



# 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.



## Cirugía Corneal:

Cirugía corneal I. Cirugía refractiva y papel del optometrista.

Cirugía corneal II. Cirugía queratorefractiva: teoría y técnicas.

Cirugía corneal III. Cálculos preoperatorios y resultados de la cirugía.



## Cirugía Corneal:

Cirugía corneal I. Cirugía refractiva y papel del optometrista.

Cirugía corneal II. Cirugía queratorefractiva: teoría y técnicas.

Cirugía corneal III. Cálculos preoperatorios y resultados de la cirugía.

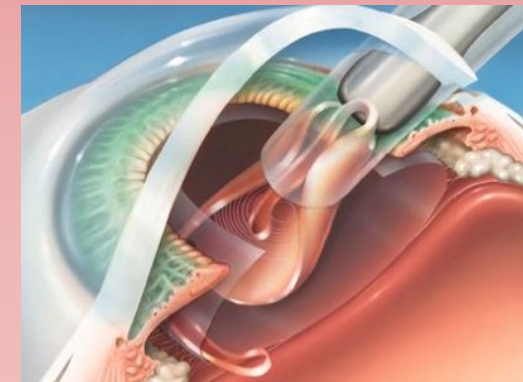
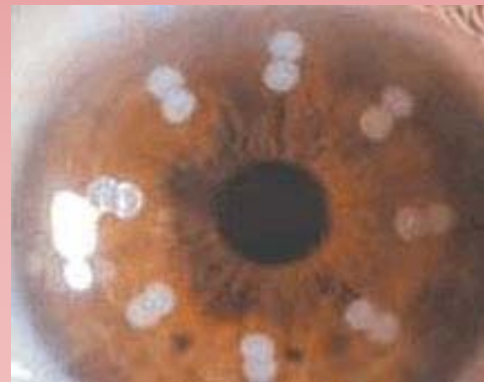
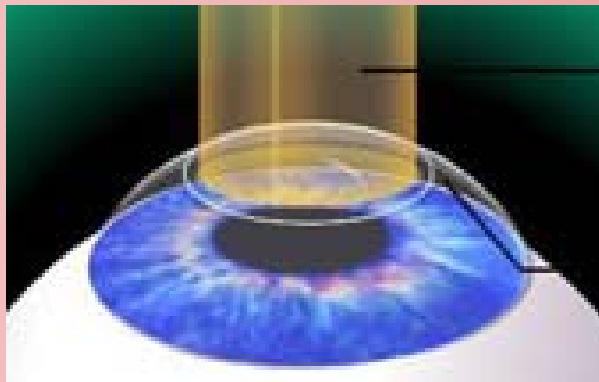
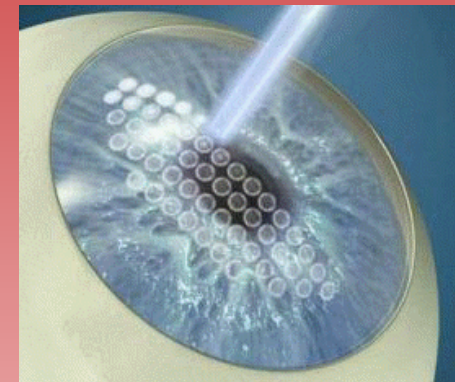
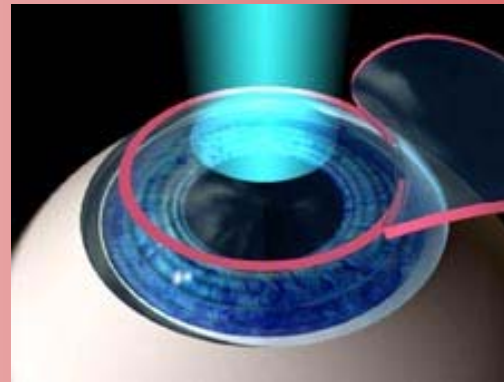
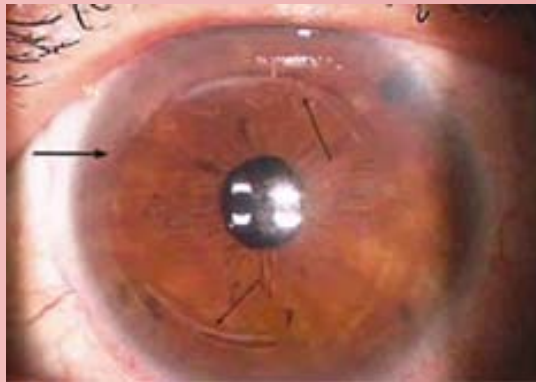


## ¿Qué es la *cirugía refractiva*?

- Conjunto de técnicas quirúrgicas encaminadas a modificar la potencia óptica del ojo.
- Su interés no es tanto para restaurar la visión, como para evitar la dependencia de una ayuda óptica.
- Engloba un gran número de técnicas, no sólo las más conocidas de cirugía láser corneal.
- Aunque la mayoría son irreversibles, algunas de ellas, como la ortoqueratología, sí son reversibles.

# Cirugía corneal I

¿A qué se denomina *cirugía refractiva*?





## Cirugía refractiva: papel del optometrista

Los optometristas son expertos en la medida instrumental de la potencia del ojo y otros parámetros oculares.

Su papel es clave en la cirugía refractiva:

- Desde las ópticas, aconsejando, así como realizando estudios previos antes de remitir pacientes.
- En los equipos especializados de las clínicas, participan en el estudio de las intervenciones.



## Cirugía refractiva: papel del optometrista

**Preoperatorio.** Antes de la cirugía hay que realizar toda una serie de pruebas:

- Medidas instrumentales para descartar la presencia de patologías previas, como queratocono.
- Asesoramiento sobre las técnicas disponibles.
- Medida exacta del error refractivo, comprobando que la cirugía es segura, y cálculo de los parámetros ópticos de la intervención.





## Cirugía refractiva: papel del optometrista

**Intervención.** Durante la realización de la cirugía:

- Acompañar y tranquilizar al paciente, ayudando en su caso a la instilación de la medicación que haya determinado el cirujano.
- Apoyando al cirujano a la hora de explicar los pasos a desarrollar durante la intervención.
- Programando el láser, para la corrección de esfera y cilindro, asfericidad, aberraciones, etc.



## Cirugía refractiva: papel del optometrista

**Postoperatorio.** Durante las visitas posteriores, hay que comprobar el resultado obtenido:

- Controlar mediante medidas instrumentales que no aparecen problemas secundarios a la cirugía, y que se sigue el protocolo farmacológico.
- Estimación de la calidad de visión: AV, CSF...
- Estimación de la calidad óptica: residual refractivo, topografía corneal y aberraciones oculares.



## Cirugía refractiva: papel del optometrista

Éxito y seguridad en cirugía oftálmica:

UCVA:

BCVA:





## Cirugía refractiva: papel del optometrista

### **UCVA: Uncorrected visual acuity.**

- Define el grado de éxito de una cirugía refractiva, pues indica cómo ve el paciente sin ayuda.

### **BCVA: Bestcorrected visual acuity.**

- Define el grado de éxito, pues indica cuál es la máxima agudeza que puede alcanzar la persona.
- Se suele evaluar por ganancia/pérdida de líneas de visión.



## Cirugía refractiva: papel del optometrista

### Índice de Eficacia:

$$\text{Efficacy index} = \frac{\text{UCVA}_{\text{Postop}}}{\text{BCVA}_{\text{Preop}}}$$

### Índice de Seguridad:

$$\text{Safety index} = \frac{\text{BCVA}_{\text{Postop}}}{\text{BCVA}_{\text{Preop}}}$$



## Cirugía Corneal:

Cirugía corneal I. Cirugía refractiva y papel del optometrista.

**Cirugía corneal II. Cirugía queratorefractiva: teoría y técnicas.**

Cirugía corneal III. Cálculos preoperatorios y resultados de la cirugía.



## ¿Por qué la córnea?

- El sistema óptico ocular está formado por 2 lentes: córnea ( $\approx 40-45$  D) y cristalino ( $\approx 20$  D).
- Actualmente se considera a la cirugía del cristalino como cirugía refractiva, pues no sólo se hace en casos como las cataratas.
- Las lentes intraoculares no permiten acomodar, por lo que no es buena opción en jóvenes.



## La córnea

Es el elemento óptico ocular de mayor potencia.

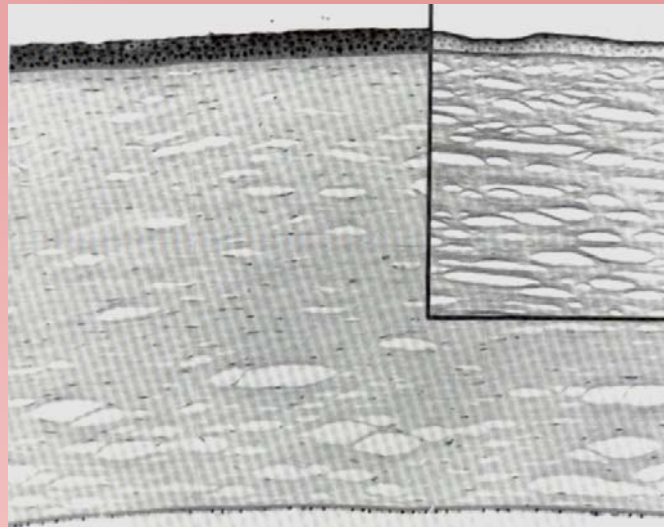
Su estructura y transparencia le confieren una muy buena calidad óptica.

Pero cualquier alteración indeseada de su forma, incluso leve, puede causar una grave pérdida visual.



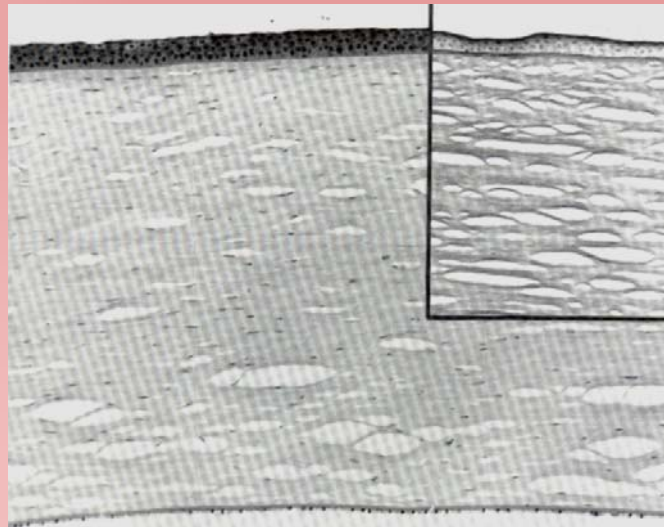
## La córnea

El **epitelio corneal** no puede usarse para realizar un cambio de potencia, ya que al regenerarse en pocos días se pierde cualquier posible cambio inducido quirúrgicamente.



## La córnea

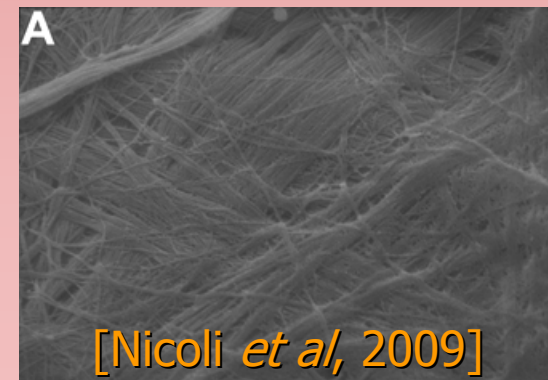
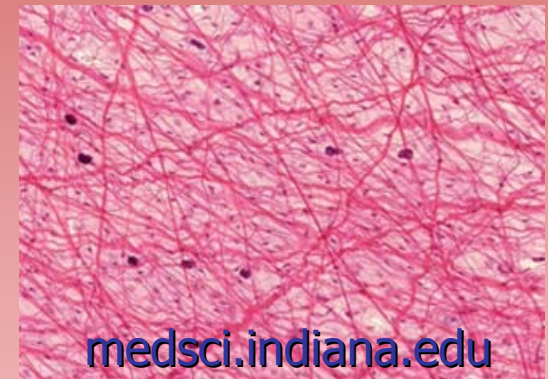
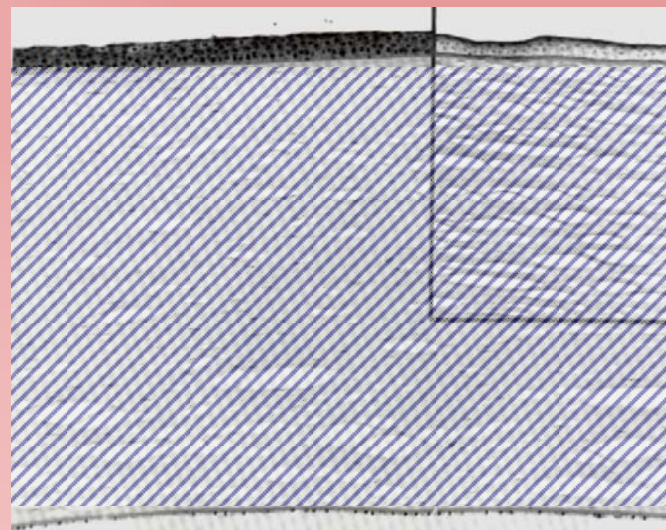
- El endotelio es una fina capa, con un papel muy importante en la fisiología corneal.
- Debe ser respetado al aplicar cualquier técnica de este tipo.



## ¿Qué parte de la córnea se modifica?

El **estroma corneal**, formado por fibras de colágeno y fibroblastos, supone el 90% del espesor corneal y es quien da forma a la córnea.

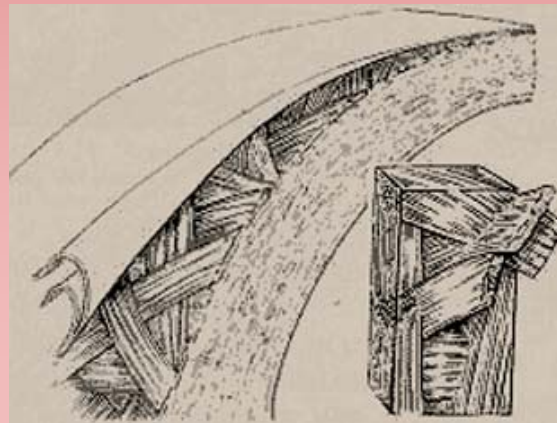
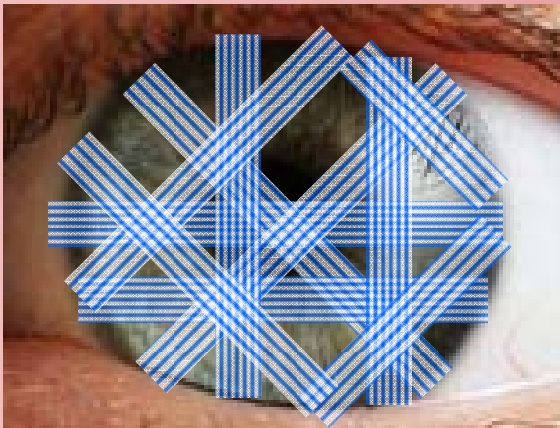
≈500 micras



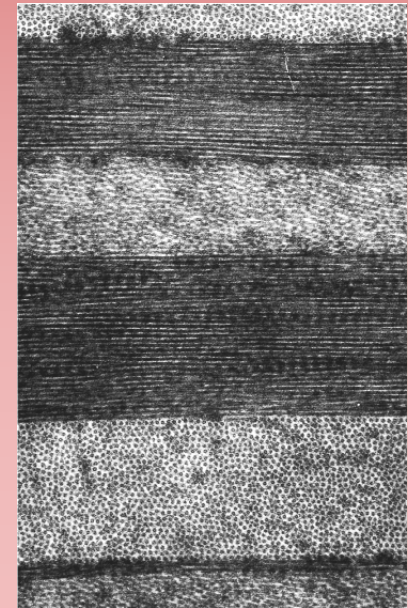
## El estroma corneal

Está formado por una superposición de láminas de fibras de colágeno alineadas entre si.

Las láminas recorren la córnea de lado a lado, dando forma a la córnea.



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





## El estroma corneal

El empaquetamiento y por tanto la *dureza* de cada capa estromal disminuye con la profundidad.

Las capas más externas sean más resistentes ante por ejemplo una deformación posquirúrgica.



