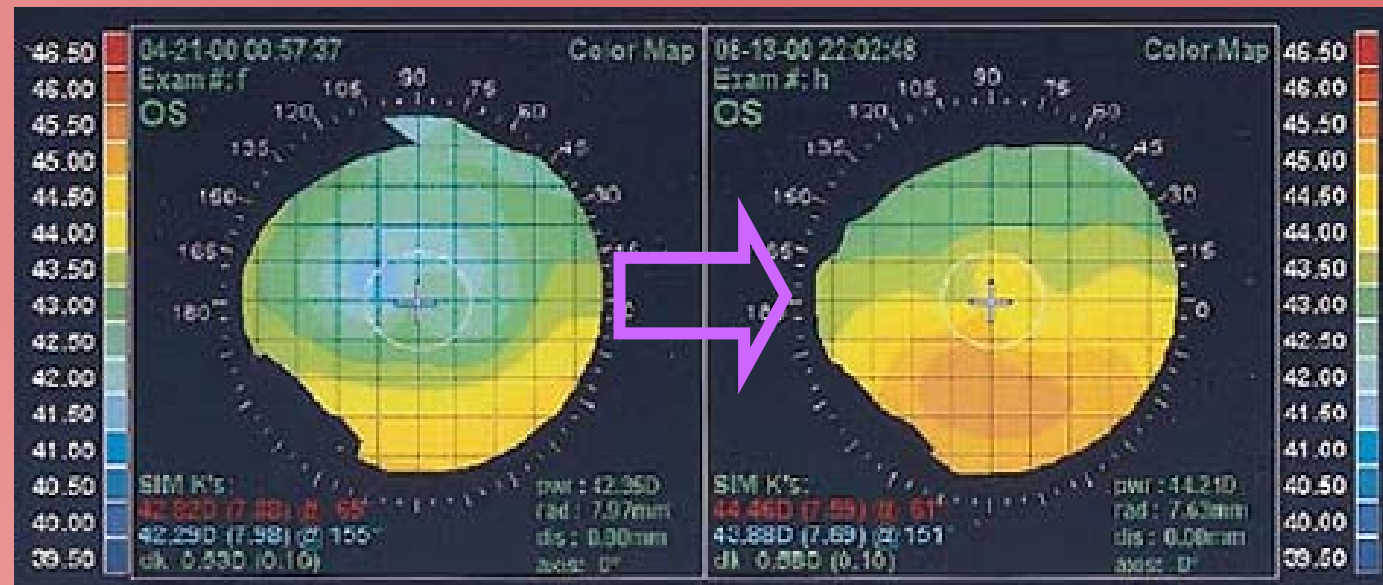
- Posible consecuencia de reducir la resistencia mecánica corneal al realizar una cirugía refractiva de tipo biomecánico o de esculpido láser.
- Los primeros casos se produjeron en ojos tratados de una miopía media de  $-15.4 \pm 4.4$  D, en las cuales no se reservaba suficiente lecho estromal.
- Pero también se puede producir en córneas de estructura débil como un queratocono subclínico.

# Topografía corneal III



## Queratectasia corneal iatrogénica:

- La ectasia corneal supone un cambio en la forma de la córnea, secundaria a cirugía refractiva.
- Se trata con lentes de geometría inversa, inserción de anillos intraestromales, o incluso con trasplante de córnea.



[Pallikaris, 2001]

Cambios entre 3 y 9 meses tras LASIK con ectasia



## Queratocono subclínico:

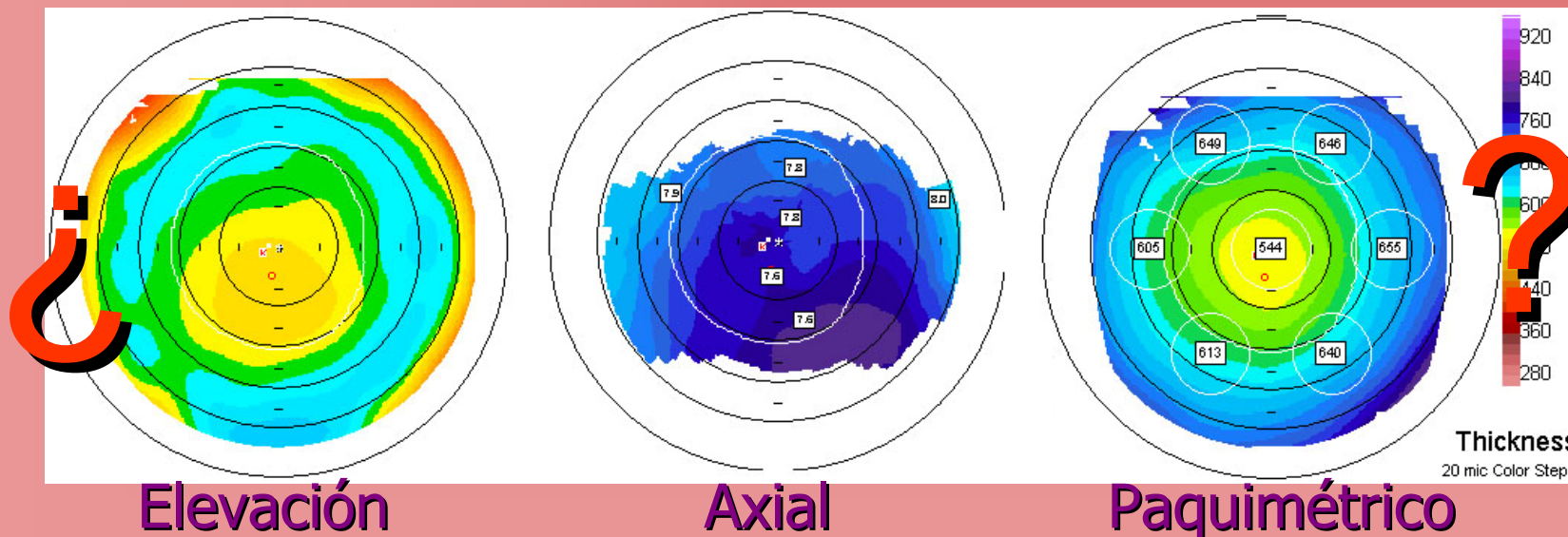
- Pero el desarrollo del queratocono no es el mismo en todas las personas.
- El queratocono subclínico no ha sido diagnosticado, al no haber causado problemas visuales evidentes.
- Esto hace que puedan acudir a realizar una cirugía, cuando aún no se haya desarrollado completamente.
- Esto hace imprescindible su detección precoz.

# Topografía corneal III

## Queratocono subclínico:

El queratocono puede dar señales de su presencia aunque no cause una reducción de la BCVA:

- Una de ellas es un astigmatismo refractivo elevado.
- Otra es una paquimetría central inferior a lo normal.







# Topografía corneal III

## Degeneración marginal pelúcida

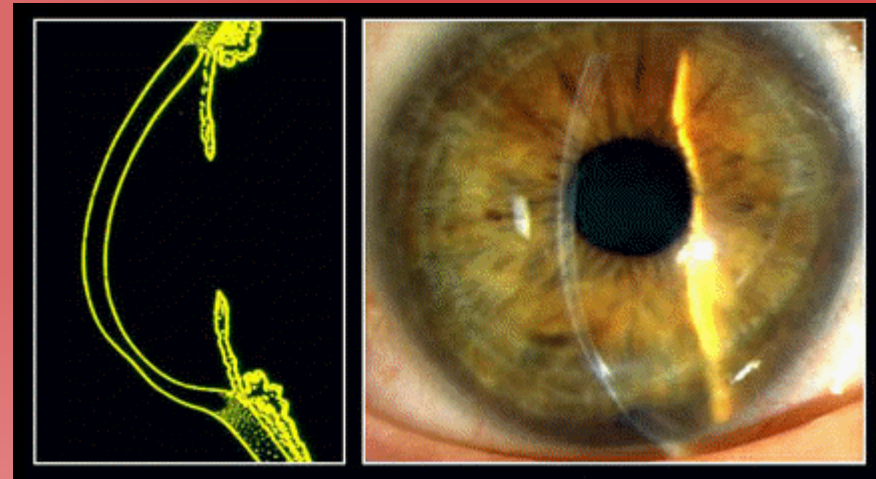


# Topografía corneal III



## Degeneración marginal pelúcida

Distrofia periférica, no inflamatoria, similar al queratocono.



[queratocono.es](http://queratocono.es)

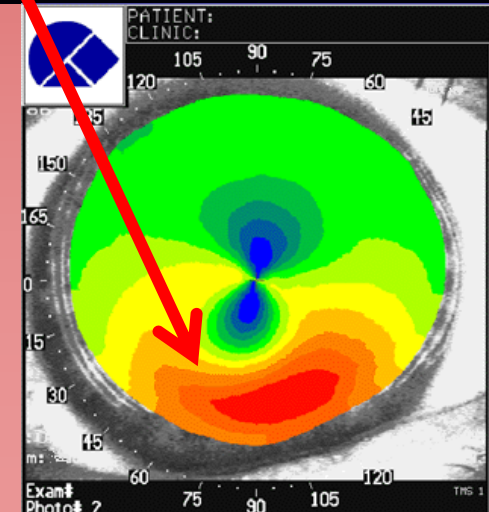
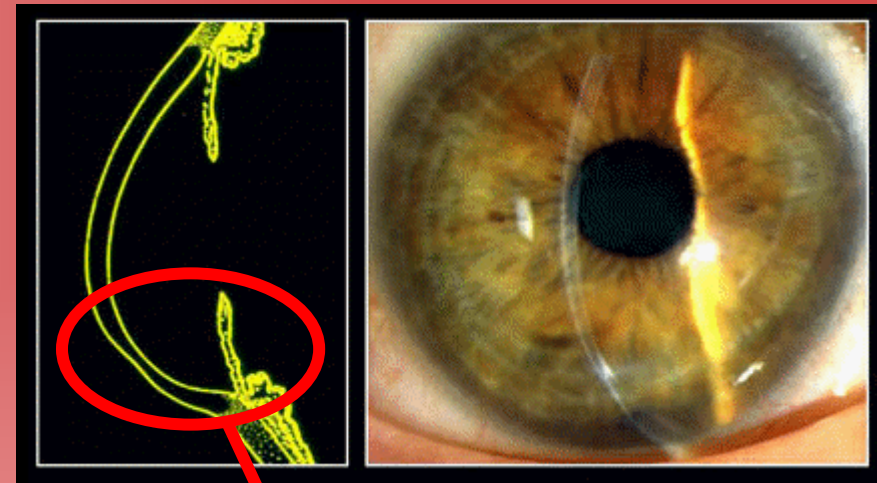
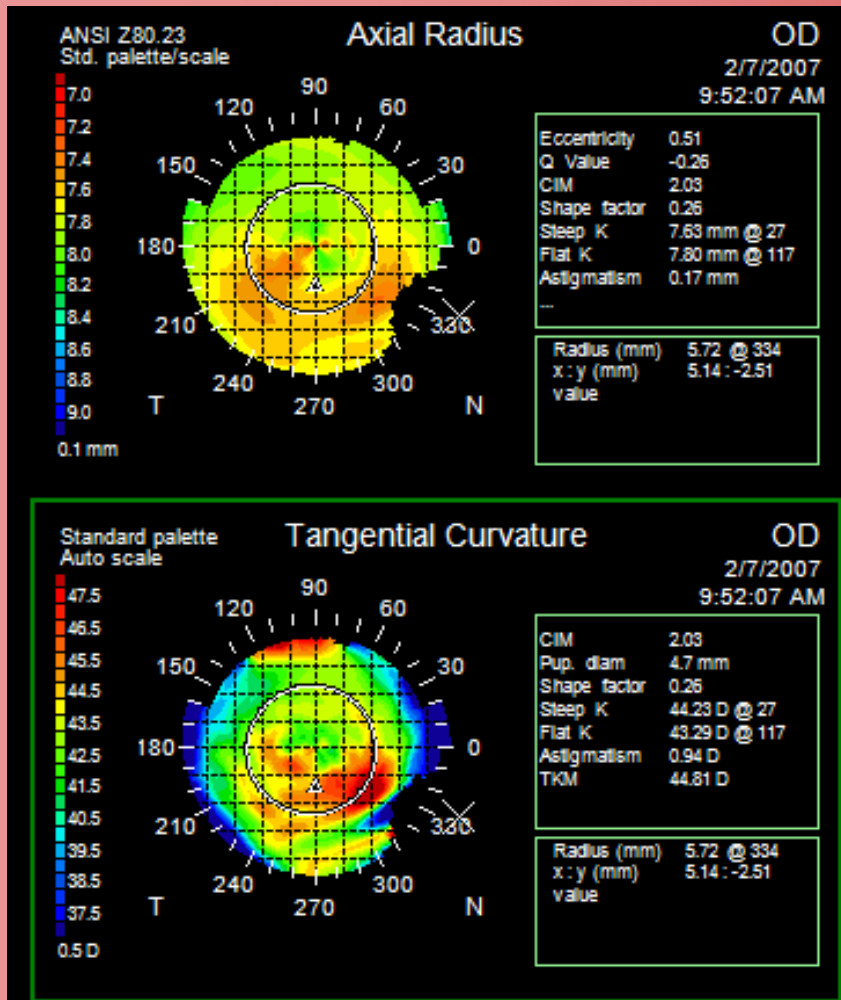
[atlasophthalmology.com](http://atlasophthalmology.com)