*Estroma anterior*



*Estroma medio*



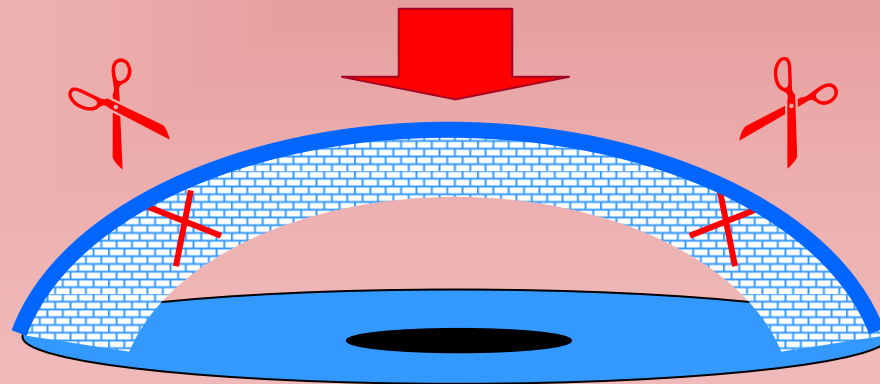
*Estroma posterior*

[Morishige et al, 2006]



## Cirugía queratorefractiva biomecánica

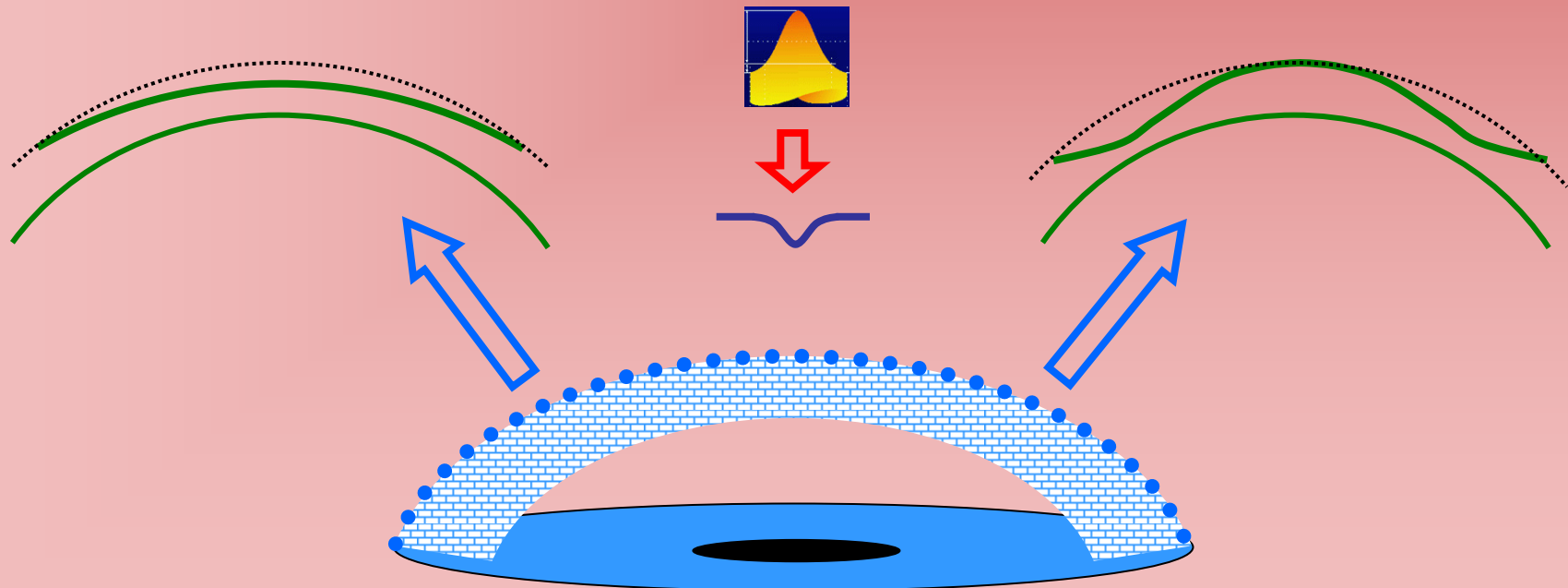
Una de las formas de aplanar la córnea es seccionar la zona periférica de las láminas de colágeno, reduciendo así su resistencia mecánica.





## Cirugía queratorefractiva por ablación láser

Otra manera de alterar la forma de la córnea es esculpir una nueva superficie corneal, cambiando la forma del estroma.





## Cirugía queratorefractiva: técnicas

### Técnicas *biomecánicas*:

Queratotomía radial (RK)

Queratoplastia conductiva (CK)

### Técnicas de *esculpido láser*:

Queratectomía fotorefractiva (PRK)

Queratomileusis asistida por láser (LASIK)

Queratectomía subepitelial (LASEK)

*IntraLase*



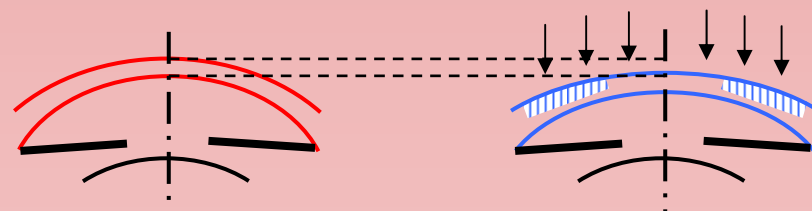
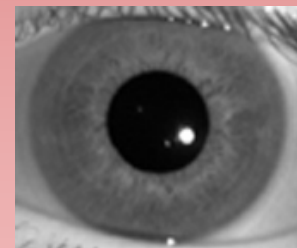
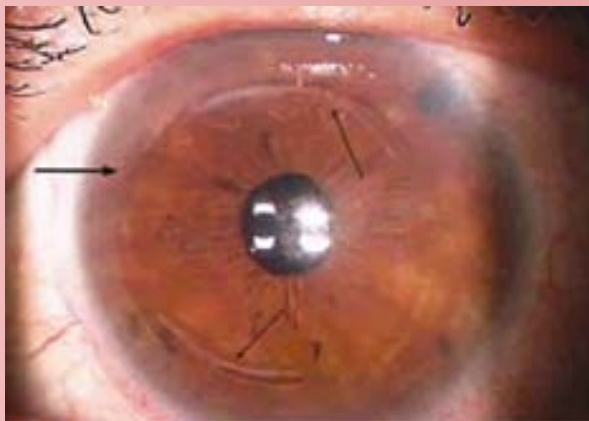


## Técnicas *biomecánicas*

## Técnicas *biomecánicas*

### Queratotomía radial (RK):

Incisiones corneales radiales, cuyo número y disposición define el tipo de corrección (esférico o cilíndrico) y el grado de corrección.



[Núñez-Pérez y Montané-Esteve, 2004]



## Técnicas *biomecánicas*

### Queratotomía radial (RK):

- Mala predictibilidad del resultado refractivo exacto.
- Causado por la imposibilidad de realizar las incisiones de manera uniforme.
- Falta de control ante los cambios biomecánicos de la córnea.
- Riesgo de infecciones corneales.



## Técnicas *biomecánicas*

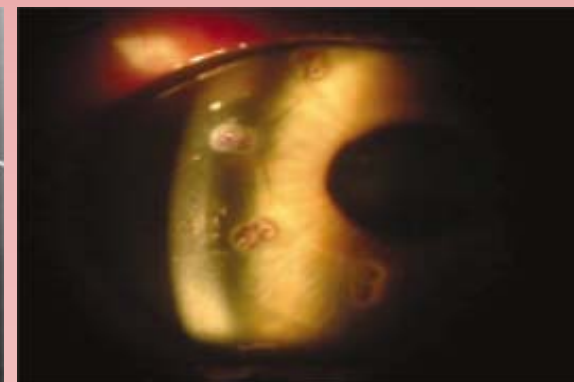
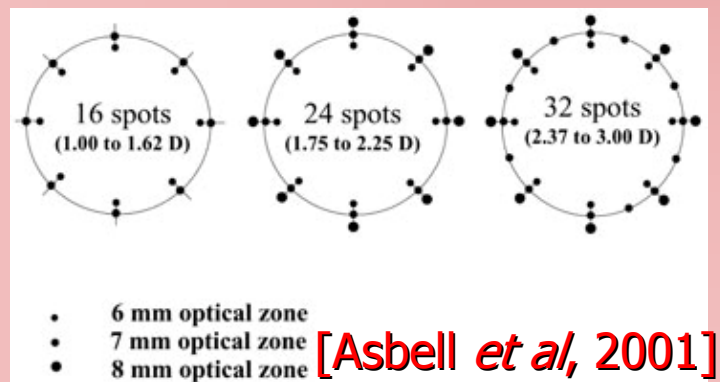
### Termocoagulación corneal (TK)

- Aplicación de corrientes eléctricas para provocar la contracción del colágeno en la zona periférica de la córnea, fue ya sugerida por Lans en 1889.
- La contracción del colágeno aumenta la curvatura corneal y corrige la hipermetropía.
- La LTK supuso una actualización, ya que provoca la contracción usando un láser Ho:YAG (IR).

## Técnicas *biomecánicas*

### Queratoplastia conductiva (CK):

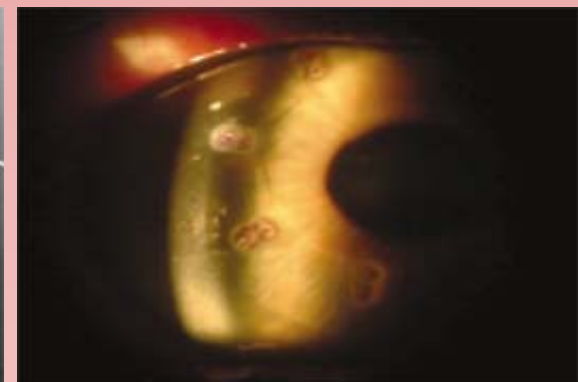
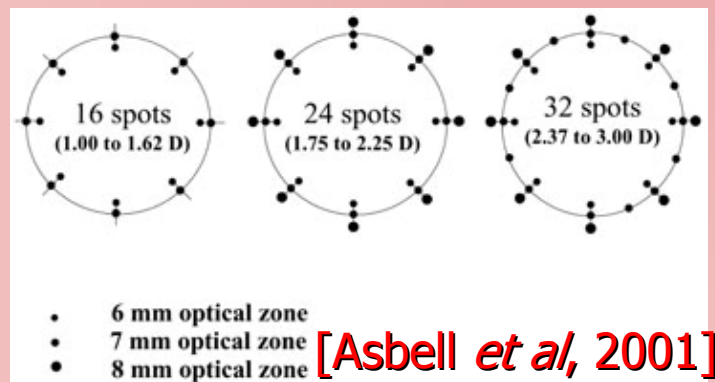
- Se buscaba un menor daño térmico que la fotocoagulación, aplicando radiofrecuencias.



## Técnicas *biomecánicas*

### Queratoplastia conductiva (CK):

- Se buscaba un menor daño térmico que la fotocoagulación, aplicando radiofrecuencias.
- La corrección va de un mínimo de +0.75 D (8 ptos) a +3 D (32 ptos), y hasta 0.75 D de cilindro.





## Técnicas *biomecánicas*

- Este tipo de técnicas que modifican la resistencia biomecánica corneal presentan problemas.
- Cambios temporales del poder refractivo corneal, infecciones, etc.
- Aún pueden aplicarse puntualmente en casos donde no se puedan utilizar otras técnicas.



## Cirugía de esculpido láser





## Cirugía de esculpido láser

### Antecedentes

- Las técnicas que modifican la biomecánica corneal dependen mucho de la habilidad del cirujano.
- Cualquier error conlleva un grave riesgo de causar alteraciones corneales graves.
- Era necesario desarrollar una técnica que permitiese saber que aplicando una cantidad de energía A, se obtenía una corrección B.



## Cirugía de esculpido láser

### ¿Por qué esculpir con un láser?

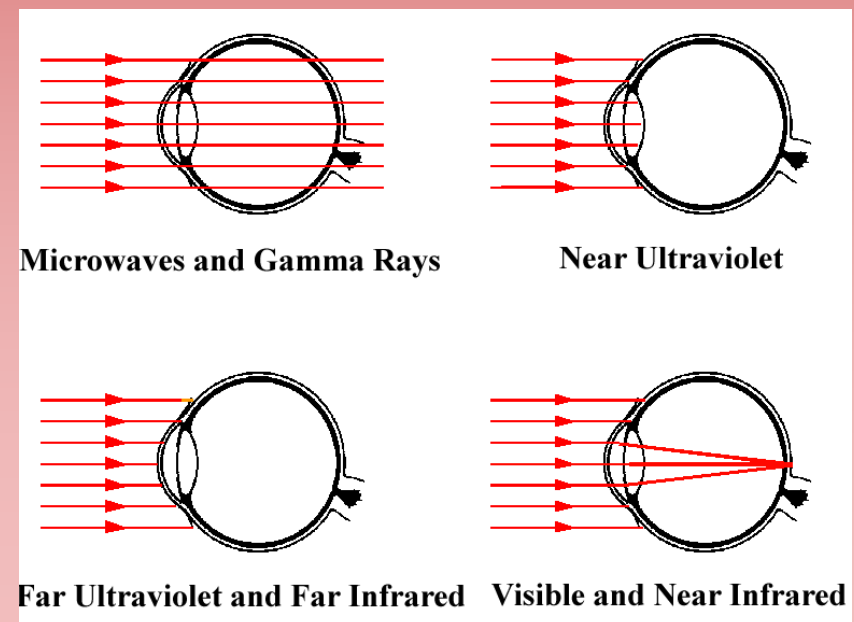
- La energía del láser se puede proyectar a puntos concretos con gran precisión.
- Cada cantidad de energía de cada tipo de láser produce un efecto concreto sobre cada tejido.
- Según qué láser se utilice, se pueden evitar los daños al tejido circundante.

## Cirugía de esculpido láser

### ¿Qué tipo de láser?

En cirugía láser lo ideal es encontrar la radiación que es absorbida sólo por el tejido que se quiere tratar.

*Absorción ocular de radiación EM.*

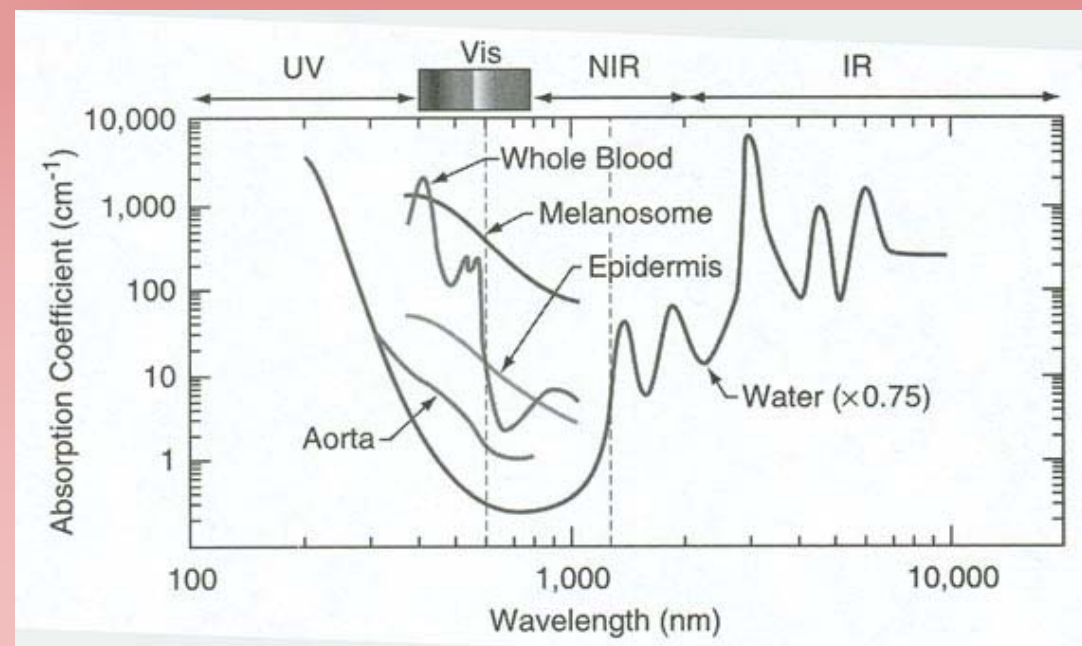


## Cirugía de esculpido láser

### ¿Qué tipo de láser?

En cirugía láser lo ideal es encontrar la radiación que sea absorbida sólo por el tejido que se quiere tratar.

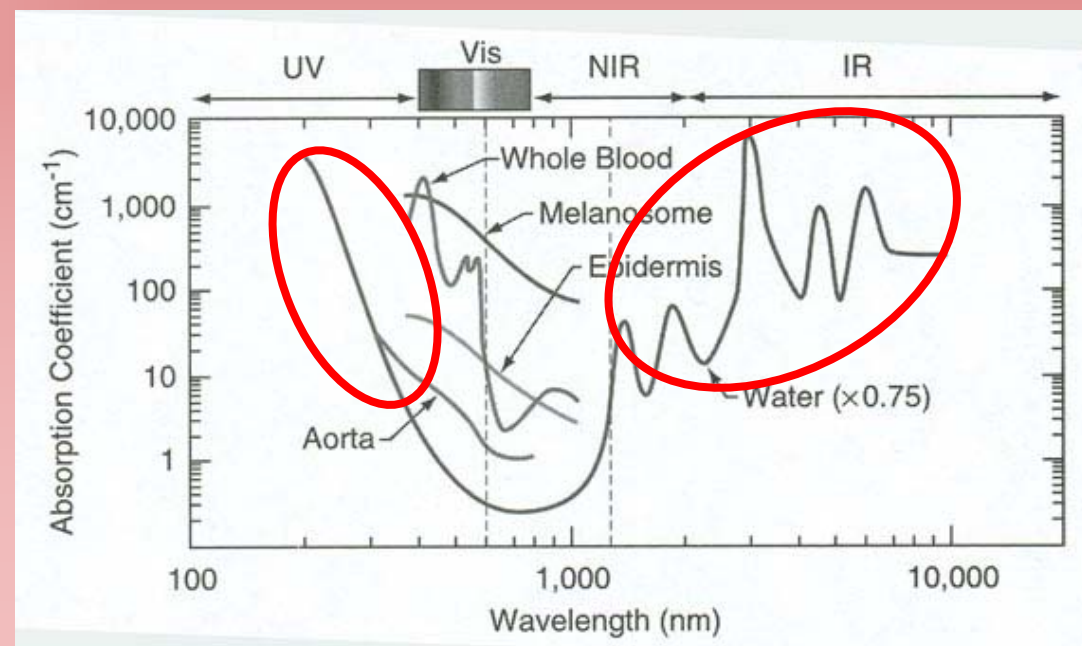
*Coefficiente de absorción del agua y tejidos corporales.*



## Cirugía de esculpido láser

- Los tejidos tienen un alto contenido en agua.
- Eso hace que las radiaciones mejor absorbidas (y peligrosas), sean el IR lejano ( $>1400$  nm) y el UV ( $<400$  nm).

*Coefficiente de absorción del agua y tejidos corporales.*





## Cirugía de esculpido láser

En el caso del ojo, las diferencias entre tejidos son:

- De situación: externa como la córnea o interna como la retina.
- De composición: similar en contenido de agua, pero diferente en cuanto al tipo proteínas.

Esto es importante, porque no todas las diferentes proteínas del cuerpo absorben igual las radiaciones.

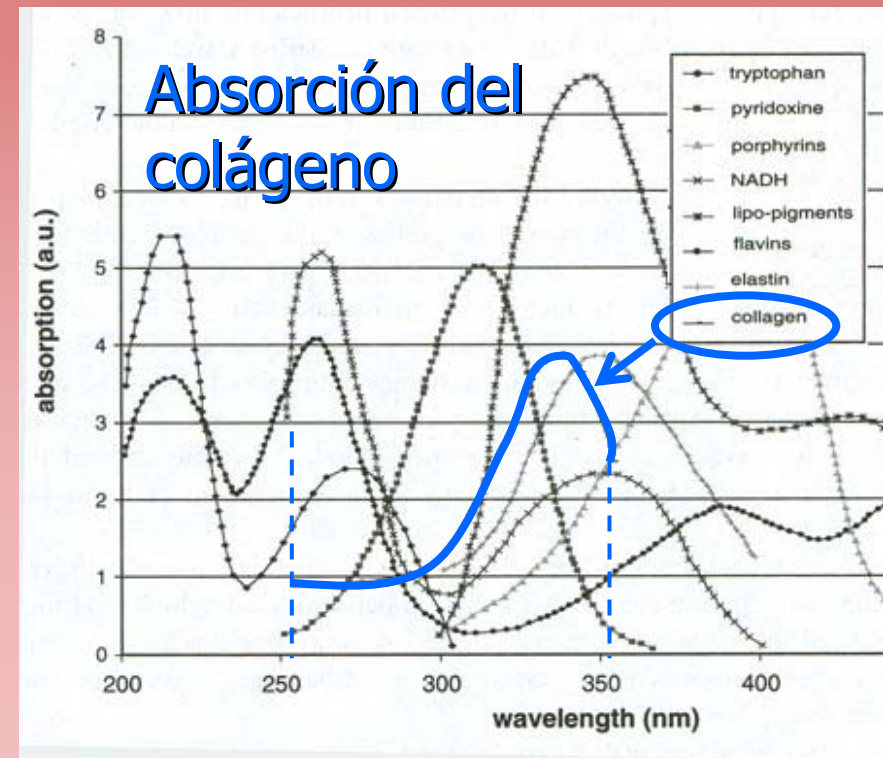
# Cirugía corneal II



## Cirugía de esculpido láser

El **colágeno** absorbe muy bien el UV, lo que lo hace una buena radiación para la cirugía de la córnea.

Al mismo tiempo, no absorbe mucho IR cercano (NIR), lo que hace de esta una radiación adecuada para tratar la retina.



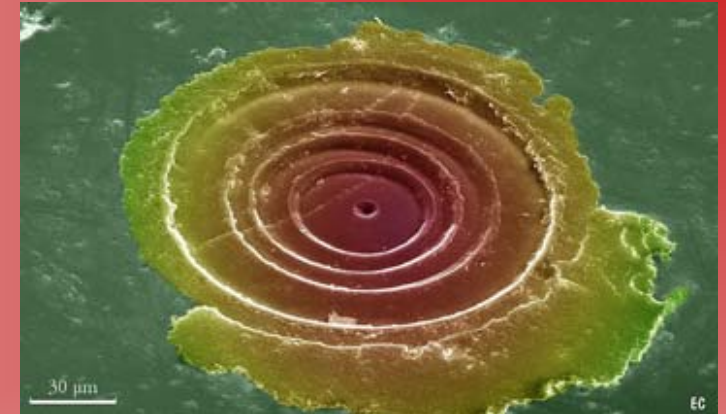
*Absorción de las algunas proteínas.*

# Cirugía corneal II



## Cirugía de esculpido láser

### Láser excímero

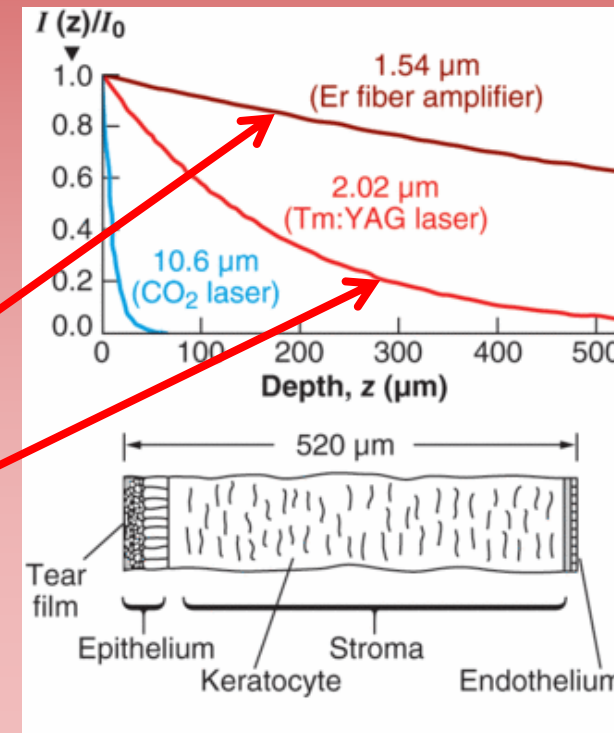
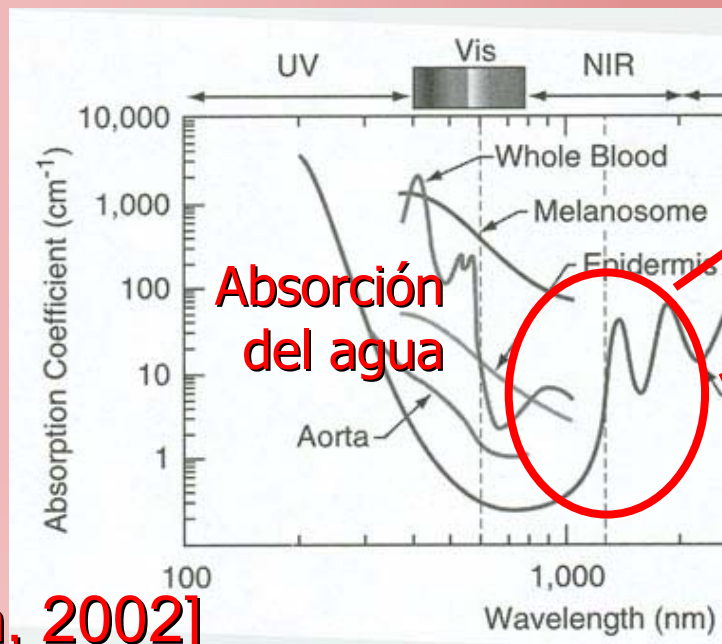


- El láser ultravioleta llamado excímero, utiliza un gas de Argón-Flúor (ArF;  $\lambda=193$  nm).
- Cada impacto de este láser destruye una cantidad fija de tejido corneal, sin dañar el tejido vecino.



## Cirugía de esculpido láser: Resumen

El NIR es ideal para tratar la retina, pues es el menos absorbido por la córnea o los humores.



[Vo-Dinh, 2002]

*Transmisión de láser IR y NIR.*

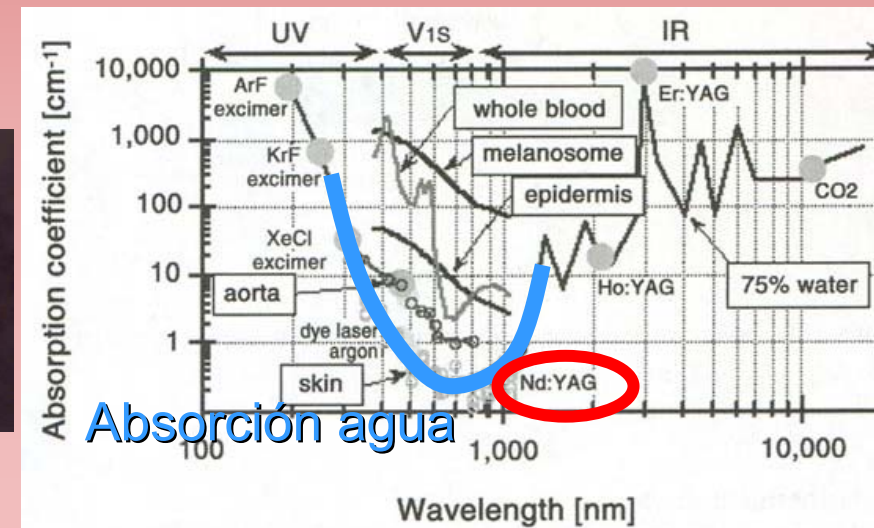
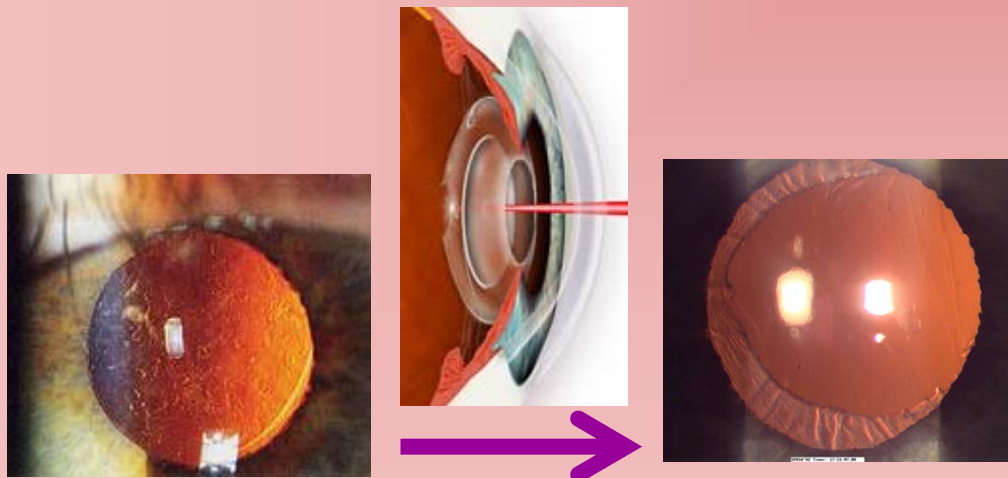
# Cirugía corneal II



## Cirugía de esculpido láser

### Láser Nd:YAG

El Nd:YAG ( $\lambda=1064$  nm) es un láser de estado sólido, utilizado para intervenciones intraoculares, como capsulotomía coagulación de retina...





## Cirugía de esculpido láser

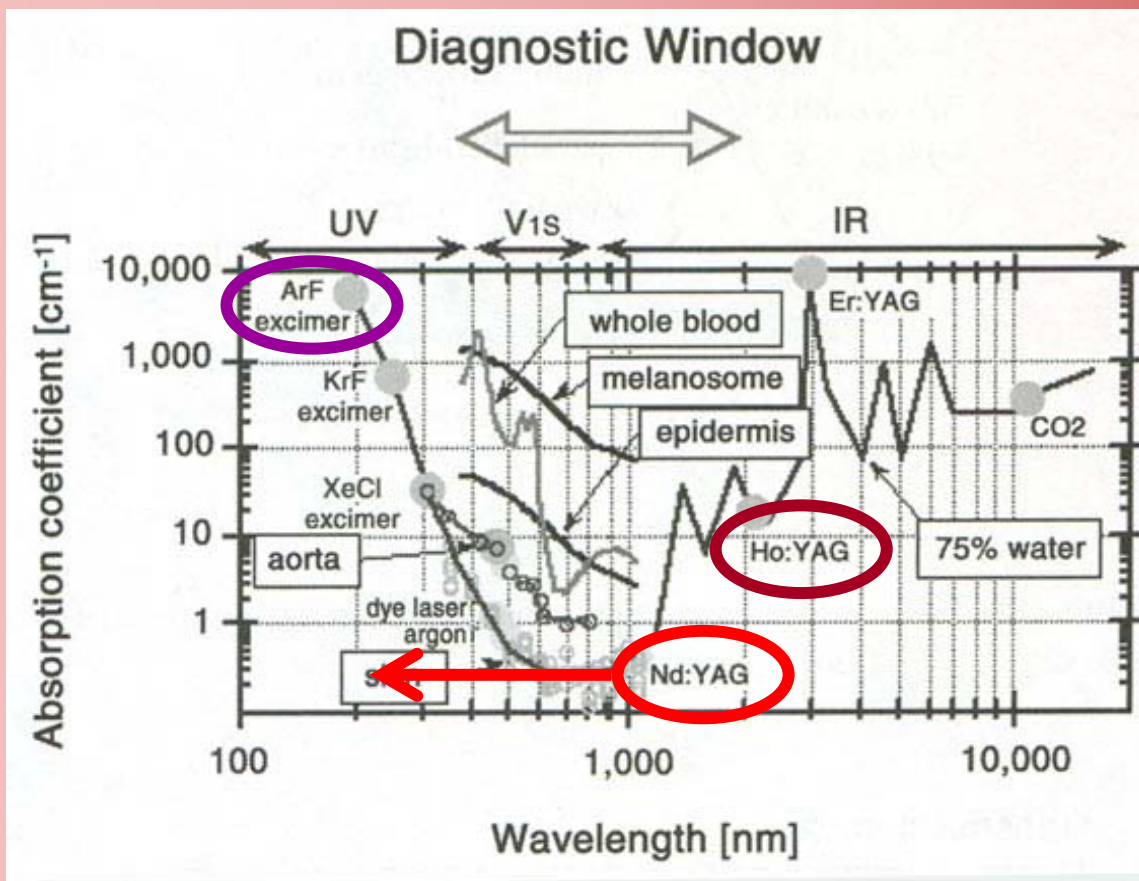
### Láser Nd:YAG

- Al ser un láser pulsado con sistema de bombeo, su frecuencia ( $\nu=1/\lambda$ ) se puede incluso quintuplicar, cambiando su longitud de onda al UV ( $\lambda=213$  nm).
- En ese estado puede ser utilizado para hacer ablación estromal, además con un coeficiente F de 0.4, frente al frente al 0.3 del excímero ( $\lambda=193$  nm).

$$\text{prof. excavación}(d) = m \cdot \ln\left(\frac{F}{F_u}\right)$$

## Cirugía de esculpido láser: Resumen

*Absorción de tejidos y  $\lambda$  de láser oftalmológicos.*

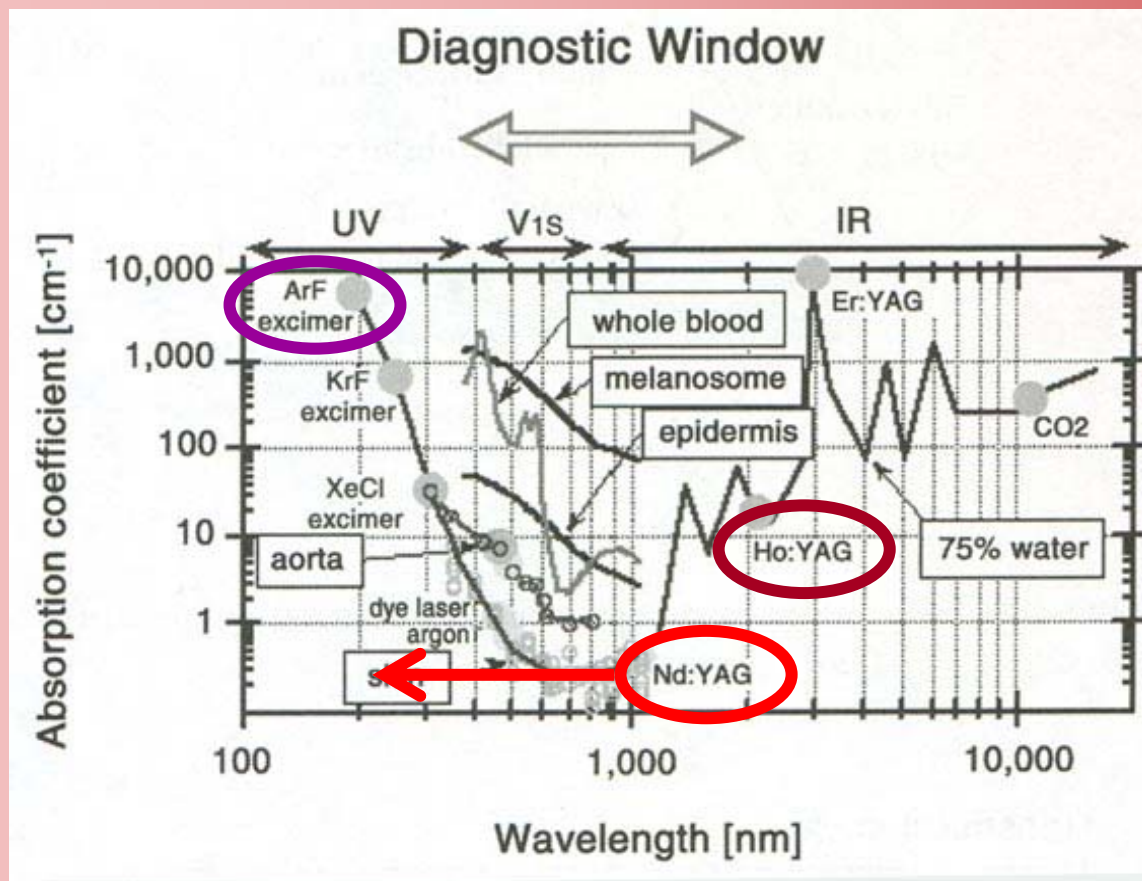


Para cada tratamiento quirúrgico, hay un tipo de láser ideal.

[Vo-Dinh, 2002]

## Cirugía de esculpido láser: Resumen

*Absorción de tejidos y  $\lambda$  de láser oftalmológicos.*



[Vo-Dinh, 2002]

Para cada tratamiento quirúrgico, hay un tipo de láser ideal.

Aunque en láser pulsados como el Nd:YAG, la  $\lambda$  se puede reducir y obtener un UV.



## Cirugía de esculpido láser

### Láser de femtosegundos

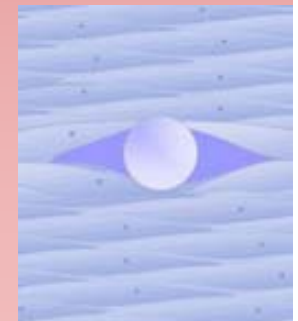
- Son láser de estado sólido como el Nd:YLF, un láser IR de  $\lambda=1053$ .
- Su energía se concentra en pulsos muy cortos de entre  $600$  y  $800 \times 10^{-15}$  seg.
- Esto permite concentrar unos  $100$  mW en un spot de sólo  $3$  micras.