# Topografía corneal III



## Degeneración marginal pelúcida

El abombamiento es periférico, no paracentral

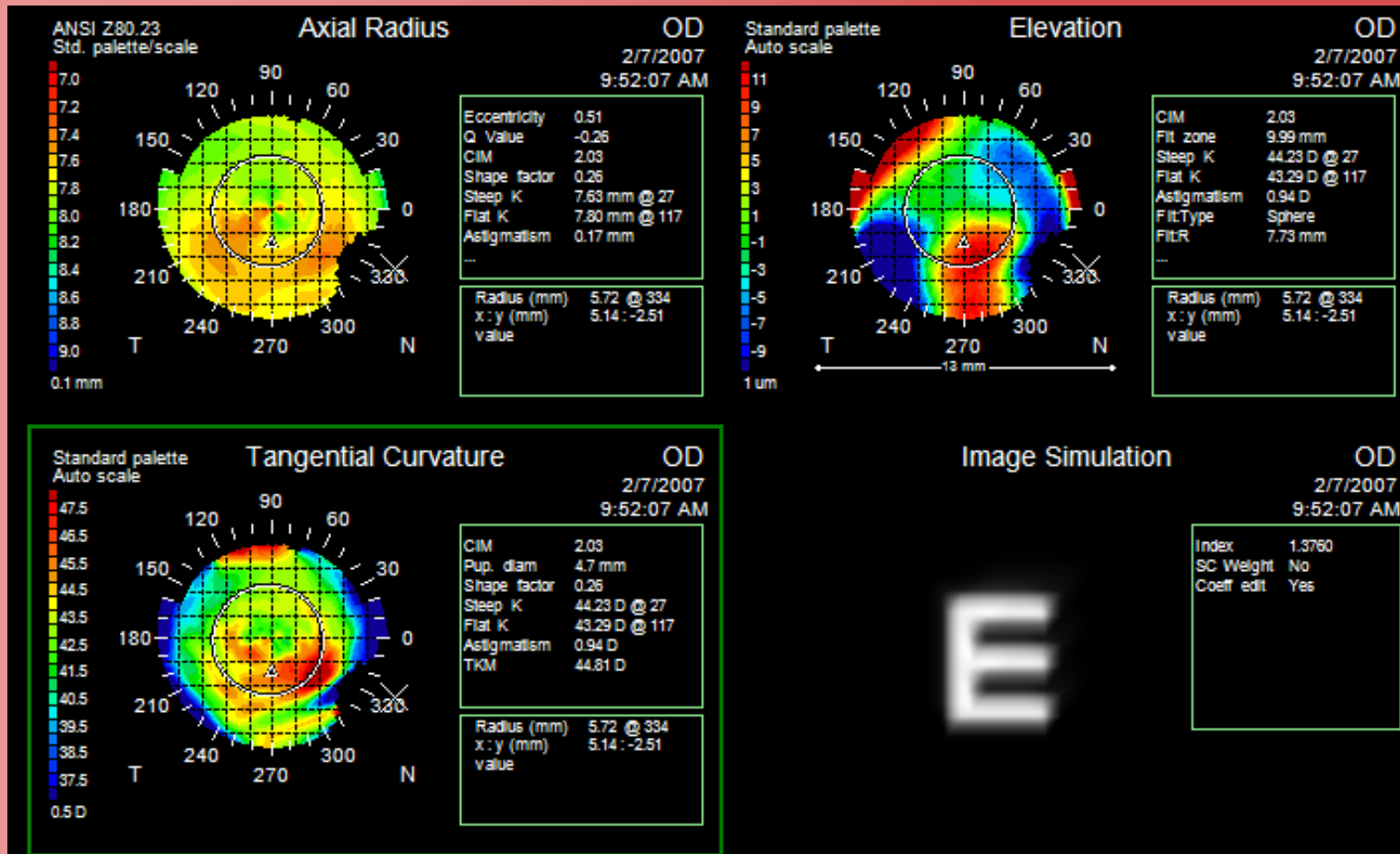


# Topografía corneal III



## Degeneración marginal pelúcida

El problema visual suele ser menor al queratocono.



# Topografía corneal III



## Moldeamiento corneal

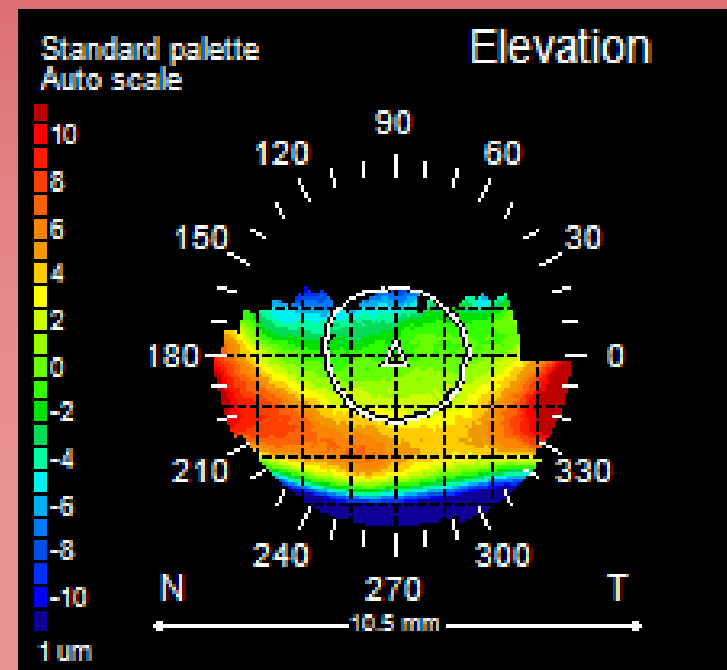
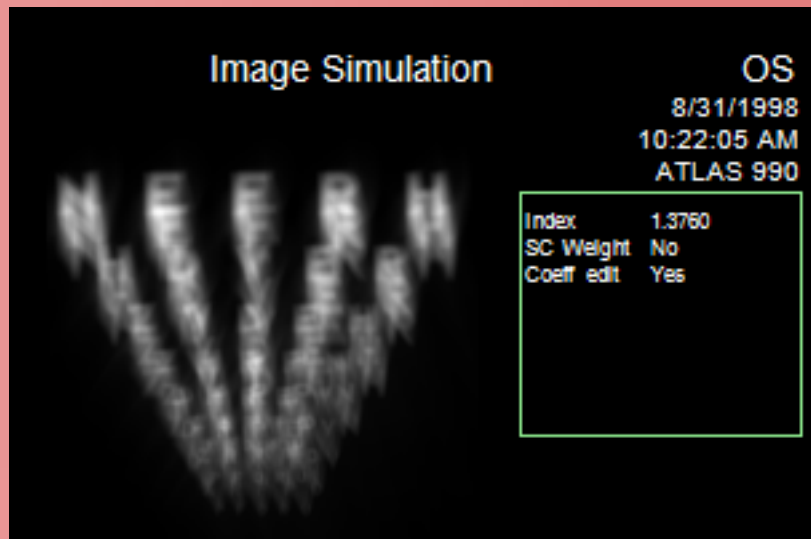
# Topografía corneal III



## Moldeamiento corneal

Deformación corneal causada por una adaptación incorrecta de lentes rígidas.

Causa una reducción de la BSCVA, que se recupera al abandonar las LC.

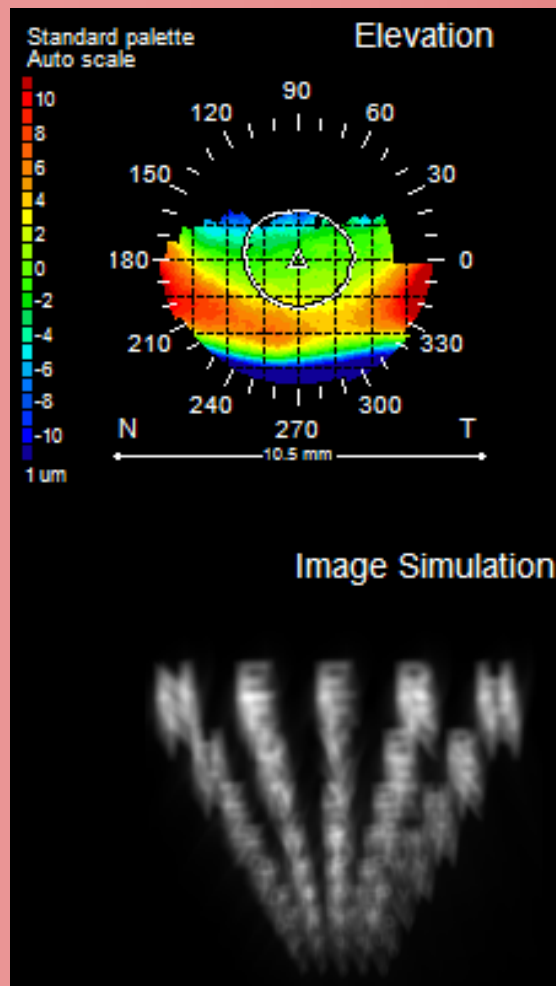


# Topografía corneal III



## Moldeamiento corneal

### Inicial



- Los parámetros inadecuados de la lente provocan una deformación corneal que sólo se nota al retirar la lente.
- El mapa de elevaciones corneales muestra una zona de elevación y caída que recorre la zona inferior.



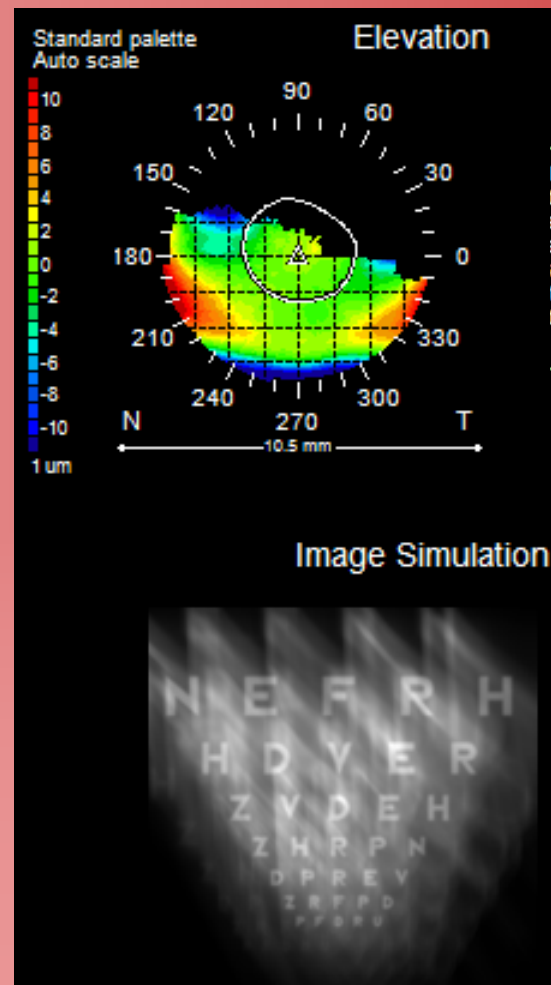
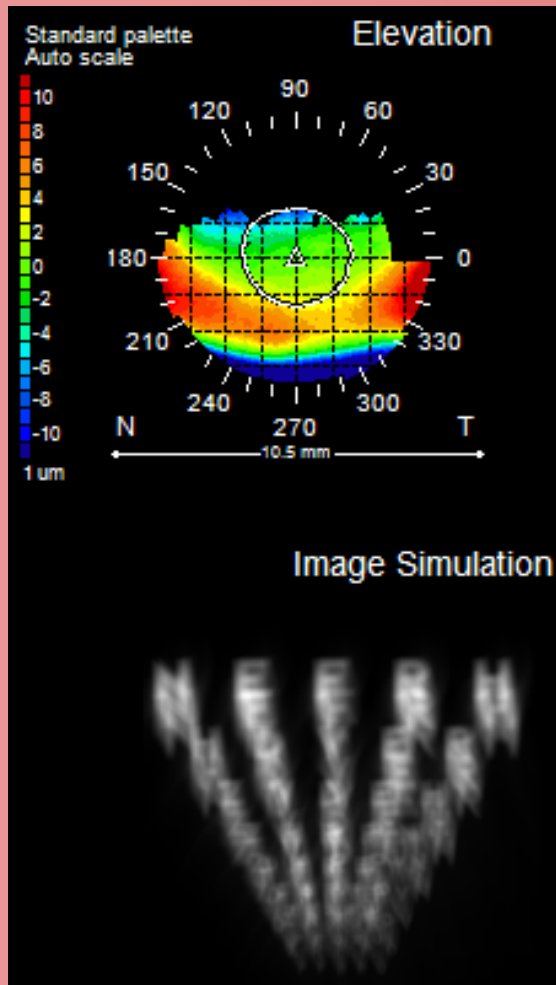
# Topografía corneal III



## Recuperación del moldeamiento sin las LC

Inicial

1 semana



Al retirar el uso de las LC, la córnea recupera poco a poco su forma original, regularizándose y aumentando la BSCVA.

# Topografía corneal III

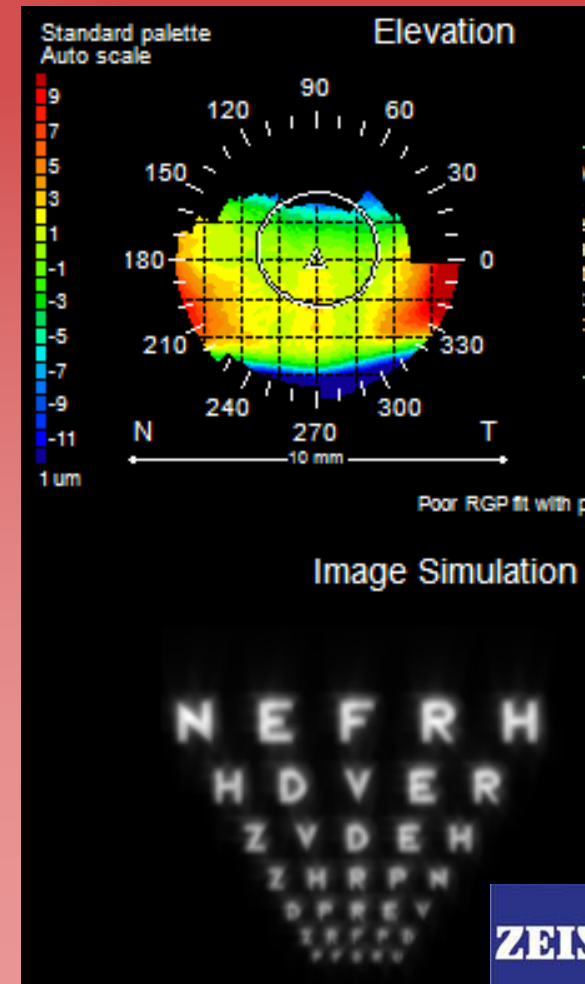
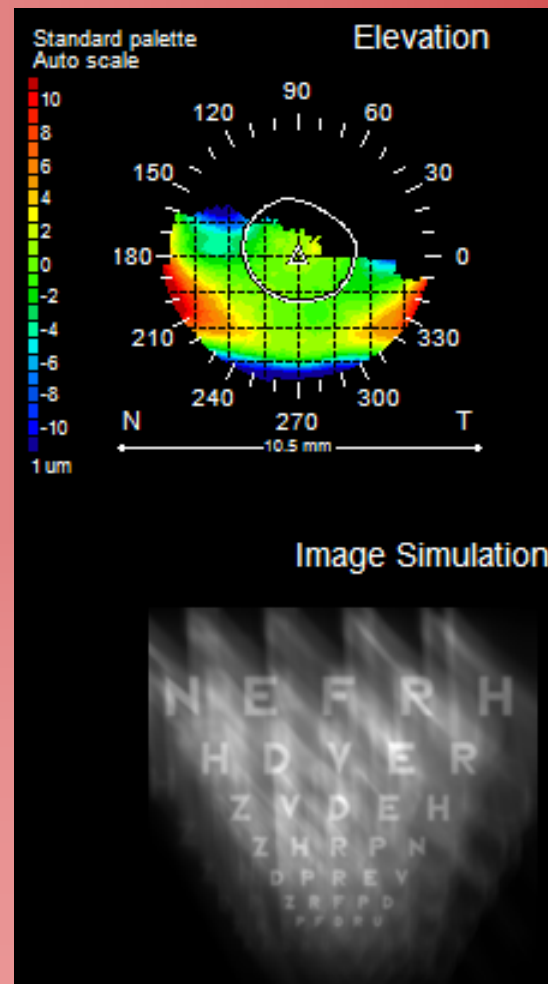
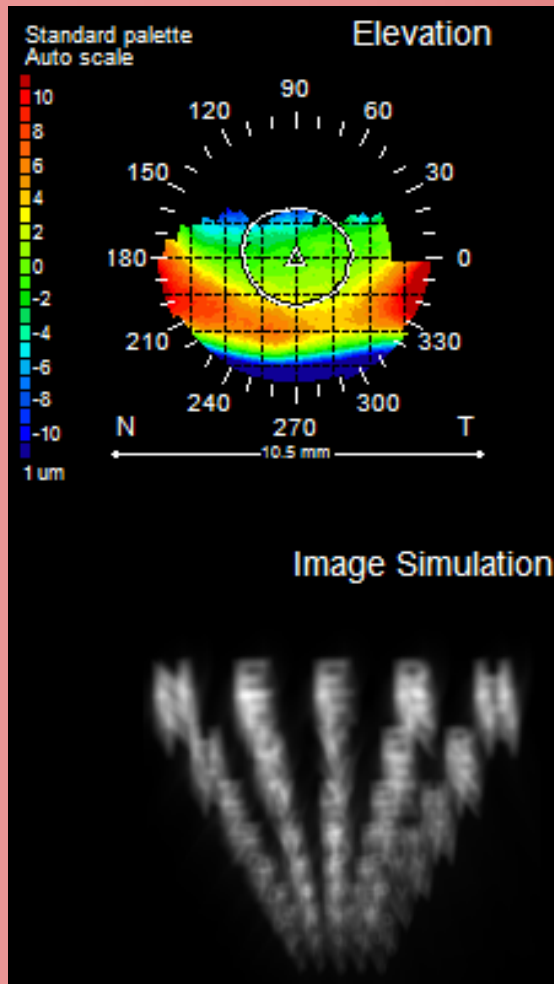


## Recuperación del moldeamiento sin las LC

Inicial

1 semana

2 meses







## Estudio de la córnea:

- Topografía corneal I. Topografía corneal. Sistemas comerciales.
- Topografía corneal II. Mapas e índices topográficos.
- Topografía corneal III. Córnea normal y patológica.
- **Topografía corneal IV. Interpretación de resultados quirúrgicos. Aberraciones corneales.**



## Interpretación de resultados quirúrgicos

# Topografía corneal IV



Mapas tras cirugía refractiva en:

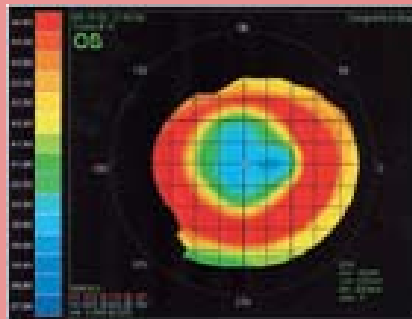
- Queratotomía Radial (RK).
- Queratectomía Fotorrefractiva (PRK).
- Queratomileusis asistida por láser (LASIK).

# Topografía corneal IV

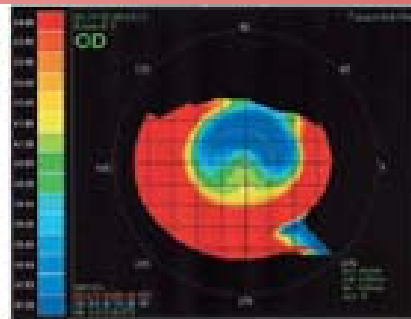


## Mapas topográficos postcirugía refractiva

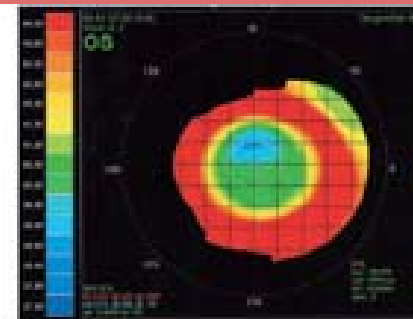
- Pajarita (Bowtie).
- Península.
- Semicircular.
- Uniforme.
- Punto azul descentrado.
- Irregular.



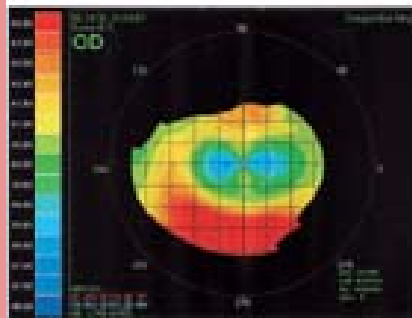
1



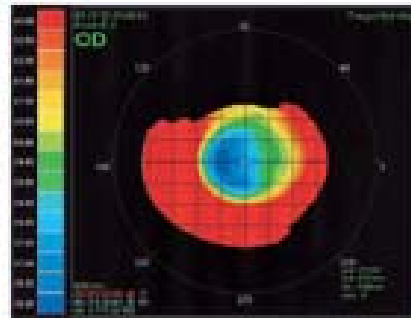
3



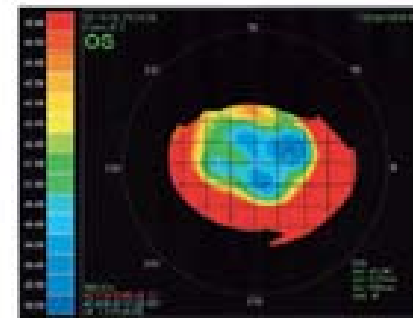
5



2

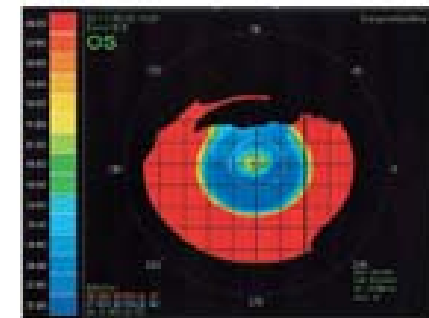


4



6

-Isla central.