## Cirugía de esculpido láser

### Láser de femtosegundos

- Esa potencia tan concentrada, volatiliza el tejido, creando una burbuja.

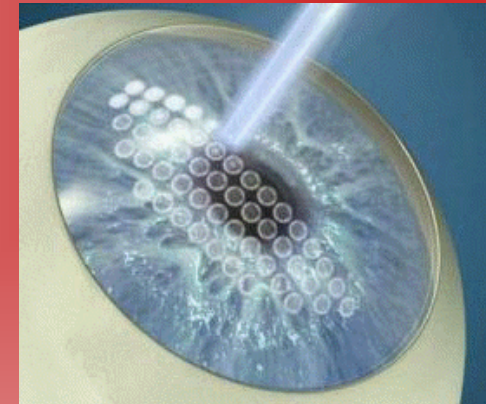


# Cirugía corneal II

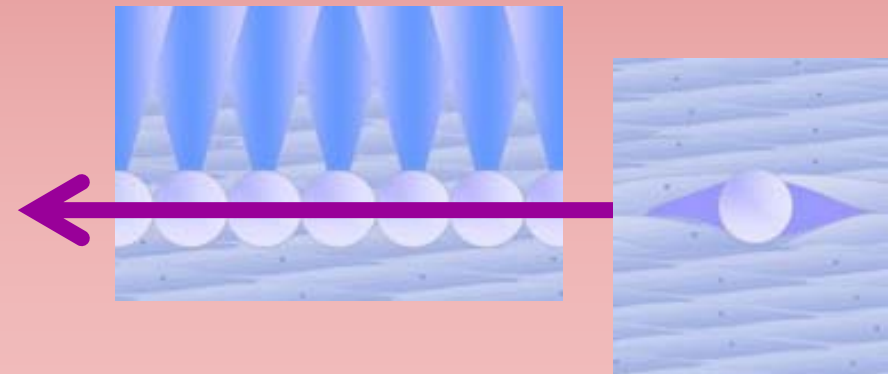


## Cirugía de esculpido láser

### Láser de femtosegundos



- Si se crea una malla de burbujas de este tipo, se puede hacer un "corte" en el tejido.
- Esto permite prescindir del microqueratomo mecánico.







## Cirugía queratorefractiva con láser excímero



## Queratectomía fotorefractiva (PRK)

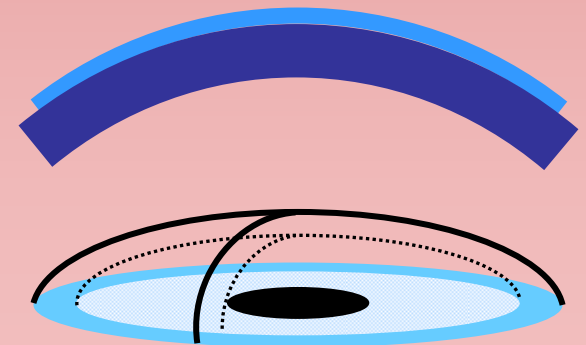


## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

### Queratectomía fotorefractiva (PRK)

Fue la primera técnica propuesta que utilizaba las propiedades de esculpido corneal del láser excímero para la corrección de la miopía.

Córnea



[Trokel *et al*, 1983] [Marshall *et al*, 1986]

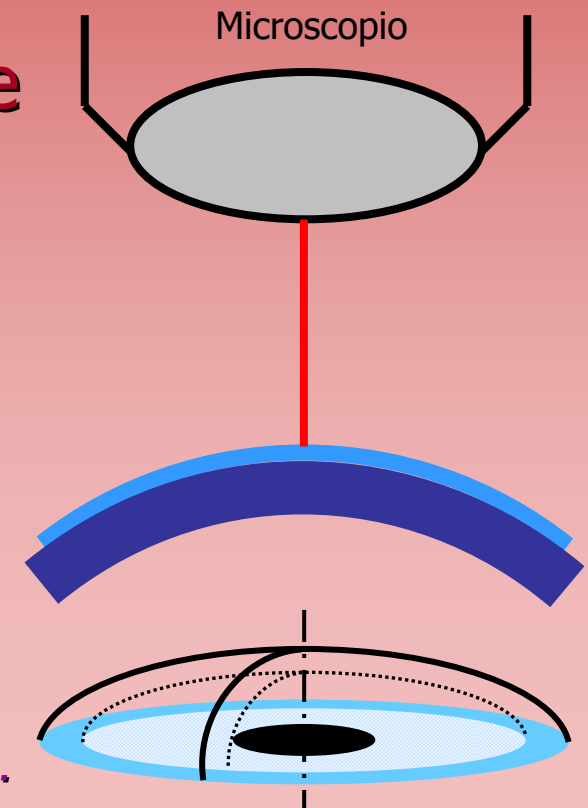


## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

### Queratectomía fotorefractiva (PRK)

Con un microscopio, el cirujano centra la ablación sobre el centro de la pupila de entrada, usando un láser de He-Ne (632 nm).

*Centrado del tratamiento con láser visible.*



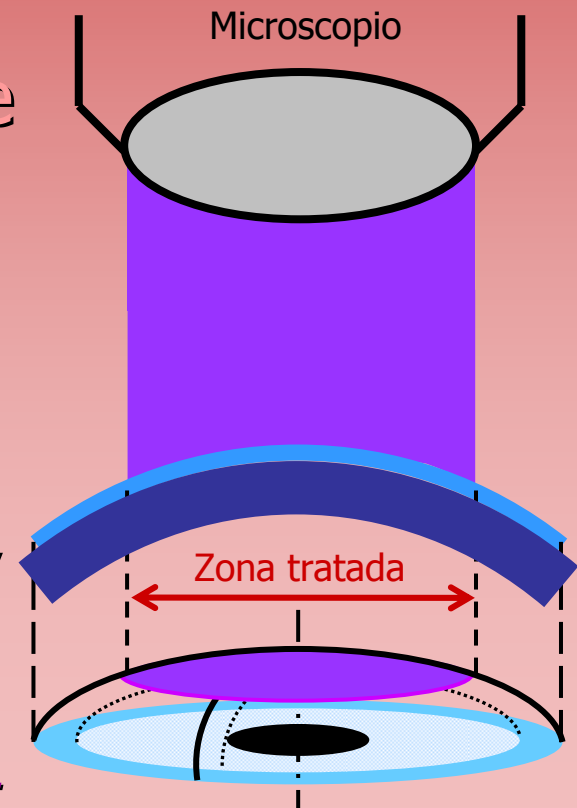
## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

### Queratectomía fotorefractiva (PRK)

- Con un microscopio, el cirujano centra la ablación sobre el centro de la pupila de entrada, usando un láser de He-Ne (632 nm).

- Con el láser excímero se elimina el epitelio, la membrana de Bowman y una fracción del estroma anterior.

*Eliminación del epitelio con láser excímero.*

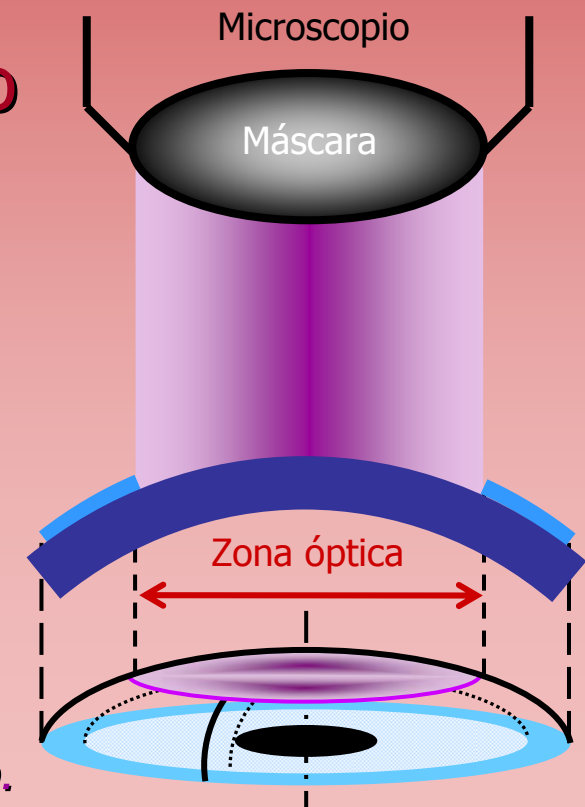


## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

### Queratectomía fotorefractiva (PRK)

- El incremento o disminución de la curvatura estromal depende del tipo de máscara utilizado.
- La cantidad de error refractivo corregido depende del número de veces que actúe el láser.

*Ablación estromal con láser excímero.*



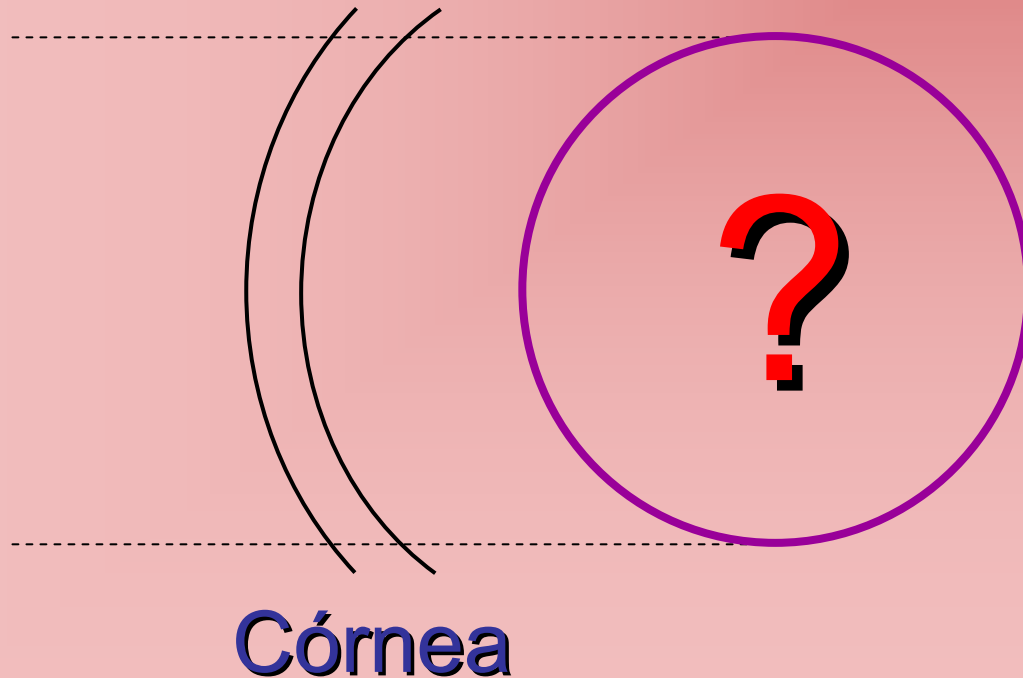
# Cirugía corneal II



## Cirugía queratorefractiva láser

Queratectomía fotorefractiva (PRK):

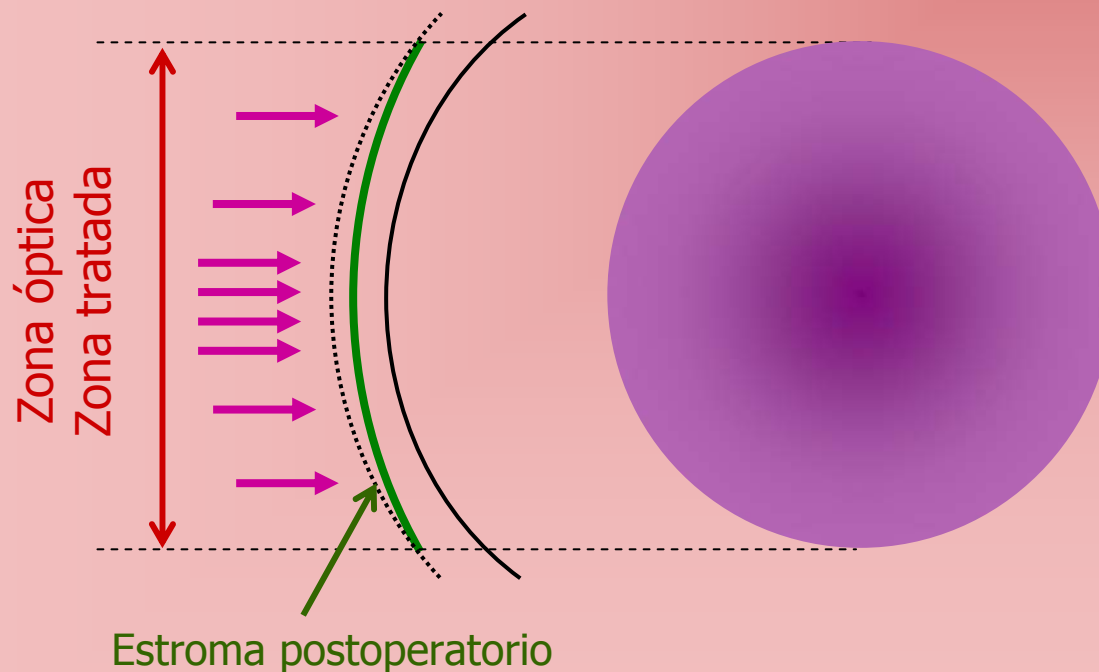
¿Corrección miópica?



## Cirugía queratrefractiva láser

Queratectomía fotorefractiva (PRK):

### Corrección miópica



Para corregir una miopía, la máscara debe dejar pasar más energía hacia la zona central de la ablación, lo que permite eliminar el equivalente a una lente positiva.



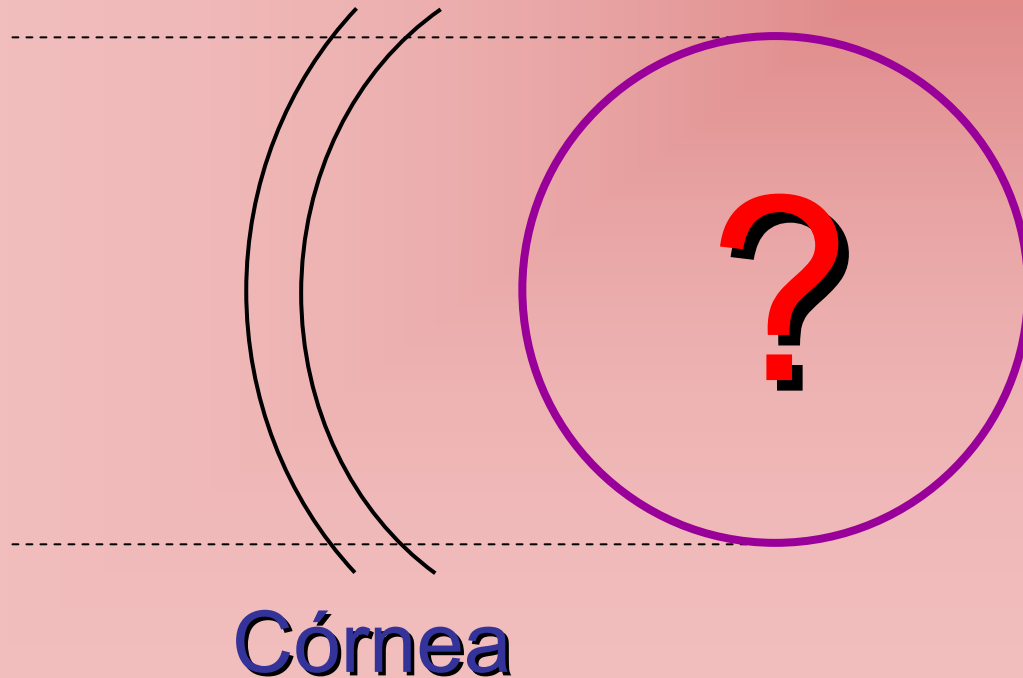
# Cirugía corneal II



## Cirugía queratorefractiva láser

Queratectomía fotorefractiva (PRK):

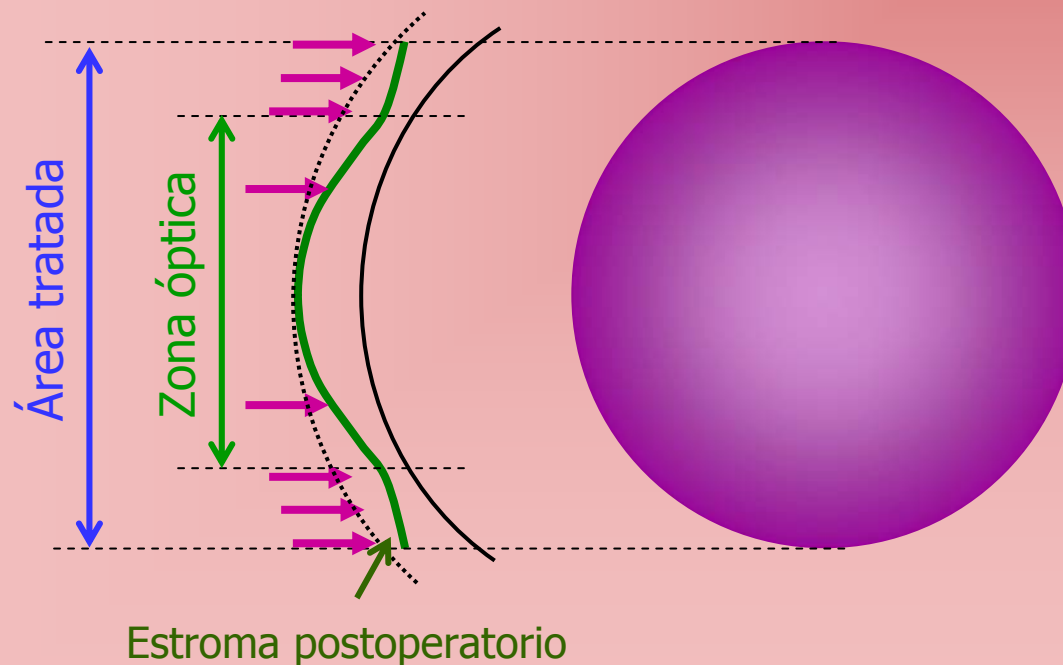
¿Corrección hipermetrópica?