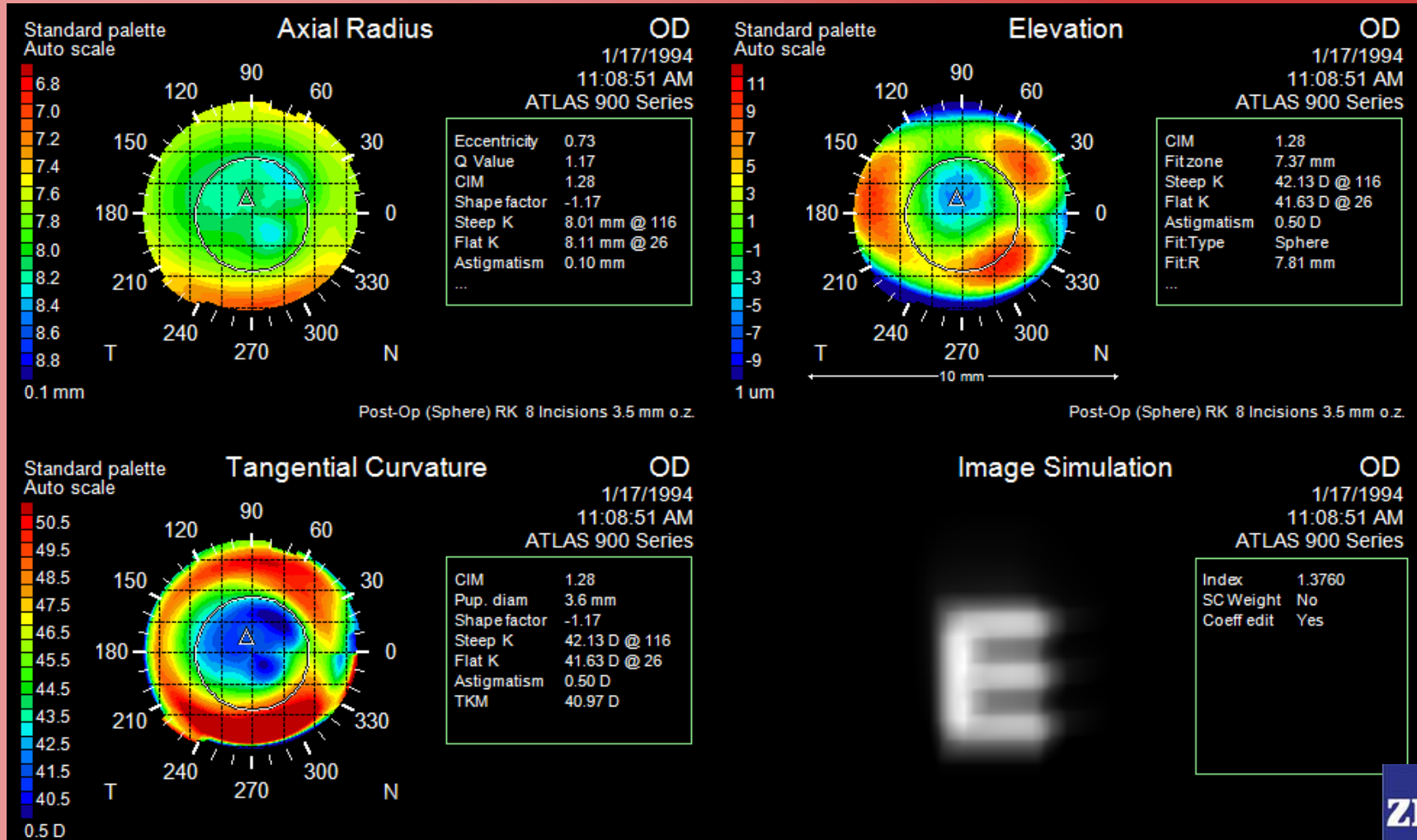
7

[Sano et al, 2000]

# Topografía corneal IV



## Mapas tras RK.

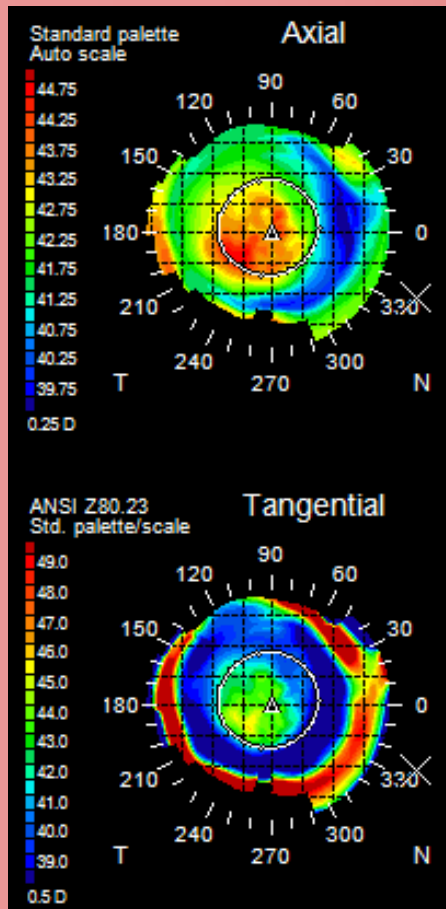


# Topografía corneal IV



## Mapas tras PRK.

1 semana



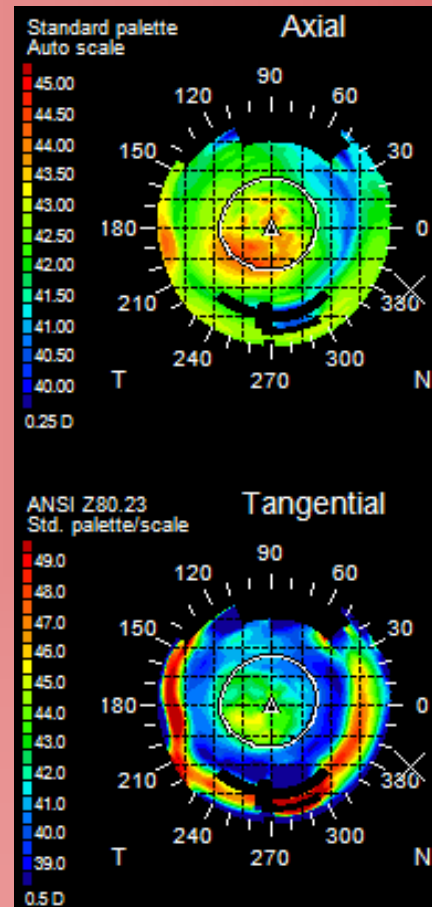
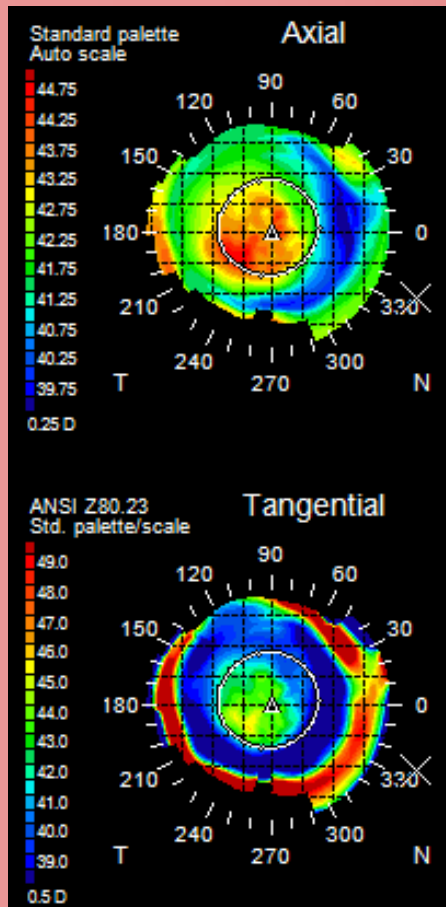
# Topografía corneal IV



## Mapas tras PRK.

1 semana

4 semanas



# Topografía corneal IV

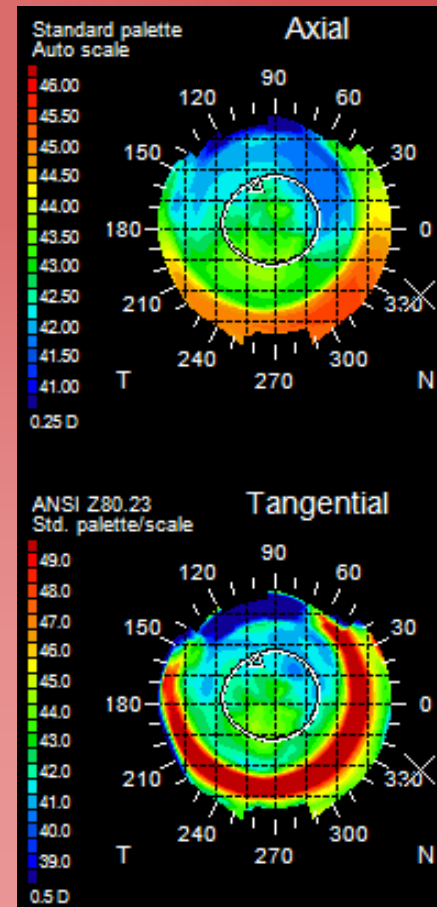
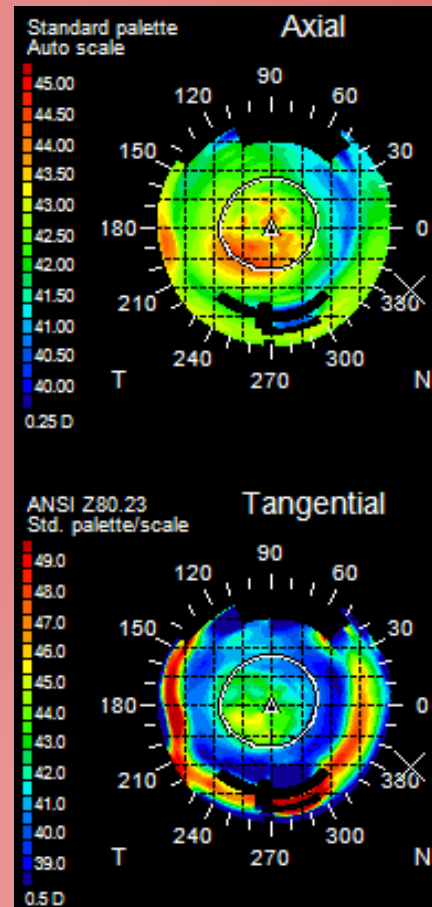
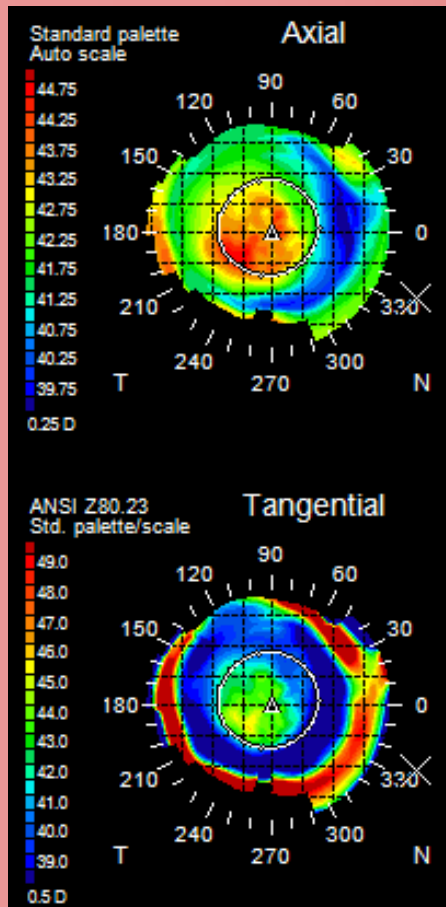


## Mapas tras PRK.

1 semana

4 semanas

5 meses





# Topografía corneal IV



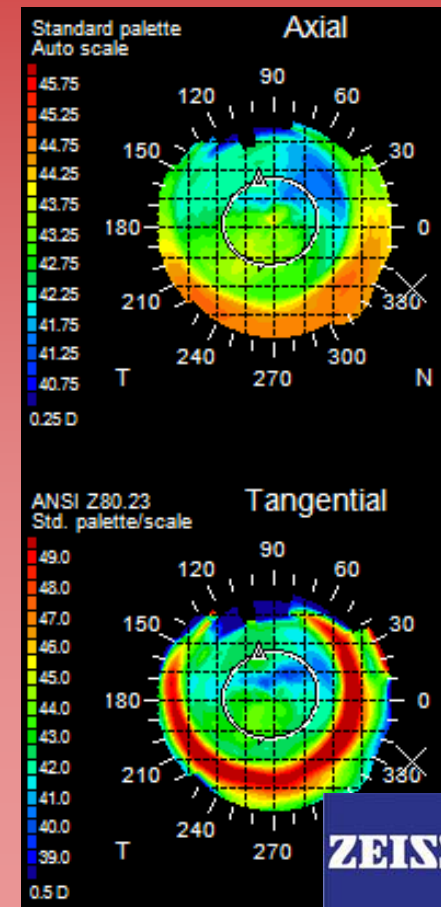
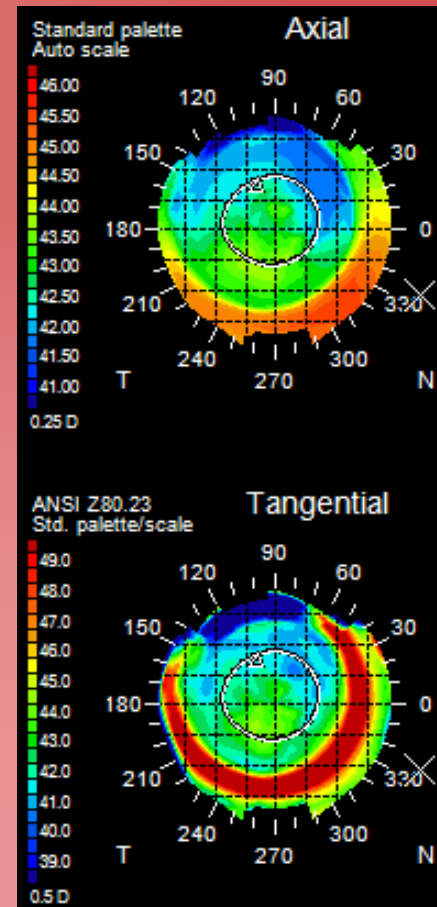
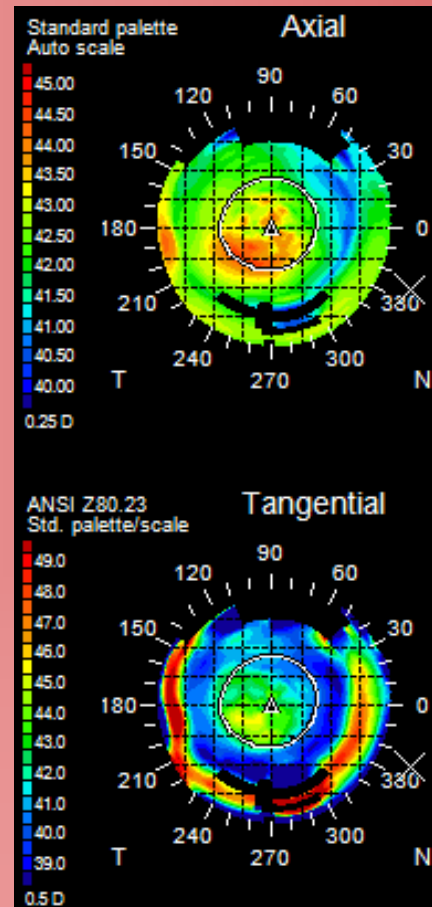
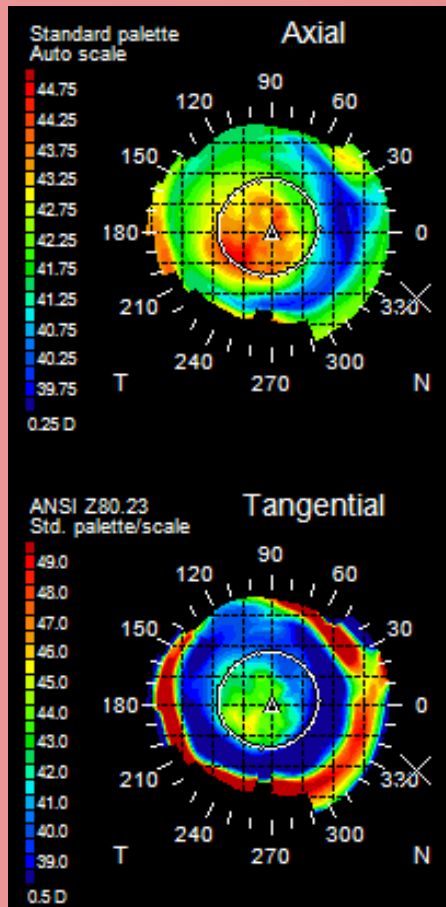
## Mapas tras PRK.