## Cirugía queratrefractiva láser

### Queratectomía fotorefractiva (PRK)

### Corrección hipermetrópica



El tratamiento de la hipermetropía se basa en eliminar un anillo externo de tejido.

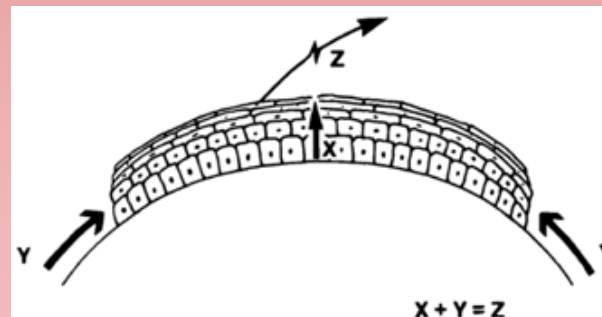
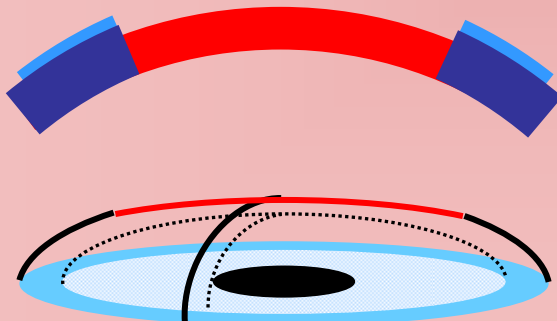
Pero para ello, la zona óptica será menor que la zona tratada.

## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

### Queratectomía fotorefractiva (PRK)

El tratamiento farmacológico busca prevenir infecciones y facilitar la reepitelización.

El epitelio se repara en pocos días, gracias a la migración de células del borde no tratado.

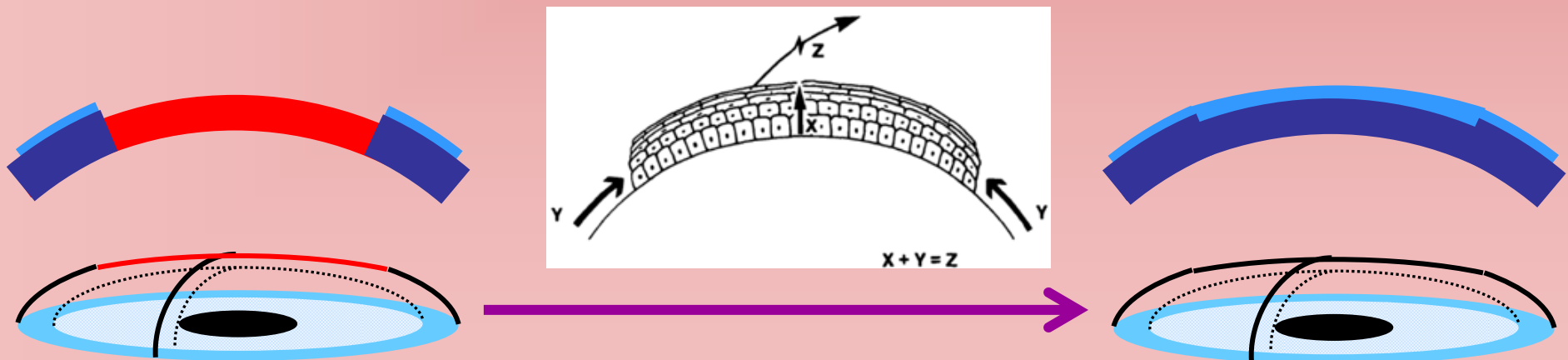


[Thoft y Friend, 1983]

## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

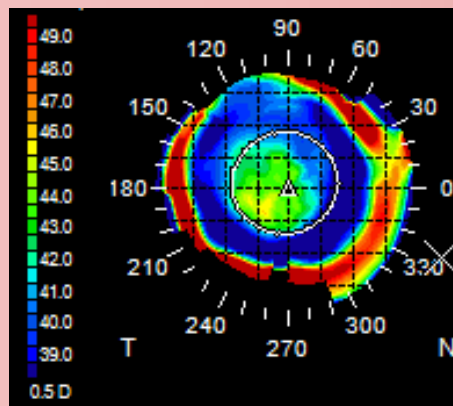
### Queratectomía fotorefractiva (PRK)

- El epitelio va a recuperar aproximadamente su forma de película sobre el estroma modificado.
- De este modo, el cambio en la forma del estroma modifica la potencia de la córnea.

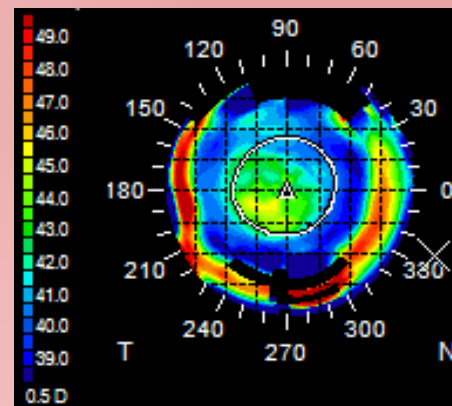


## Cirugía queratorefractiva láser

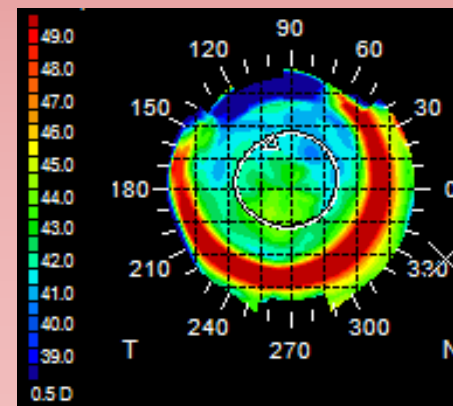
- El postoperatorio del PRK es largo y doloroso.
- Aunque el epitelio se repara en pocos días, la refracción puede tardar unos seis meses en estabilizarse.



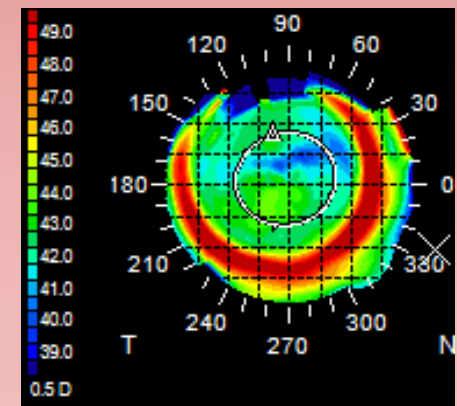
*1 semana*



*4 semanas*



*5 meses*



*2 años*



## Queratectomía asistida por láser (LASIK)



## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

### Queratectomía asistida por láser (LASIK)

- Era el resultado de unir la fotoablación del PRK con el corte previo del epitelio y el estroma anterior de la queratomileusis con microqueratomo (ALK).
- La intención era mejorar el postoperatorio ya que la ablación se realiza directamente sobre el estroma, sin destruir el epitelio ni la Bowman.

[Pallikaris *et al*, 1990]



## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

### Queratectomía asistida por láser (LASIK)

- Planteada por primera vez en 1990 por Pallikaris.
- Unión de la fotoablación del PRK con el corte previo del epitelio y el estroma anterior de la queratomileusis con microqueratomo (ALK).
- La FDA americana permite una corrección de hasta -14 D de miopía, +5 D de hipermetropía, y un astigmatismo de hasta 6 D.



## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

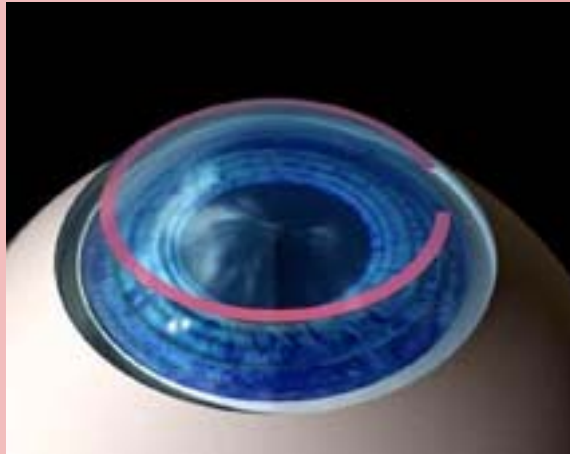
Queratectomía asistida por láser (LASIK).

- El espesor central medio de la córnea es de unas  $550 \mu\text{m}$ .
- Tras anestesiar la córnea, con el microqueratomo mecanizado se secciona una lámina de la cara anterior de la córnea de unas  $130\text{-}160 \mu\text{m}$  de espesor.

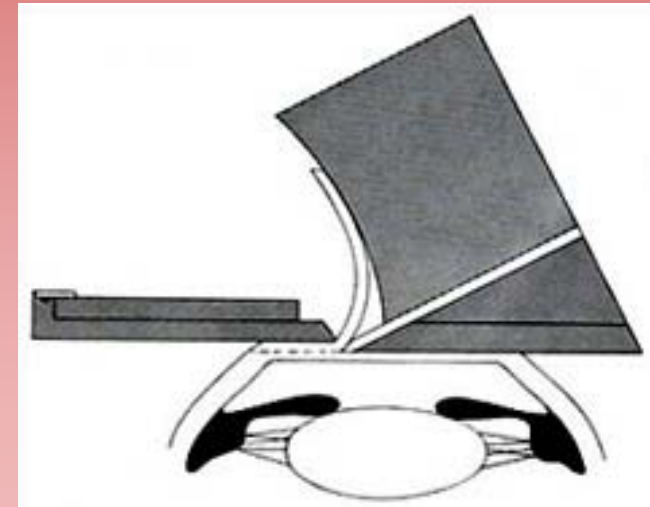


## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

### Queratectomía asistida por láser (LASIK)



*Profundidad de corte ( $\approx 150 \mu\text{m}$ )*



*Corte del flap o colgajo.*

[www.barraquer.com.co](http://www.barraquer.com.co)

## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

### Queratectomía asistida por láser (LASIK)



*Flap*

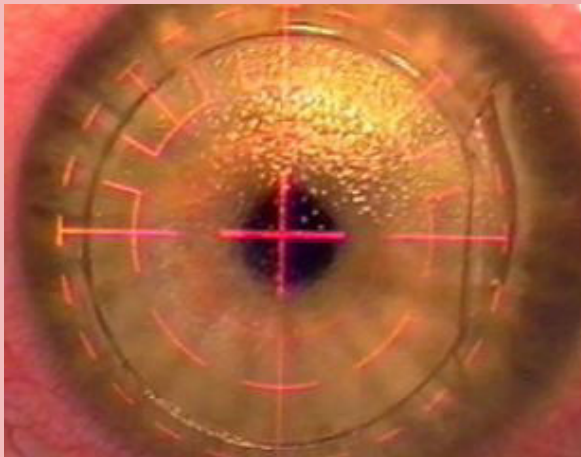
*Corneal flap*

*Estroma*

El flap se retira con cuidado usando unas pinzas, dejando al descubierto un área de 9-10 mm de estroma.

## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

### Queratectomía asistida por láser (LASIK)

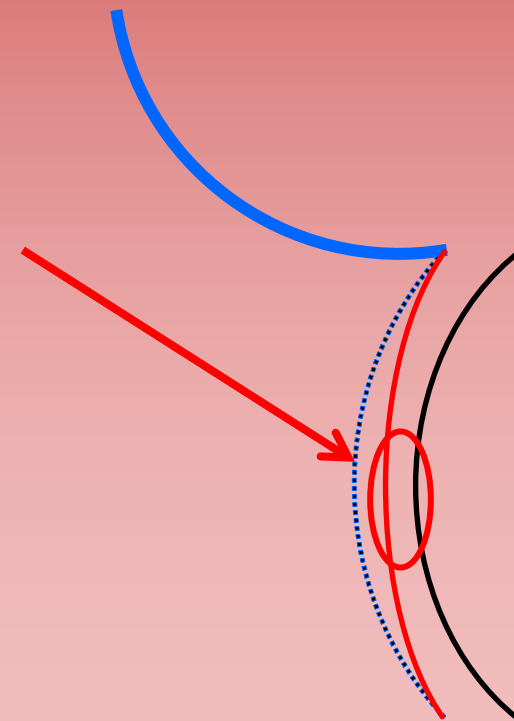


*Flap*

*Ablación*

*Lecho*

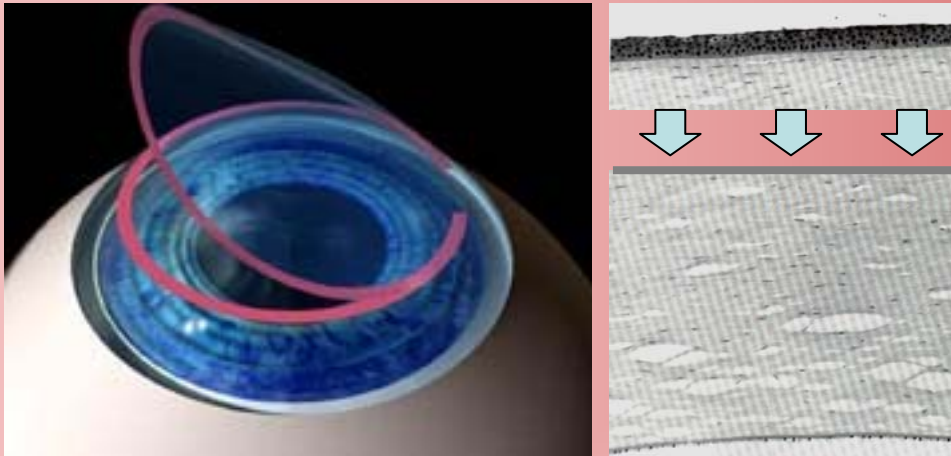
*estromal*



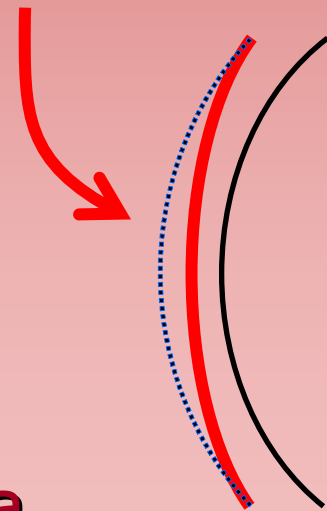
Con el excímero se esculpe el estroma, dejando al menos 250 micras de lecho estromal (RSD).

## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

### Queratectomía asistida por láser (LASIK)



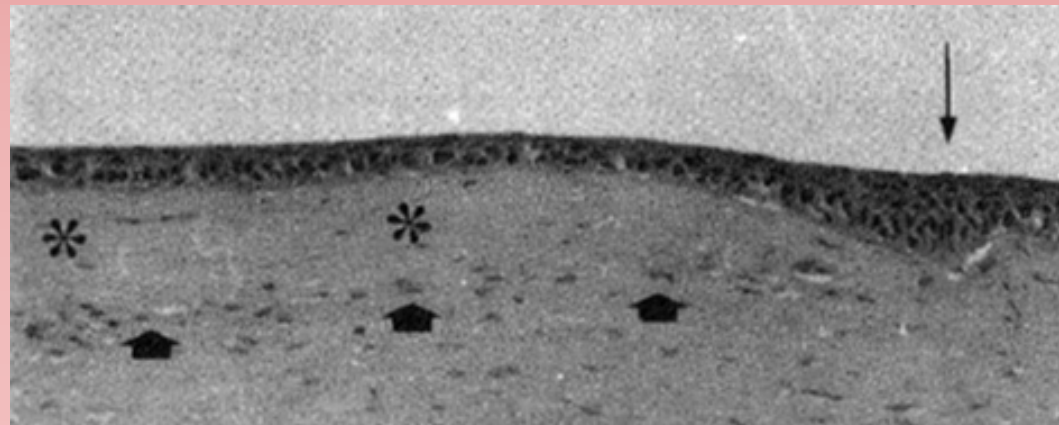
- Tras limpiar bien la zona tratada, el flap se sitúa sobre el estroma modificado.
- No es necesario realizar puntos de sutura.



## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

- El flap se adhiere por el borde epitelial (↓).
- Durante los siguientes meses, van a aparecer fibroblastos (▲) en la zona del corte del estroma.
- Al reponer el epitelio original, se consigue un postoperatorio poco problemático, sin apenas dolor ni mala visión.

*Imagen de microscopía electrónica de un estroma tratado con LASIK*



[Pallikaris *et al*, 1990]



## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

Tras el LASIK es común que aparezcan molestias:

- **Sensación de ojo seco**, ligada a un descenso de calidad lagrimal, por el corte de los nervios en el epitelio.
- **Leve pérdida de sensibilidad al contraste**, por cierta turbidez ligada a la inflamación estromal.
- **Estas molestias tienden a remitir en unos meses.**



## Cirugía queratorefractiva láser: técnicas

- El mayor problema del LASIK, es que **compromete la biomecánica corneal**, pues además de esculpir la **córnea**, se secciona el estroma anterior.
- Pueden aparecer **cambios en el error refractivo**, ligados a cambios en la forma de la **córnea**, como las **regresiones miópicas** o la **ectasia corneal**.
- Aumentan las aberraciones, y disminuye la BCVA.