1 semana

4 semanas

5 meses

2 años



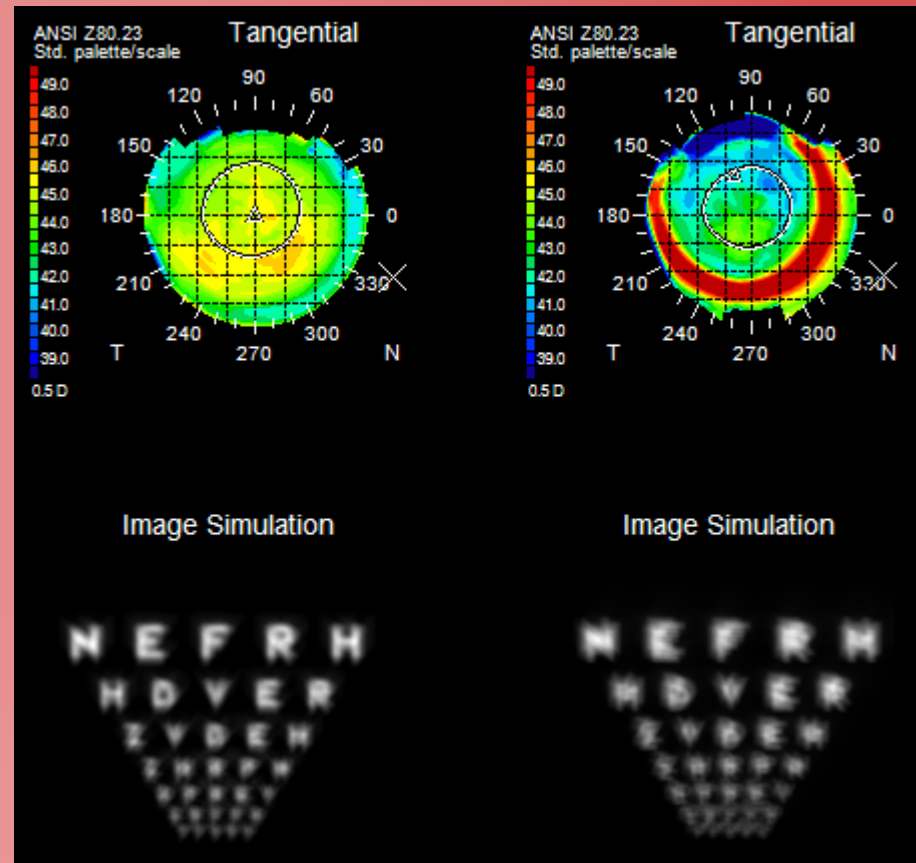
# Topografía corneal IV



## Mapas tras PRK: Consecuencias corneales.

Preoperatorio

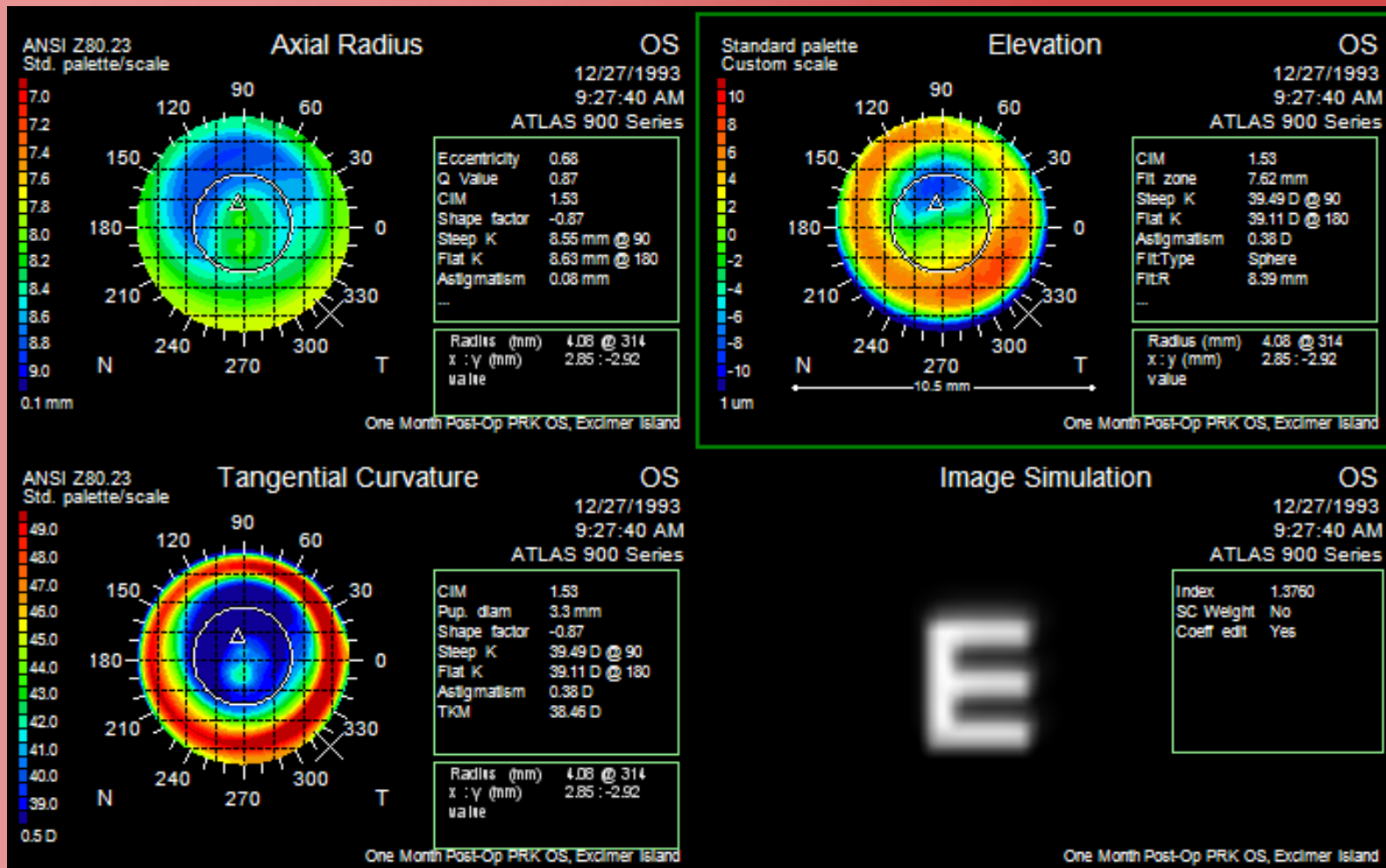
Final



# Topografía corneal IV



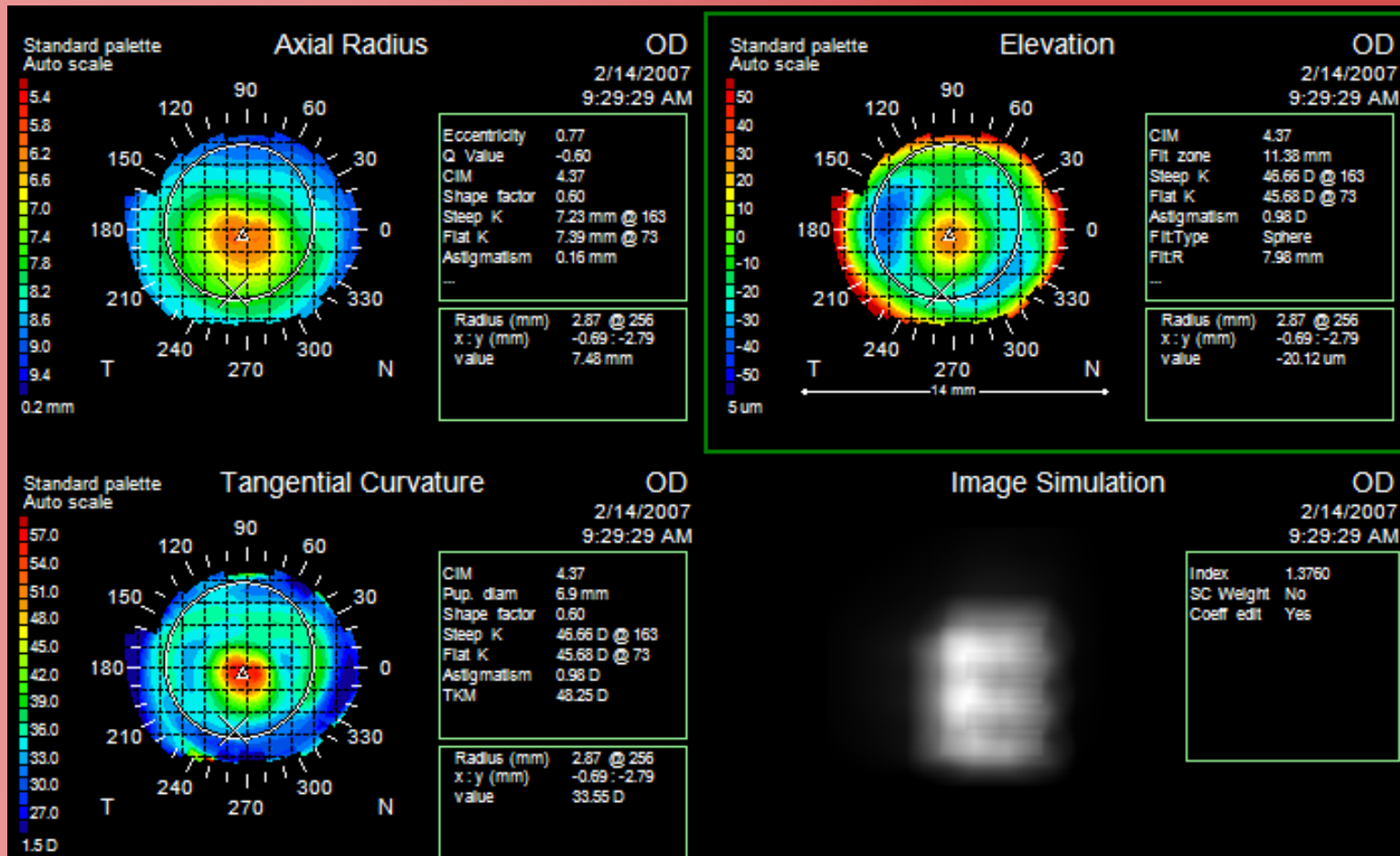
## La "Isla central".



# Topografía corneal IV



En los mapas de elevación o curvatura, aparece como una elevación en el centro de la córnea.  
Por su posición, causa graves problemas visuales.



# Topografía corneal IV

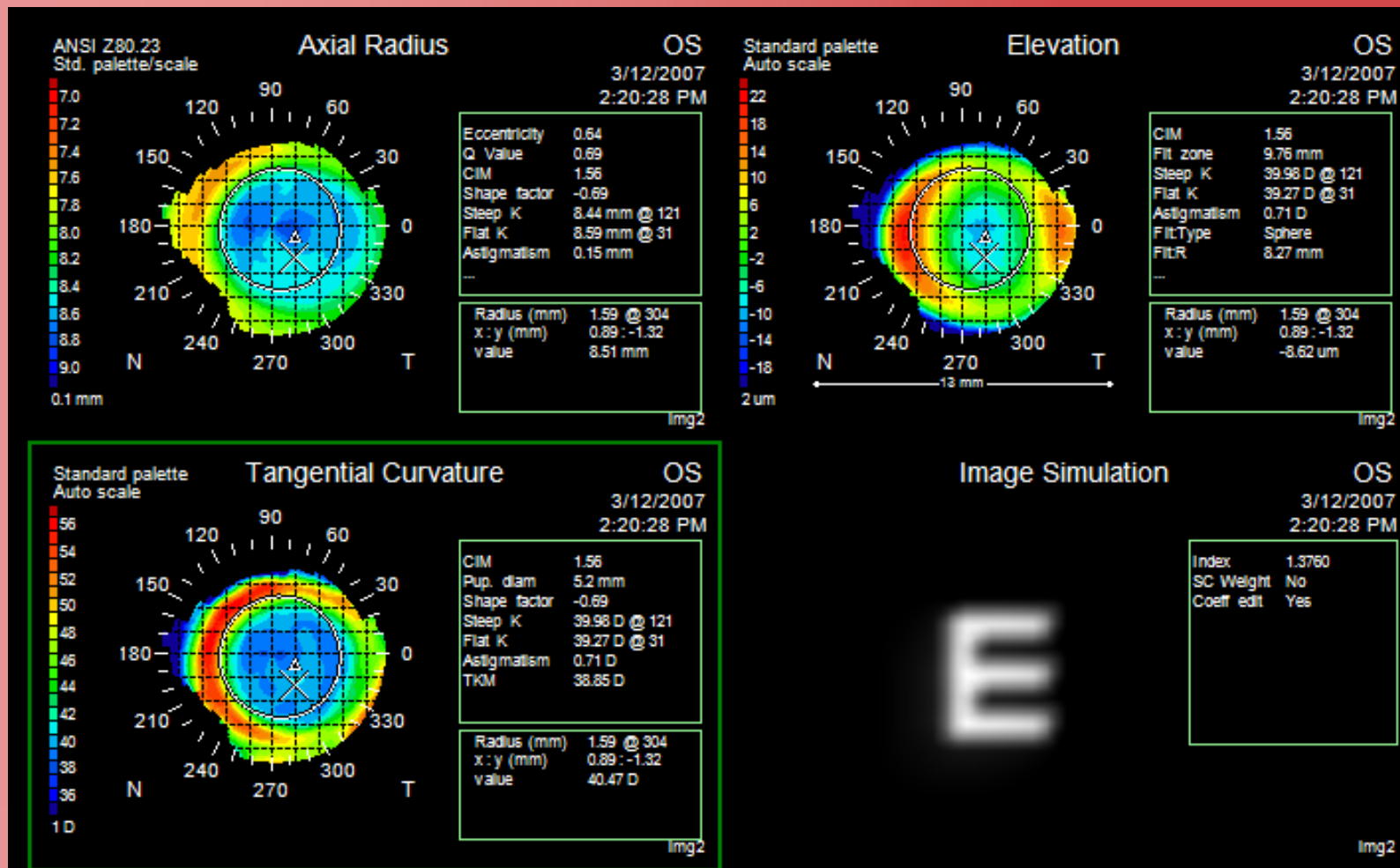


## Mapas tras LASIK

# Topografía corneal IV



## Mapa tras LASIK miópico.

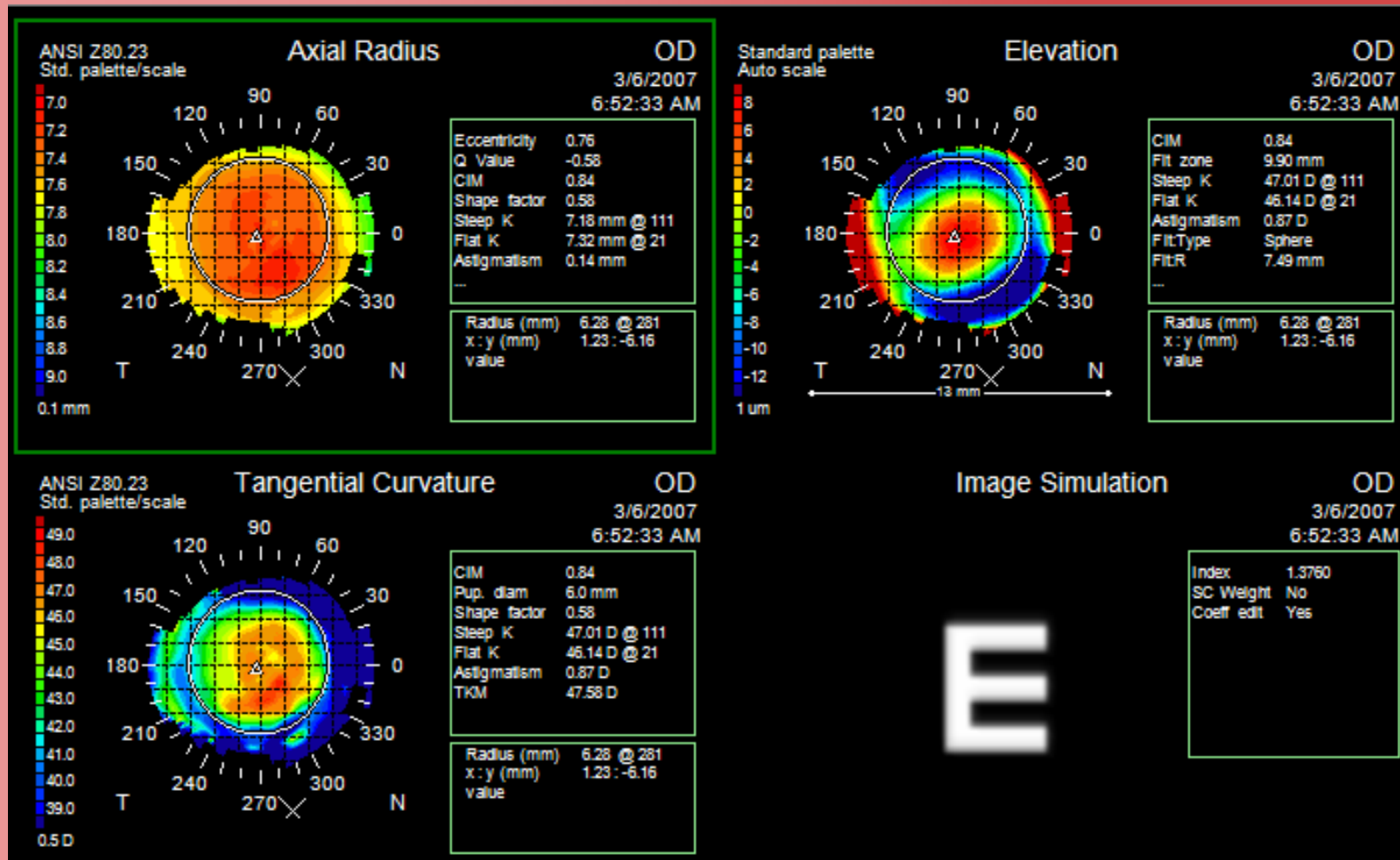




# Topografía corneal IV



## Mapa tras LASIK hipermetrópico.



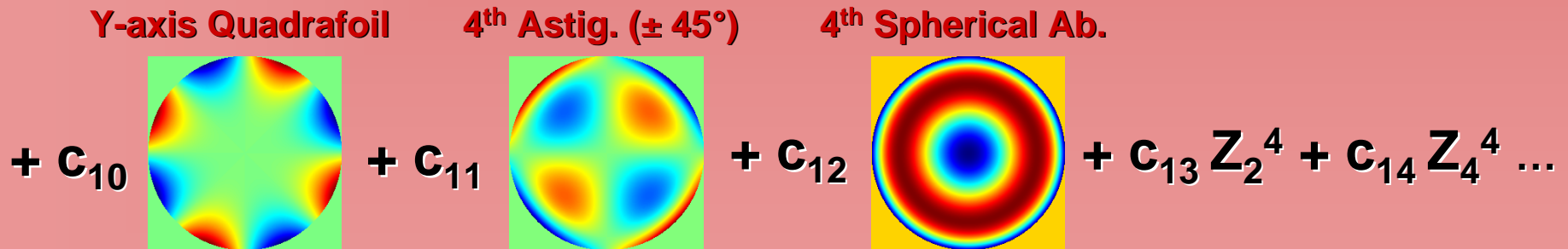
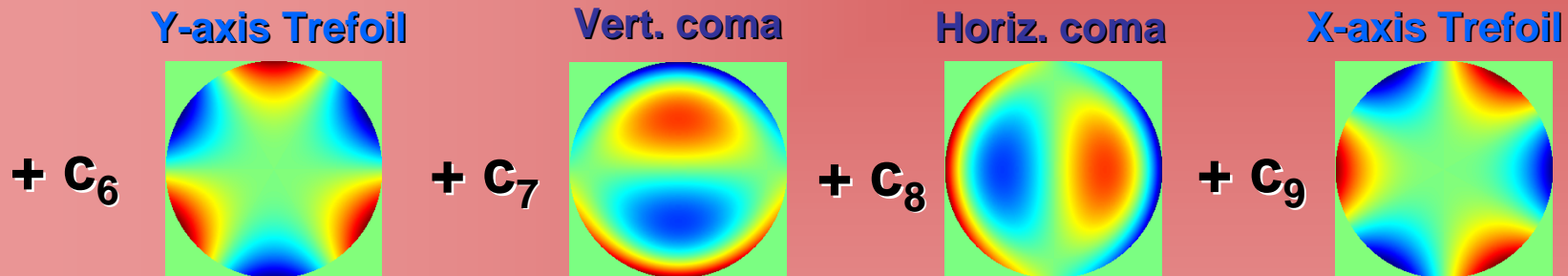
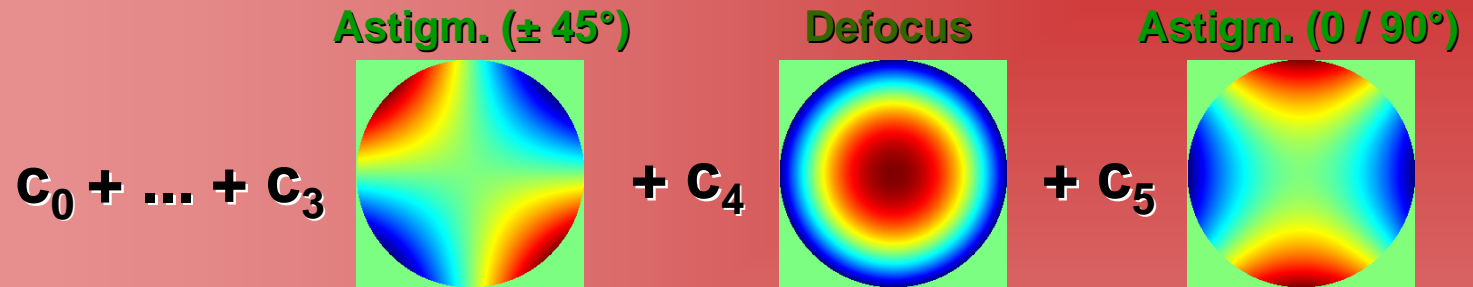


## Aberraciones corneales





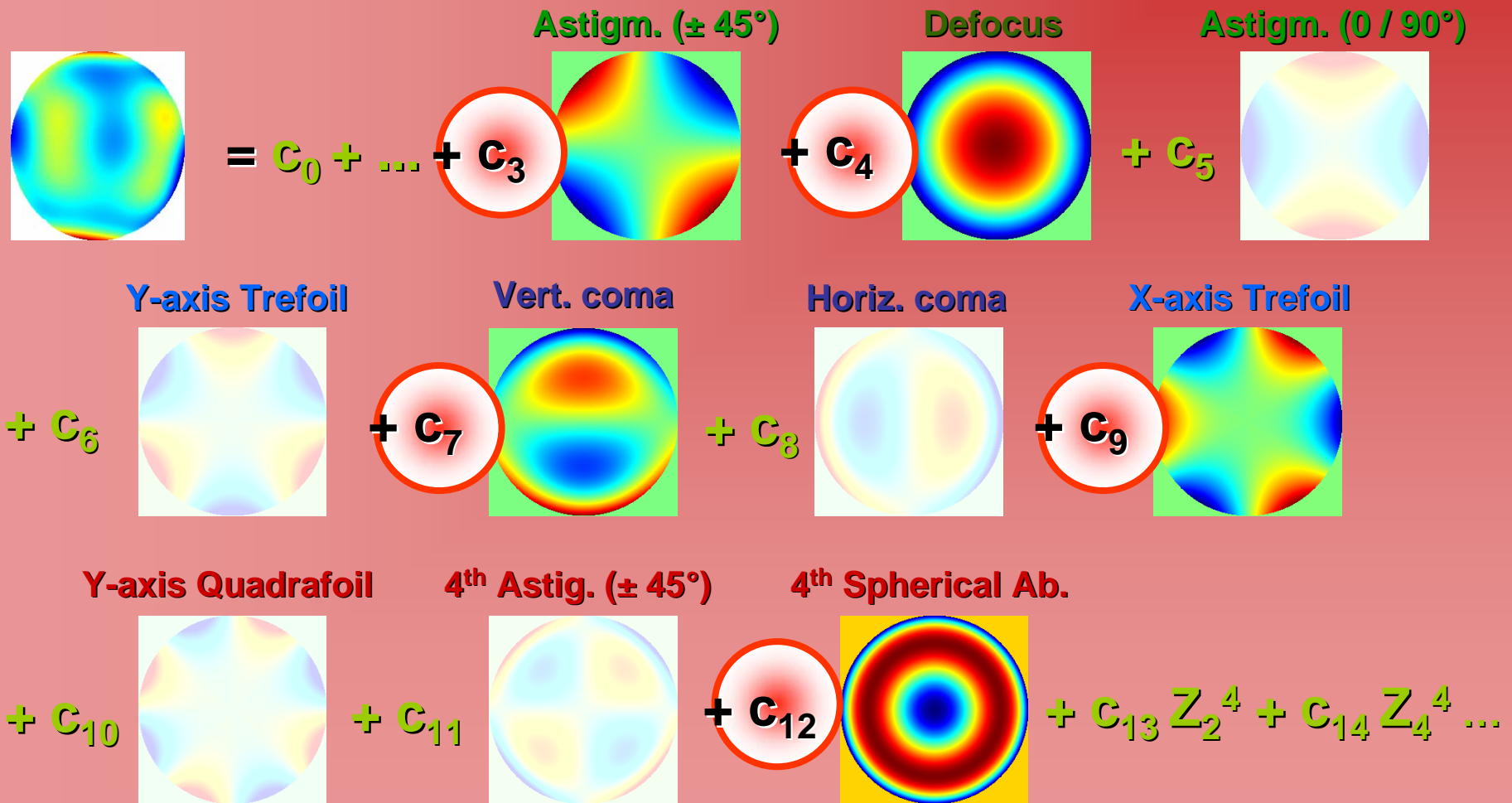
## Función aberración de frente de onda (WA)



# Topografía corneal IV



## Coeficientes de Zernike



# Topografía corneal IV

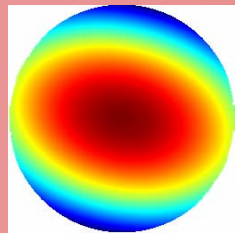


## Coeficientes de Zernike: ametropía



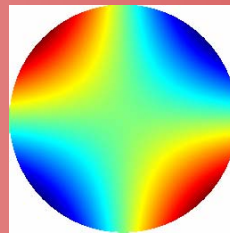
WA miope astigmata

PSF astigmata



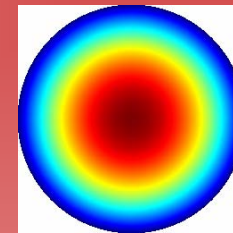
$$= c_0 + \dots + 0.5$$

Astigm. oblicuo



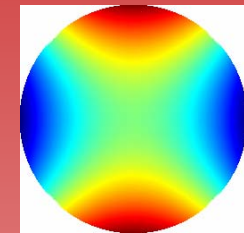
$$+ 2$$

Desenfoque

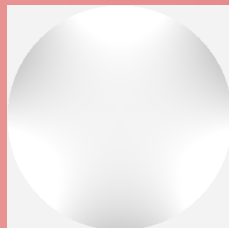


$$- 1$$

Astigm. (0-90°)

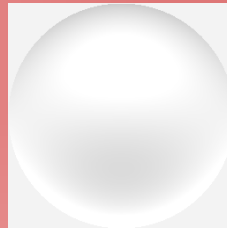


Trefoil vert



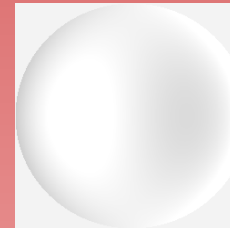
$$+ c_6$$

Coma vert



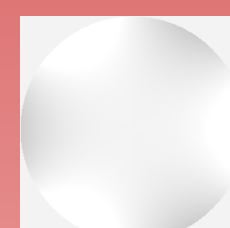
$$+ c_7$$

Coma horiz



$$+ c_8$$

Trefoil horiz



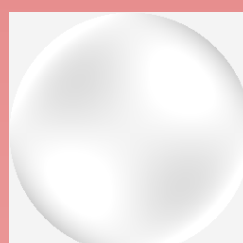
$$+ c_9$$

Quadrafoil vert



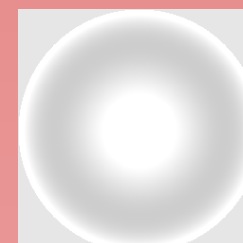
$$+ c_{10}$$

Astig. Oblicuo 4°



$$+ c_{11}$$

Aber. Esférica 4°



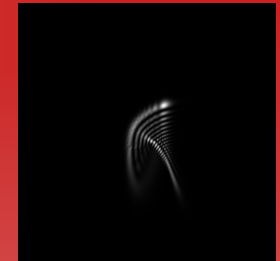
$$+ c_{12}$$

$$+ c_{13} Z_2^4 + c_{14} Z_4^4 \dots$$

# Topografía corneal IV

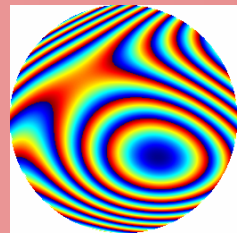


## Coeficientes de Zernike: queratocono



$WA_{\text{Queratocono}}$

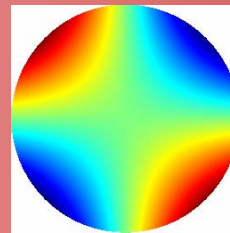
PSF queratocono



$= C_0 + \dots$

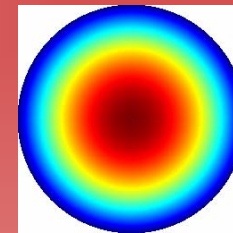
Astigm. oblicuo

-0.81



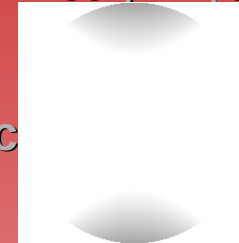
Desenfoque

-0.47



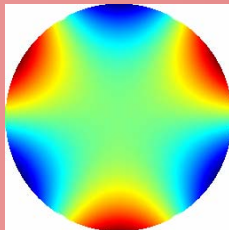
Astigm. (0-90°)