# Cirugía corneal II



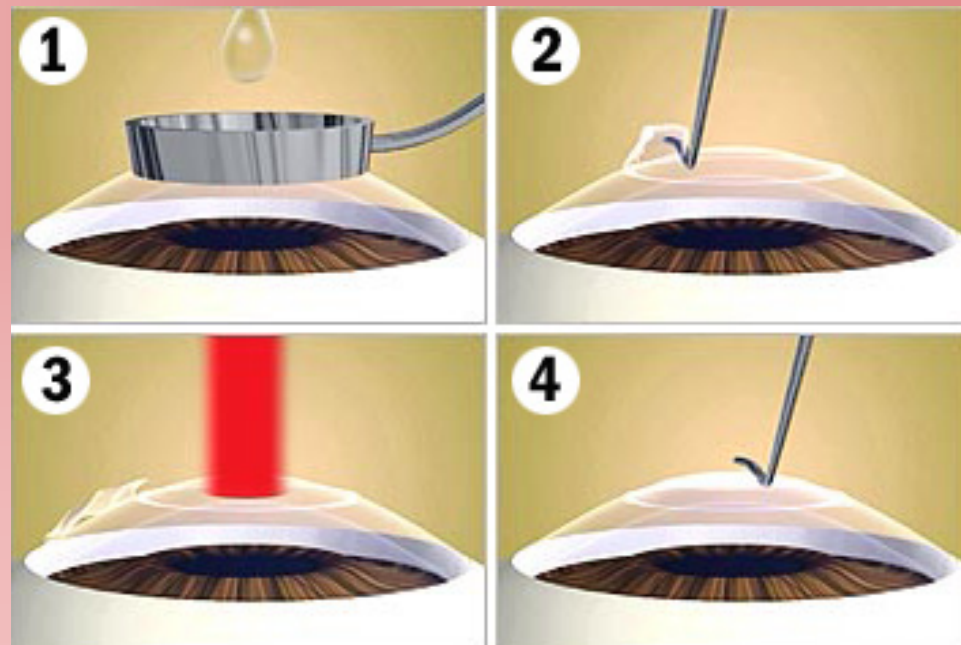
## Queratectomía subepitelial asistida por láser (LASEK)

# Cirugía corneal II



## Queratectomía subepitelial asistida por láser (LASEK)

- El epitelio se retira, para reponerlo una vez que ha terminado la ablación.
- Esto permite trabajar directamente sobre el estroma anterior, maximizando el lecho estromal.



*Procedimiento en LASEK*

[Cimberle *et al*, 2000]



## Queratectomía subepitelial asistida por láser (LASEK)

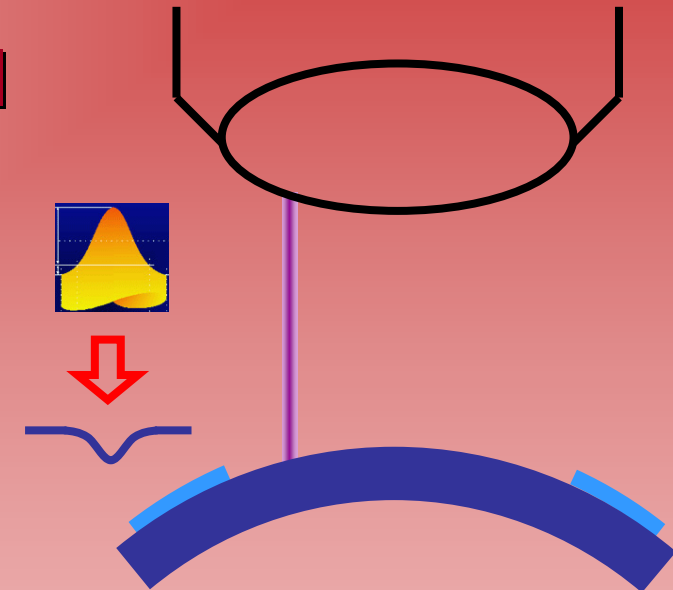
- Propuesto en el 2000 como alternativa al LASIK y al PRK, al unir las ventajas de ambas técnicas.
- En vez de un microqueratomo se utiliza un trepano y alcohol para ablandar y retirar el epitelio.
- Los diversos problemas de reponer el epitelio dañado por el alcohol han llevado a simplemente descartarlo y realizar un PRK.
- La alternativa es realizar un EpiLASIK.



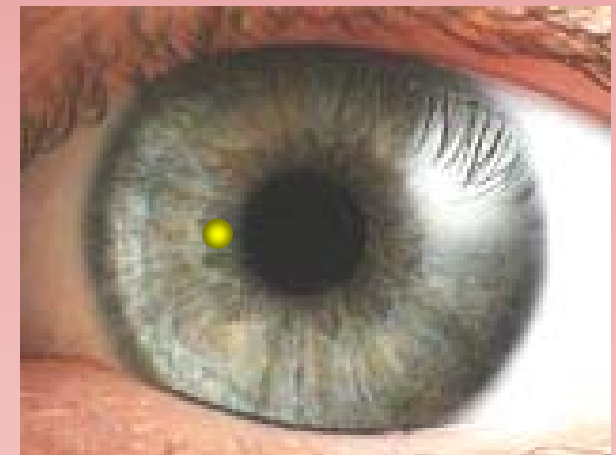
## Mejoras en las técnicas de esculpido láser

## Mejoras en las técnicas de esculpido láser

- La más importante mejora fue el sustituir el láser de *broad-beam*, por uno de *floating-spot*.
- La distribución de energía del haz tiene forma de gaussiana.

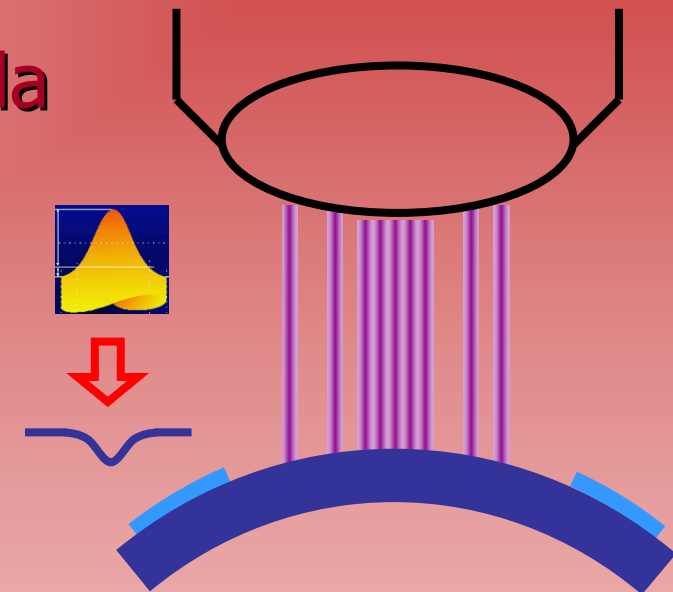


*Excavación causada por un impacto controlado de un excímero de punto flotante.*

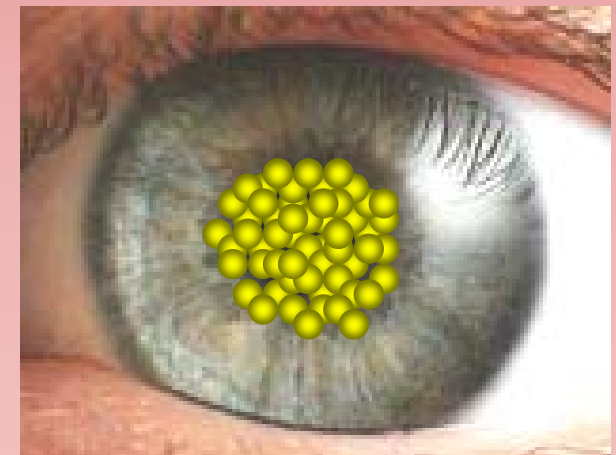


## Mejoras en las técnicas de esculpido láser

El haz puntual se proyecta en cada punto de la córnea el número de veces necesario para obtener la excavación deseada.

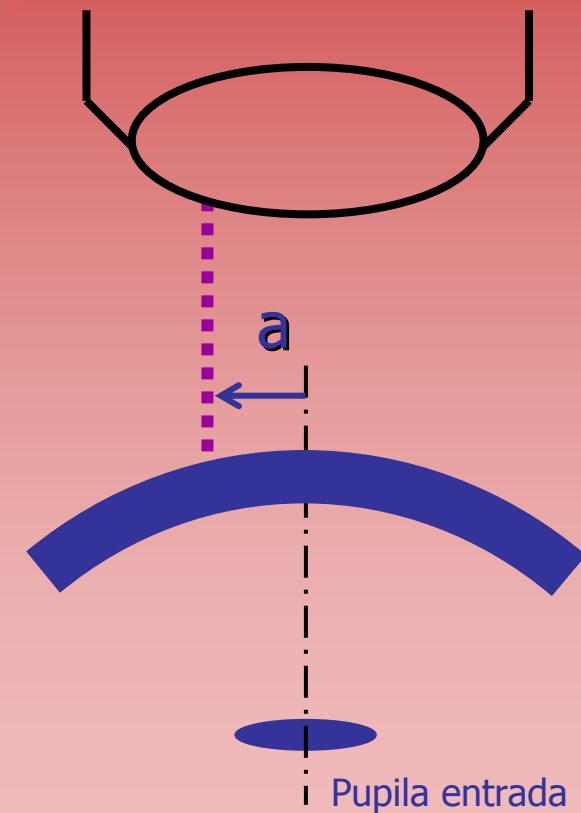


*Ablación estromal mediante combinación de un número limitado de impactos puntuales.*



## Mejoras en las técnica de esculpido láser

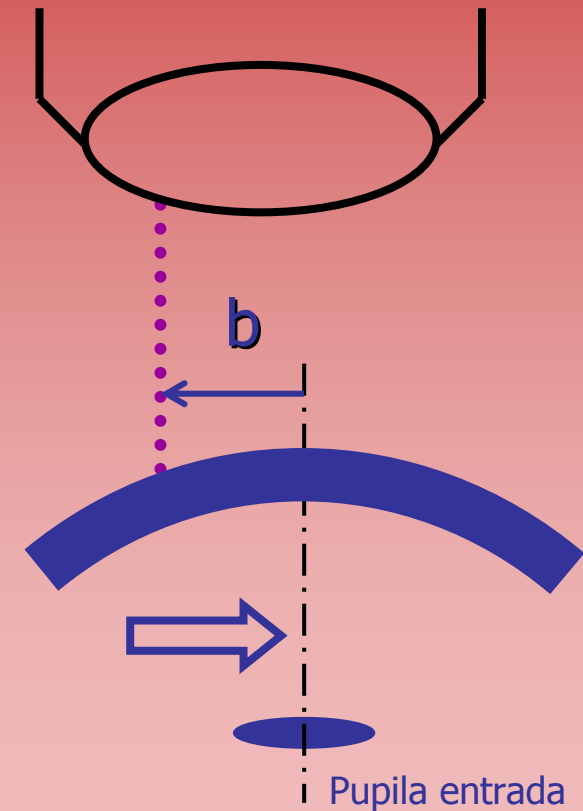
- Para asegurar que cada impacto del láser alcanza el sitio establecido, el sistema incluye un sistema de seguimiento pupilar (*eye-tracker*).



*Zona de impacto prevista del láser.*

## Mejoras en las técnicas de esculpido láser

- Para asegurar que cada impacto del láser alcanza el sitio establecido, el sistema incluye un sistema de seguimiento pupilar (*eye-tracker*).

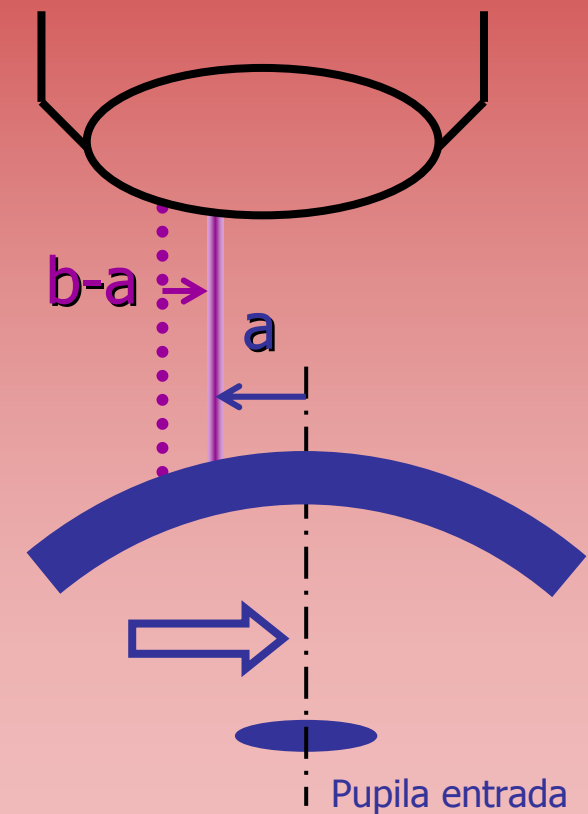


*Movimiento del ojo y detección del eye-tracker.*



## Mejoras en las técnicas de esculpido láser

- El eye-tracker detecta la posición de la pupila y rectifica la posición de impacto del láser para compensar ese desplazamiento del ojo.
- Este no utiliza máscaras, sino un sistema de proyección de haces puntuales, lo que permite realizar casi cualquier tipo de ablación.



*Corrección en la dirección del láser.*



## *IntraLasik*



## *IntraLasik*

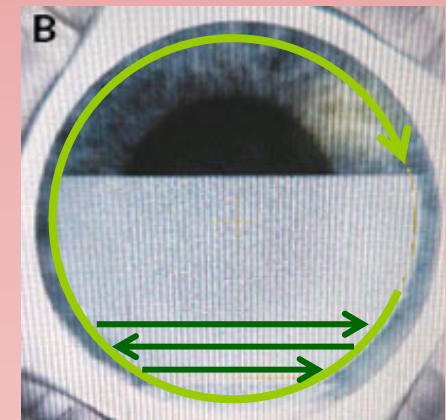
- Los avances técnicos siempre han tenido el límite del corte quirúrgico del flap corneal, que presenta algunos *handicaps* como riesgo de mal corte, cortes parciales, inexactitud en el espesor del flap...
- Los sistemas de láser pulsado de altísima frecuencia son utilizados como sistemas de corte en todo tipo de cirugías, no sólo refractiva sino incluso en el corte del tejido donante en trasplante de córnea.

[Porter *et al*, 2003] [Kezirian y Stonecipher, 2004]

## *IntraLasik*

- Se utiliza el láser como bisturí, para cortar el estroma a la profundidad exacta.
- Tras aplanar la córnea completamente, el láser corta el borde del flap, y va sucesivamente creando una malla de pequeñas burbujas.

*Creación del flap con IntraLase.*

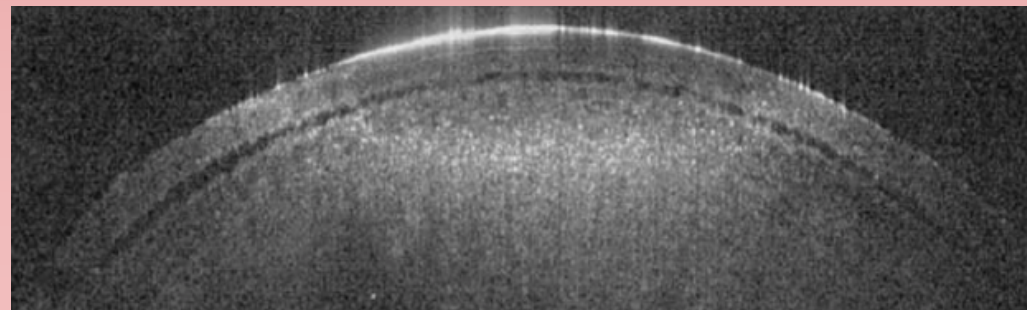




## *IntraLasik*



- El flap se desprende rasgando el espacio entre las burbujas.
- Intralase permite hacer cualquier corte corneal con gran precisión.
- Esto permite hacer un corte exacto a una menor profundidad ( $\approx 120 \mu\text{m}$ ) que el microqueratomo ( $\approx 160 \mu\text{m}$ ).



[Tran *et al*, 2005]



## *IntraLasik*

Algunos defectos que se le achacan son:

- La alta presión a que se debe someter el ojo para aplanarlo.
- El elevado coste económico de usar un láser para el corte, y otro para la ablación.
- Los problemas que suponen el desgarrar la interfaz flap-estroma.
- Un posible aumento de la difusión postoperatoria.



## Anillos intraestromales

## Anillos intraestromales

Generalmente se utiliza para:

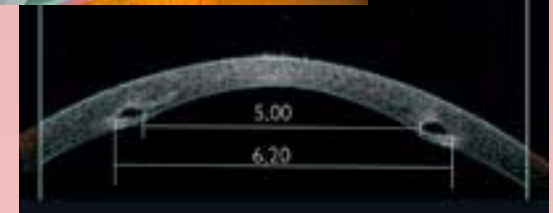
- Reforzar la resistencia mecánica corneal, en casos de queratocono o de ectasia corneal.
- Para aplanar la córnea y corregir una miopía leve.



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



*Creación del surco.*







## Trasplante de córnea



## Trasplante de córnea

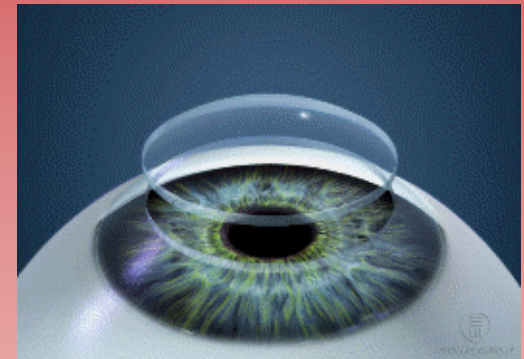
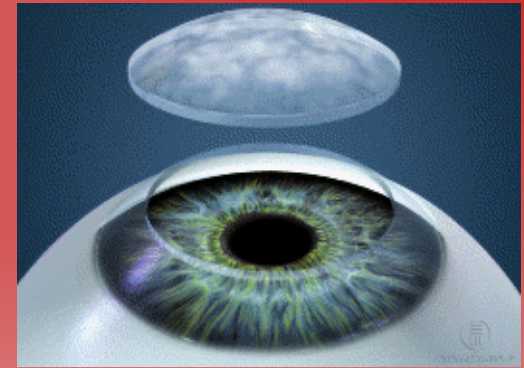
- Es una opción de último recurso cuando la calidad visual está comprometida por una deformidad u opacidad corneal como queratocono, cicatrices corneales o casos de distrofia de Fuchs.
- El postoperatorio se alarga en torno a un año.
- Los resultados comportan comúnmente la presencia de un fuerte astigmatismo, muchas aberraciones de alto orden, y una BCVA de en torno a 0,5 ó 0,6.