+0.47



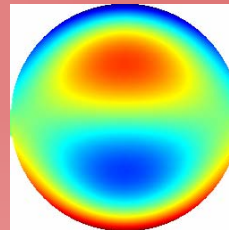
Trefoil vert

-0.31



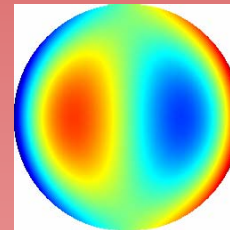
+0.57

Coma vert



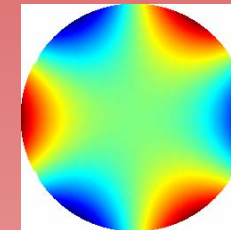
-0.26

Coma horiz



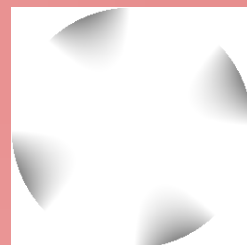
+0.17

Trefoil horiz



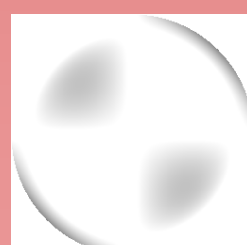
Quadrafoil vert

+  $C_{10}$



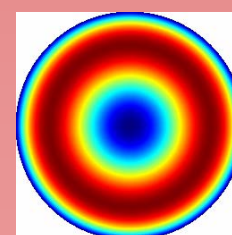
+  $C_{11}$

Astig. Oblicuo 4°



Aber. Esférica 4°

+0.10



+  $C_{13} Z_2^4 + C_{14} Z_4^4 \dots$



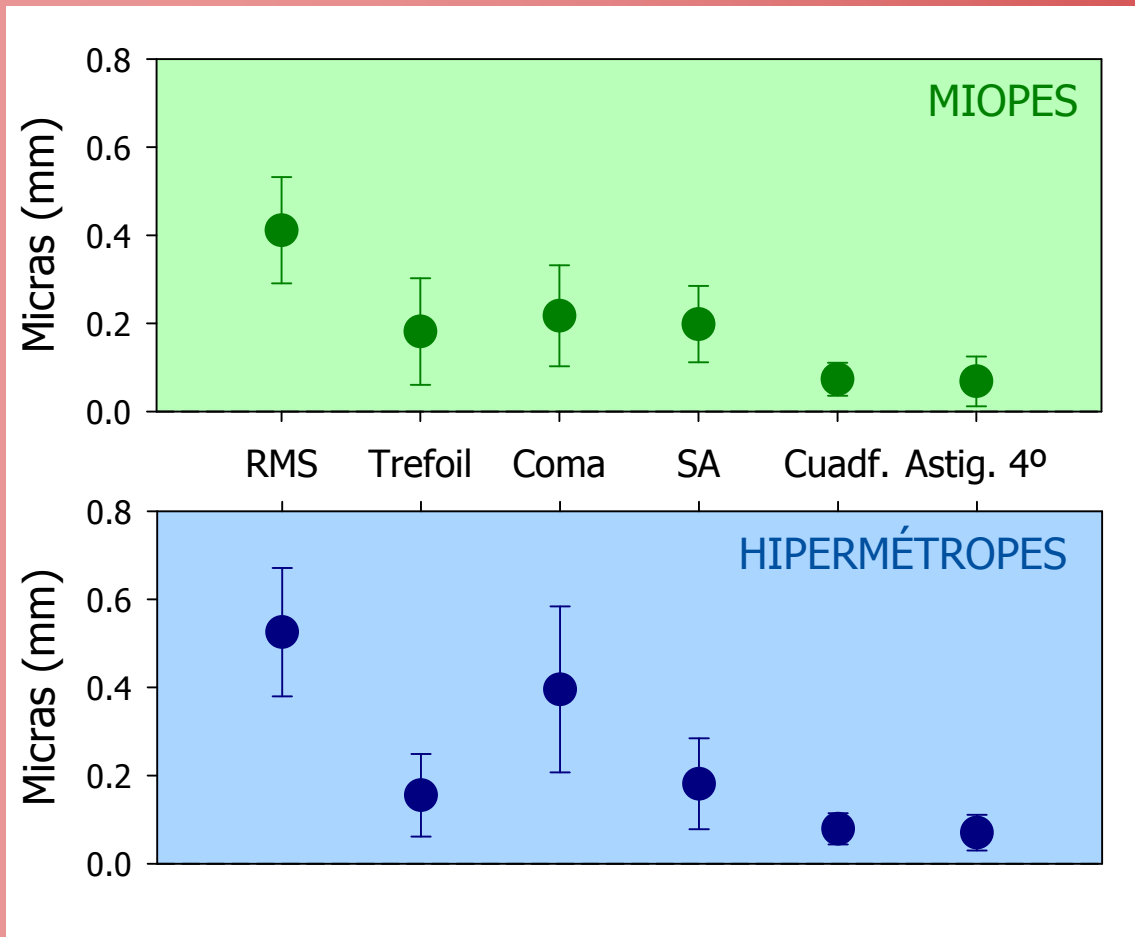
## Aberraciones corneales: estadística

RMS	Mean $\pm$ SD ( $\mu\text{m}$ )	Range ( $\mu\text{m}$ )	95% CI ( $\mu\text{m}$ )*
HOA	0.479 $\pm$ 0.124	0.234–0.857	0.463–0.495
SA	0.281 $\pm$ 0.086	0.058–0.545	0.270–0.292
Coma	0.248 $\pm$ 0.135	0.019–0.671	0.231–0.266
3rd order	0.323 $\pm$ 0.136	0.087–0.746	0.305–0.340
4th order	0.314 $\pm$ 0.084	0.125–0.580	0.303–0.325
5th order	0.095 $\pm$ 0.046	0.026–0.296	0.089–0.101
6th order	0.068 $\pm$ 0.031	0.014–0.185	0.064–0.072

RMS high-order ab.  
Spherical aberration.  
Coma aberration.  
RMS 3er orden.  
RMS 4º orden.  
RMS 5º orden.  
RMS 6º orden.



## Aberraciones corneales y ametropía



RMS high-order ab.

3er trefoil.

3er coma.

4th spherical ab.

4th cuadrafoil.

4th astigmatism.





## Aberraciones corneales tras LASIK

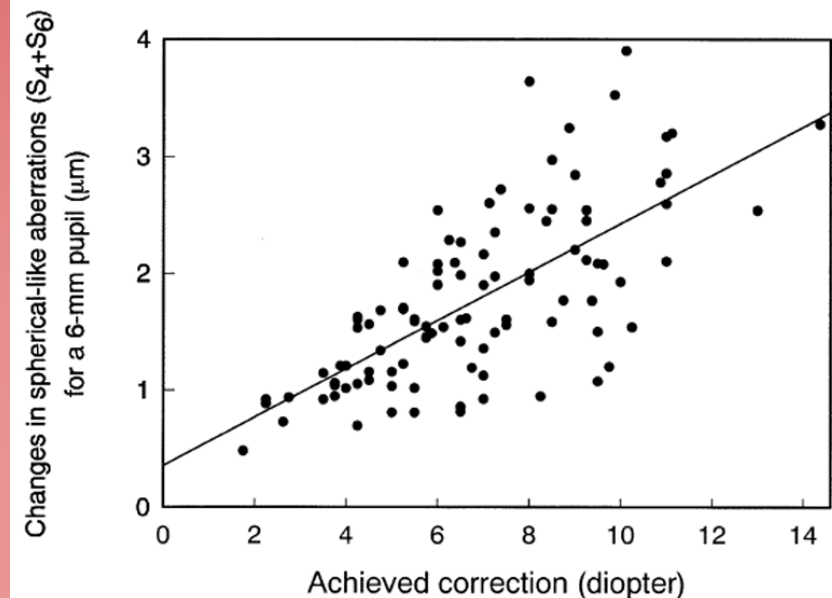
### PostLASIK hipermetrópico (6 mm)

Laser/Value	Preop	Postop	Change	P Value
VISX S2				
HOA	0.485 ± 0.094	0.557 ± 0.177	0.072 ± 0.209	.139
HOA without Z <sub>4</sub> <sup>0</sup>	0.378 ± 0.104	0.521 ± 0.172	0.143 ± 0.201	.005*
SA	0.289 ± 0.087	0.161 ± 0.132	-0.128 ± 0.158	.002*
Coma	0.268 ± 0.110	0.327 ± 0.175	0.059 ± 0.192	.186
VISX S3				
HOA	0.493 ± 0.084	0.560 ± 0.222	0.067 ± 0.230	.159
HOA without Z <sub>4</sub> <sup>0</sup>	0.417 ± 0.093	0.546 ± 0.224	0.129 ± 0.220	.016*
SA	0.253 ± 0.063	0.107 ± 0.065	-0.146 ± 0.099	.000*
Coma	0.322 ± 0.119	0.398 ± 0.241	0.076 ± 0.249	.186

### PostLASIK miópico (6 mm)

Table 1. Higher Order Wavefront Aberrations before and after Surgery

		Preoperative	Postoperative
3-mm pupil	Comalike aberration	0.075 ± 0.028	0.160 ± 0.065*
	Spherical-like aberration	0.063 ± 0.023	0.104 ± 0.046*
6-mm pupil	Comalike aberration	0.445 ± 0.213	1.602 ± 0.877*
	Spherical-like aberration	0.250 ± 0.119	2.020 ± 0.719*



[Oshika et al, 2002] [Wang y Koch, 2003]



## Libros y recursos web

*Atlas corneal topography system user manual.* Carl Zeiss Meditec. 2007.

*Corneal topography in the wavefront era. A guide for clinical application.* Wang M. Ed. Slack Inc, 2006.

*Óptica clínica. Curso de ciencias básicas y clínicas, edición 2007-2008.* American Academy of Ophthalmology. Ed. Elsevier, 2008.

*Optics of the human eye.* Atchison DA, Smith G. 2000.

*Orbscan operator's manual version 3.0.* Orbtek inc. 1999.

*Physiological Optics.* LeGrand Y, El Hague SG. Springer series in optical sciences, Berlin, 1980.

[emedicine.medscape.com](http://emedicine.medscape.com)

[www.aao.org](http://www.aao.org) [American Academy of Ophthalmology]

[www.atlasophthalmology.com](http://www.atlasophthalmology.com)

[www.oculus.de](http://www.oculus.de) [Pentacam manufacturer]

[www.oftalmo.com/seo](http://www.oftalmo.com/seo) [Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología]

[www.queratocono.es](http://www.queratocono.es)





## Artículos

Artal P, Benito A, Tabernero J. The human eye is an example of robust optical design. *J Vis*. 2006; 6(1):1-7.

Bogan Sj, Waring GO, Ibrahim O. Classification of normal corneal topography based on computer-assisted videokeratography. *Arch Ophthalmol* 1990;108:945-949.

Campbell C. Reconstruction of the corneal shape with the MasterVue corneal topography system. *Optom Vis Sci* 1997;74(11):899-905.

Hermans E, Dubbelman, M, van der Heijde R, Heethaar R. The shape of the human lens nucleus with accommodation. *J Vis* 2007;7(10):16, 1-10.

Kanpolat A, Simsek T, Alp NM. The evaluation of normal corneal topography in emmetropic eyes with computer-assisted videokeratography. *CLAO J* 1997;23:168-171.

Klyce SD. Computer-assisted corneal topography – High resolution graphic presentation and análisis of keratoscopy. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1984;25:1426-1435

Oshika T, Miyata K, Tokunaga T, Samejima T, Amano S, Tanaka S, Mishashi T, Maeda N, Fujikado T. Higher order wavefront aberrations of cornea and magnitude of refractive correction in Laser in situ keratomileusis. *Ophthalmology* 2002; 109(6):1154-1158.

Pallikaris IG, Kymionis GD, Astyrakakis NI. Corneal ectasia induced by laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2001 Nov; 27(11):1796-1802.

Sano Y, Carr JD, Takei K, Thomson KP, Stulting RD, Waring III GO. Videokeratography after excimer laser in situ keratomileusis for myopia. *Ophthalmology* 2000;107:674-684.

Torres RM, Merayo-Llodes J, Jaramillo MA, Galvis V. *Arch Soc Esp Oftalmol* 2005;80(4):215-223.

Wang L, Koch DD. Anterior corneal optical aberrations induced by laser in situ keratomileusis for hyperopia. *J Cataract Refract Surg* 2003; 29(9):1702-1708.

Wang L, Dai E, Koch DD, Nathoo A. Optical aberrations of the human anterior cornea. *J Cataract Refract Surg* 2003; 29(8):1514-1521