# Cirugía corneal II



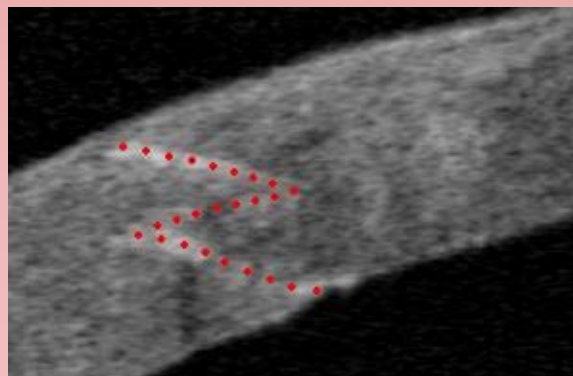
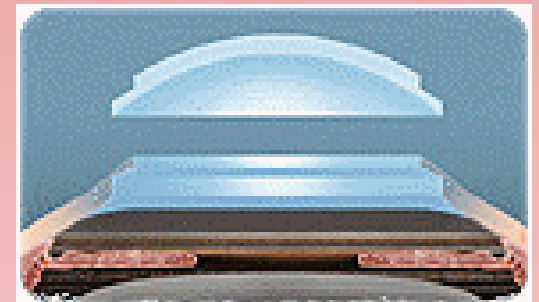
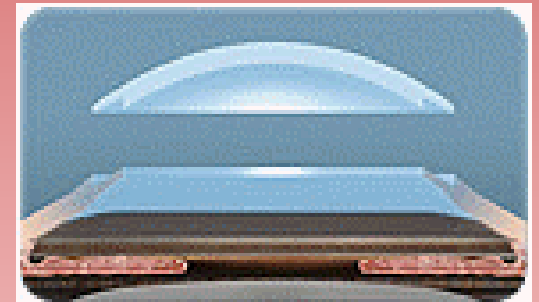
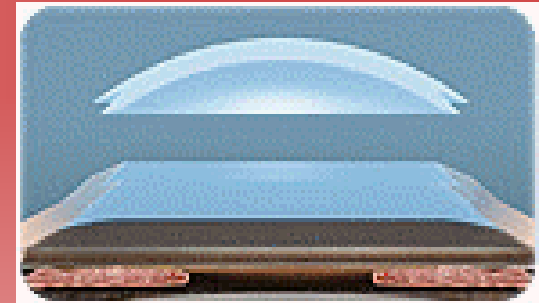
## Trasplante de córnea

- Primero se retira el área problemática de la córnea receptora, y se corta el injerto del donante.
- Se inserta el injerto y se cose a la ventana.
- Los tipos de sutura más habituales son el continuo (ejemplo) y el discontinuo de 16 puntos.



## Trasplante de córnea

- El corte corneal realizado con láser como el *Intralase* es más preciso que con el trepano.
- Además permite crear biseles tanto en la ventana como en el injerto, lo que facilita el cosido y adhesión corneal.



*OCT cámara anterior  
(VISANTE)*



## *Cross-linking*



## *Cross-linking*

- En el queratocono se produce una paulatina pérdida de estabilidad mecánica del estroma.
- Esto provoca un abombamiento inferior de la córnea que provoca una muy mala calidad visual.



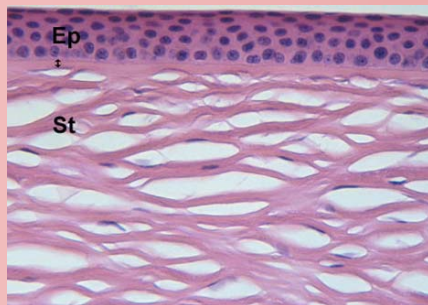
## *Cross-linking*

- En el queratocono se produce una paulatina pérdida de estabilidad mecánica del estroma.
- Esto provoca un abombamiento inferior de la córnea que provoca una muy mala calidad visual.
- **El cross-linking es una técnica reciente para el tratamiento preventivo del queratocono.**
- **La idea es reforzar la unión entre las fibras de colágeno, y evitar el *bumping* corneal.**



## *Cross-linking*

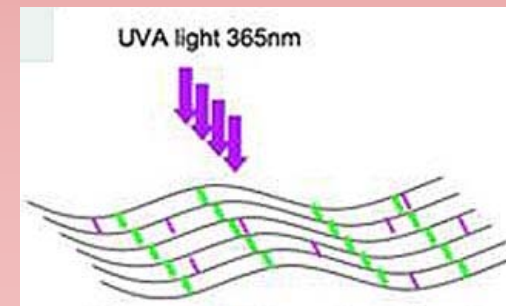
- El tratamiento consta de varias sesiones, en cada una de las cuales se retira el epitelio, se instilan unas gotas de riboflavina (B2) sobre el estroma y se ilumina con UV de 375 nm durante 30 minutos.
- La riboflavina sensibiliza al colágeno, formando nuevos puentes entre las fibras.



[ucdavis.edu](http://ucdavis.edu)



[cornea.org](http://cornea.org)



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





## Cirugía Corneal:

Cirugía corneal I. Cirugía refractiva y papel del optometrista.

Cirugía corneal II. Cirugía queratorefractiva: teoría y técnicas.

**Cirugía corneal III. Cálculos preoperatorios y resultados de la cirugía.**



## Corrección óptica con cirugía queratorefractiva



## Corrección óptica con cirugía queratorefractiva

- Se puede corregir una gran parte de los errores refractivos modificando la potencia corneal de forma controlada.
- El único modo es modificar convenientemente el radio de curvatura corneal.

$$\text{Queratometría (Q)} = P_{\text{CO}} = \frac{n_{\text{CO}} - n_{\text{air}}}{r_{\text{CO}}}$$



## Corrección óptica con cirugía queratorefractiva

- La corrección obtenida depende del cambio que se provoque en la curvatura corneal.
- Se calcula en base a la queratometría preoperatoria y la corrección que se desea obtener en el plano corneal.

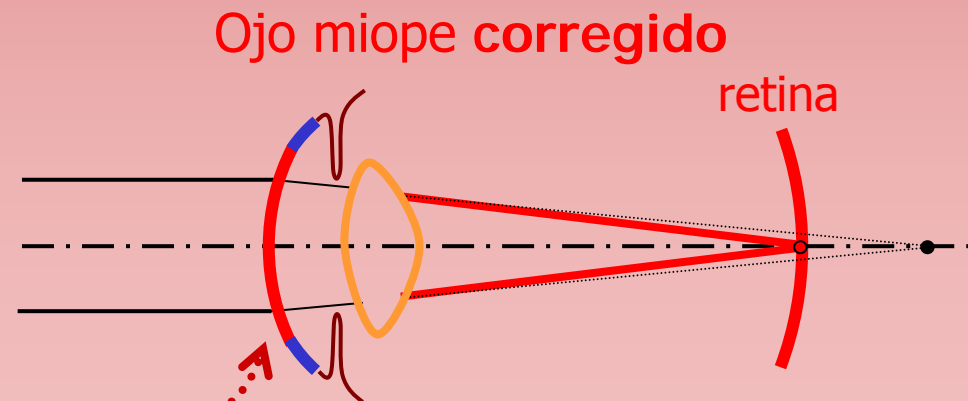
$$\text{Corrección} = Q_{\text{Pos}} - Q_{\text{Pre}} = \left( \frac{n_{\text{CO}} - n_{\text{air}}}{r_{\text{Pos}}} \right) - \left( \frac{n_{\text{CO}} - n_{\text{air}}}{r_{\text{Pre}}} \right)$$

## Corrección óptica con cirugía queratorefractiva

Aumentando el radio de curvatura corneal, se aplana la superficie corneal, disminuyendo la potencia corneal y se corrigiendo la **miopía**.

$$\downarrow P_{CO} = \frac{0.377}{r_{CO} \uparrow}$$

PR  
•

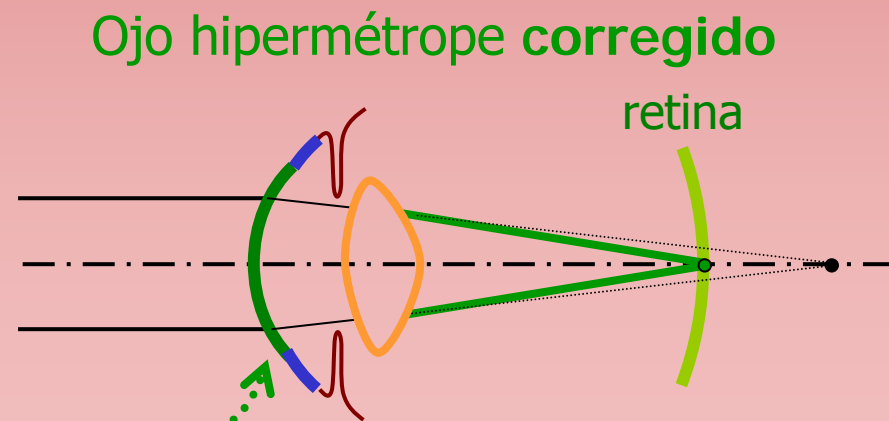


## Corrección óptica con cirugía queratorefractiva

Reduciendo el radio de curvatura corneal se aumenta la potencia de la córnea, y se corrige la hipermetropía.

$$\uparrow P_{CO} = \frac{0.377}{r_{CO} \downarrow}$$

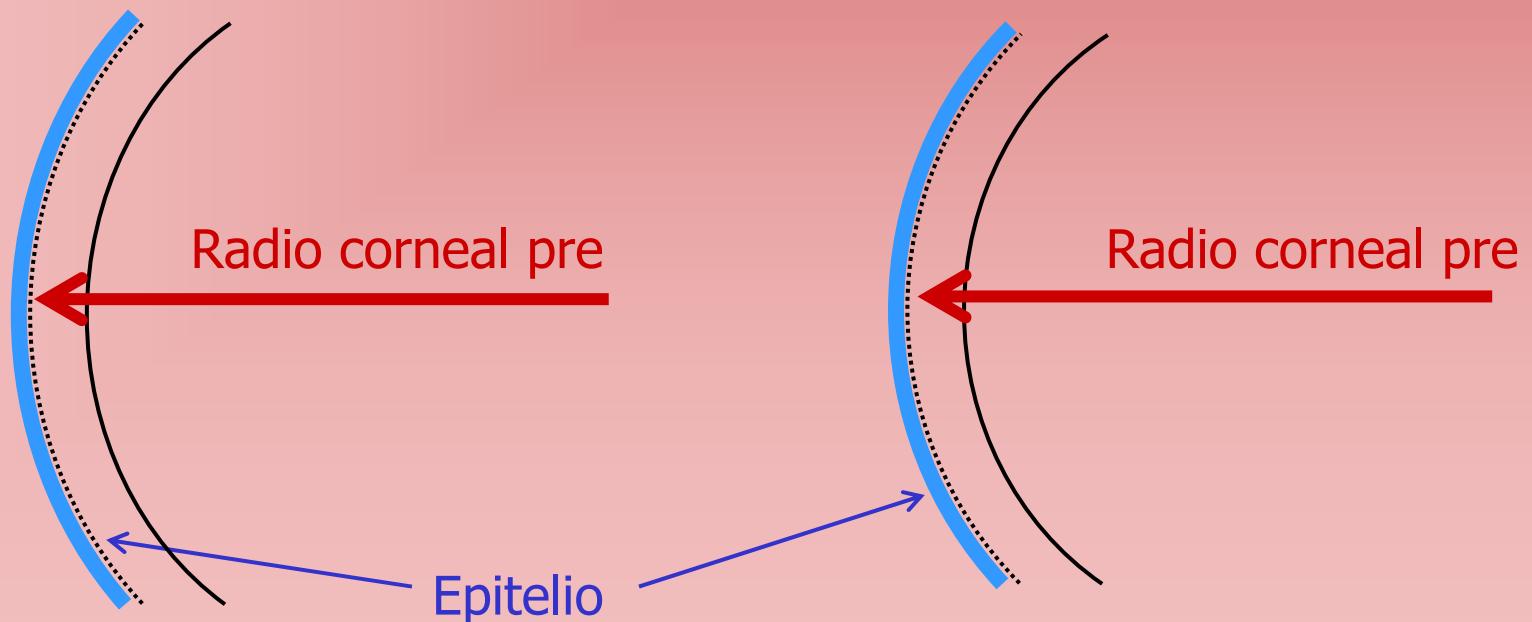
PR  
•





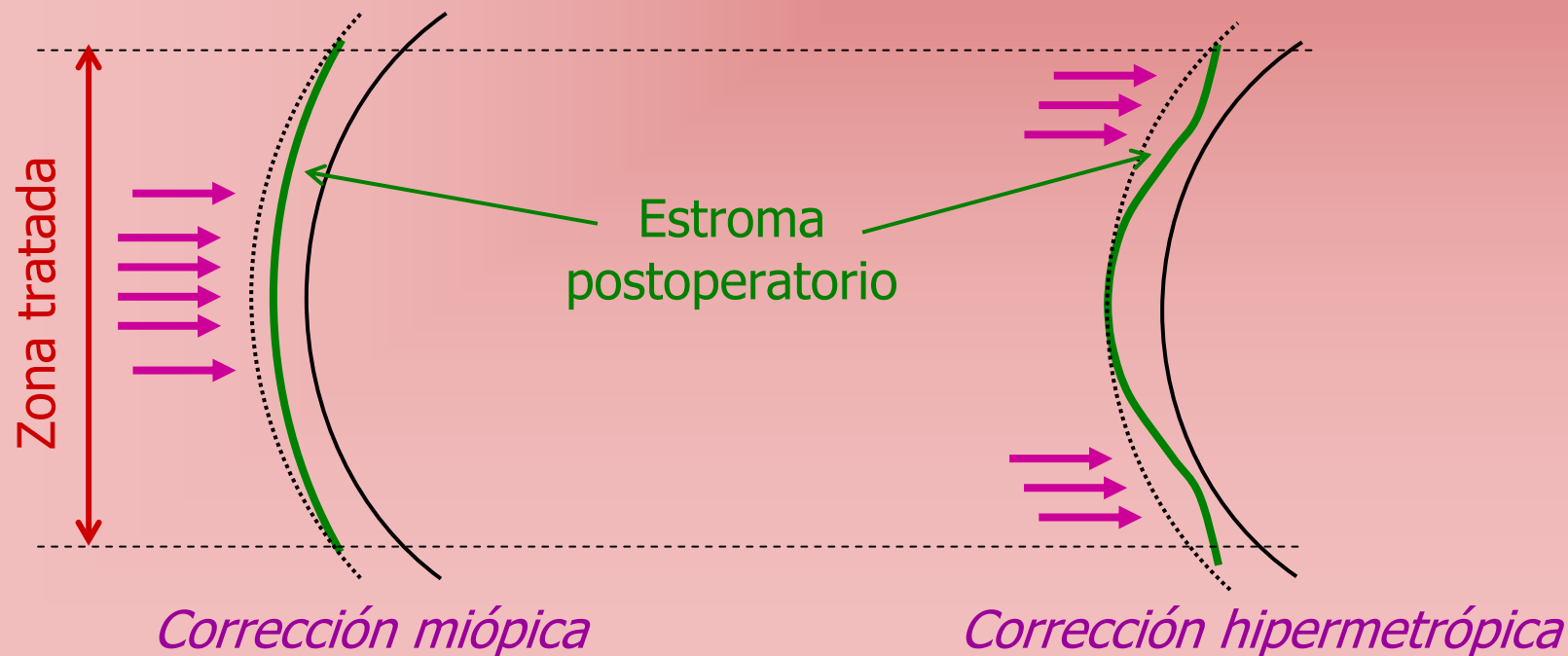
## Corrección de la ametropía esférica

En la corrección de una ametropía esférica se modifica la curvatura corneal en una zona óptica uniforme.



## Corrección de la ametropía esférica

Dependiendo del tipo de ametropía a corregir, hay que destruir más tejido en el centro (miopía) o en la periferia (hipermetropía.)

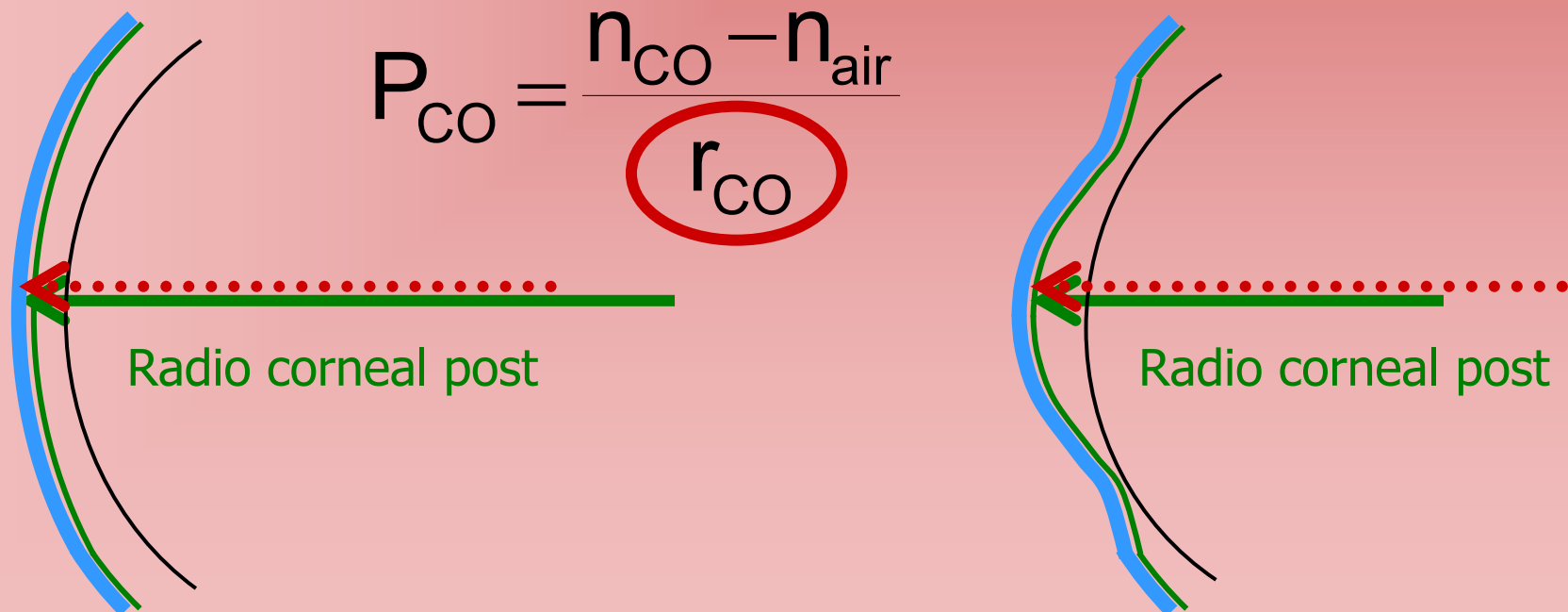






## Corrección de la ametropía esférica

La mejora visual se obtiene cuando el epitelio vuelve a recubrir la zona óptica.



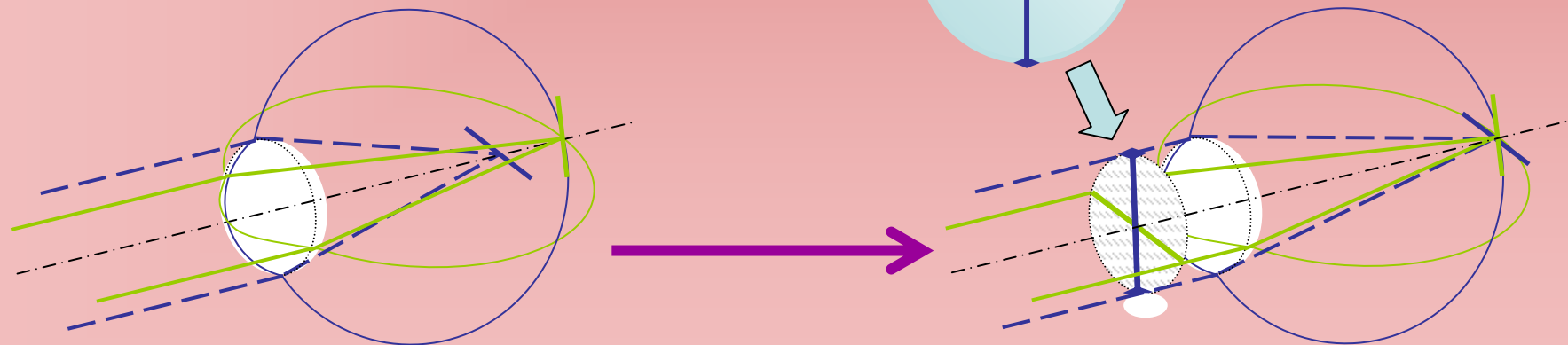


## Corrección del astigmatismo; ablación tórica

## Corrección del astigmatismo

- El astigmatismo ocular suele ser similar al corneal.
- Se compensa utilizando dos potencias diferentes en cada meridiano principal del ojo.

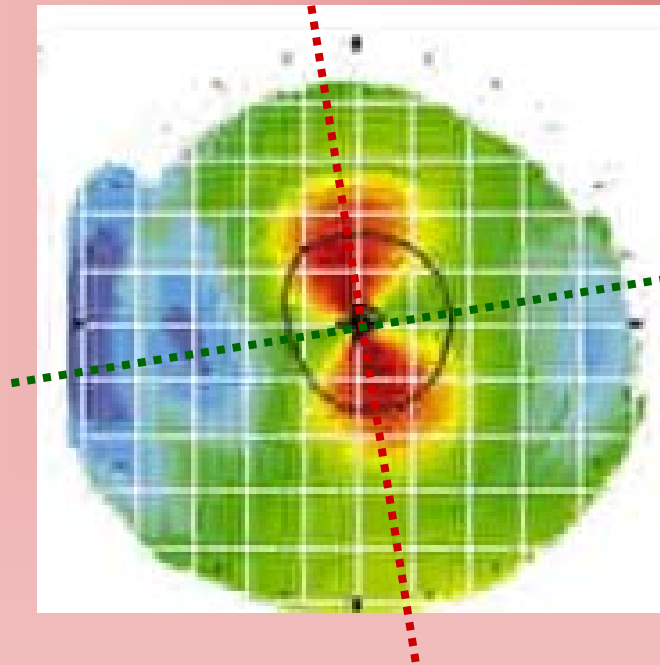
$$P_{\text{Hor}} > P_{\text{Ver}} \rightarrow \frac{(n'-n)}{r_{\text{Hor}}} > \frac{(n'-n)}{r_{\text{Ver}}}$$





## Corrección quirúrgica del astigmatismo

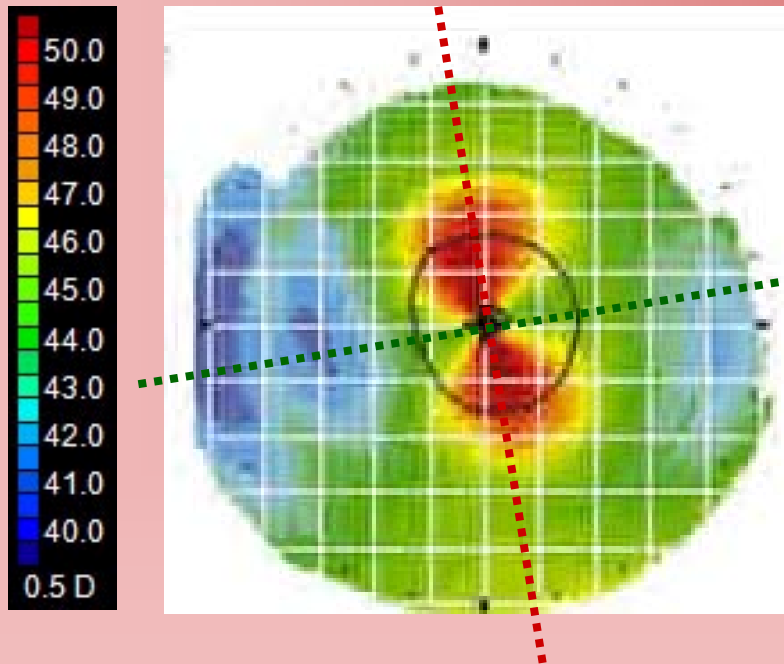
- La corrección quirúrgica busca eliminar la diferencia de curvatura entre meridianos corneales





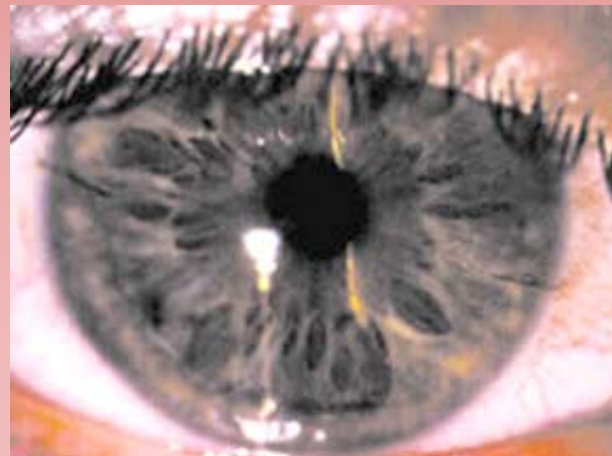
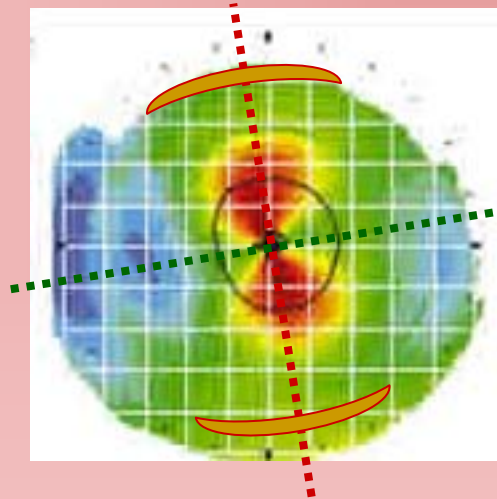
## Corrección quirúrgica del astigmatismo

- La corrección quirúrgica busca eliminar la diferencia de curvatura entre meridianos corneales



## Corrección quirúrgica del astigmatismo

- La corrección quirúrgica busca eliminar la diferencia de curvatura entre meridianos corneales
- Para ello se secciona con un media luna los extremos del meridiano de mayor potencia.





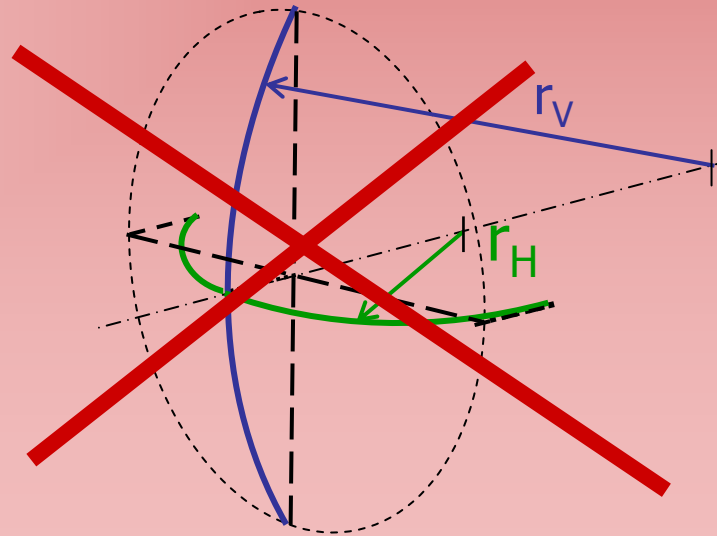
## Corrección láser: ablación tórica

- En cirugía refractiva láser se retoca únicamente la superficie corneal anterior.
- Esto condiciona la ablación, ya que el espesor de centro y de borde del tejido eliminado debe ser el mismo en ambos meridianos.



## Corrección láser: ablación tórica

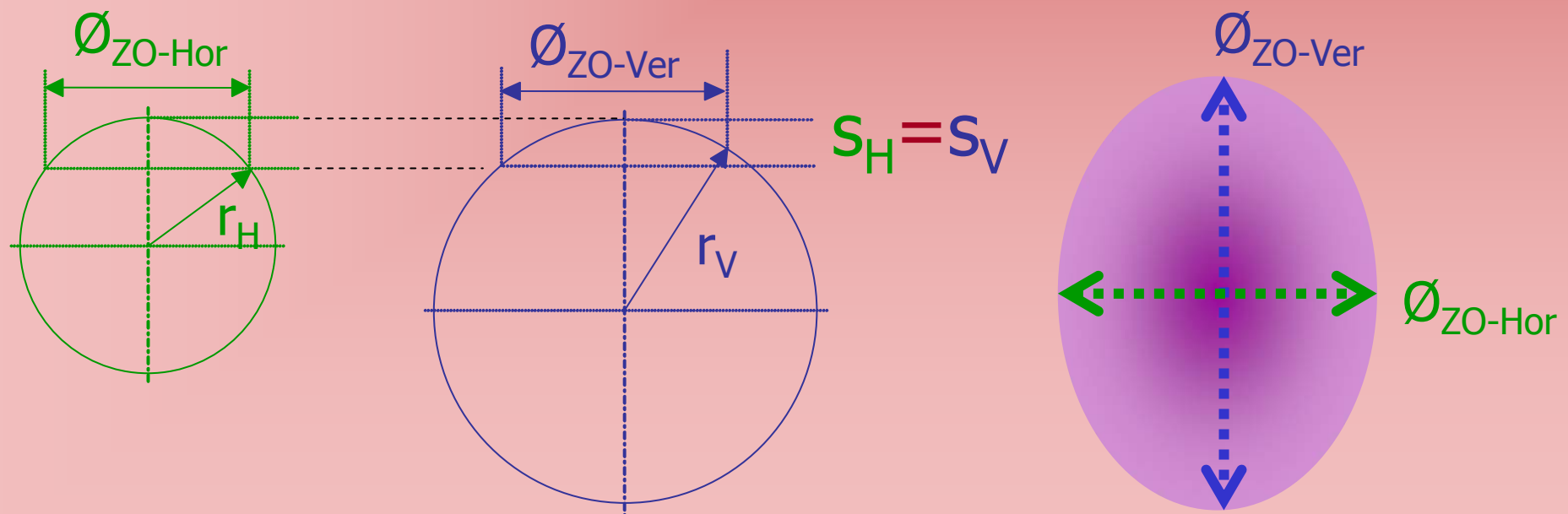
La nueva superficie sin astigmatismo corneal debe tener el mismo espesor de centro, y el mismo espesor de borde.





## Corrección láser: ablación tórica

La forma más simple de lograr que los espesores sean iguales es cambiando el tamaño de zona óptica, haciendo una ablación con forma elíptica.

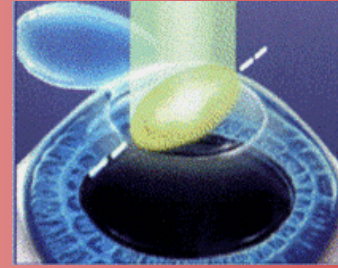


# Cirugía corneal III



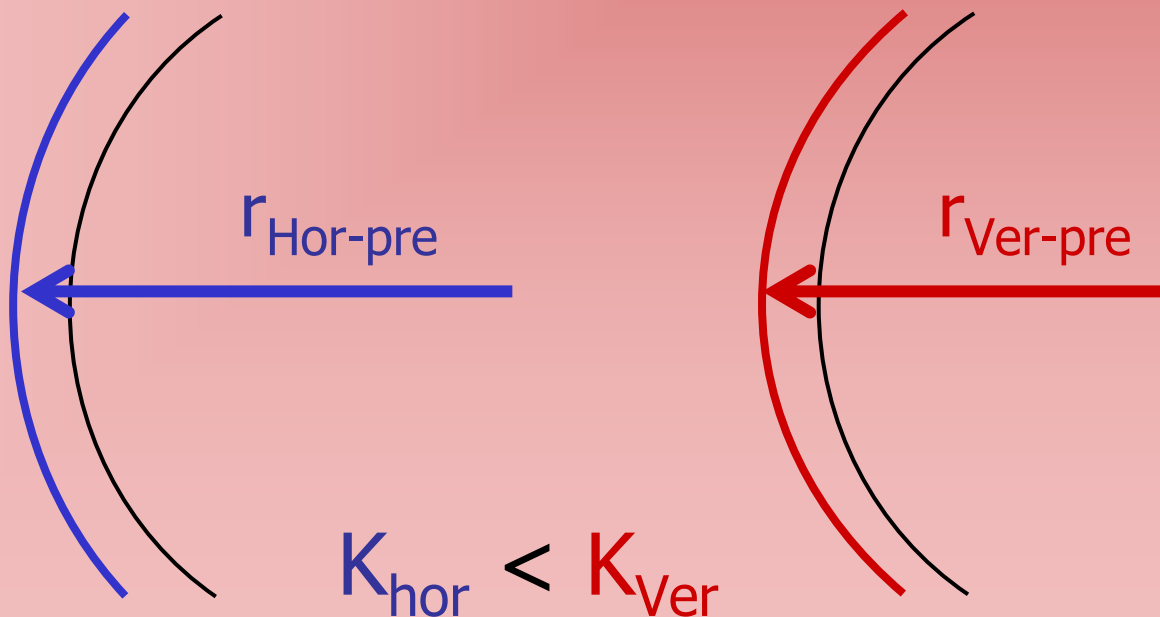
## Patrón de ablación tórico

# Cirugía corneal III



## Patrón de ablación tórico

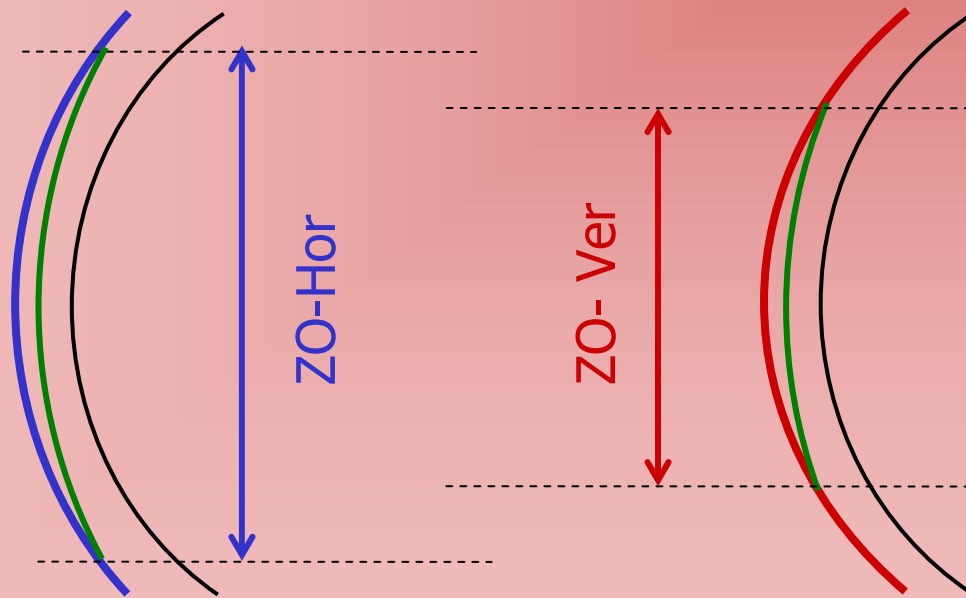
El astigmatismo corneal se produce porque la potencia de los meridianos principales de la córnea ( $K$ ) es diferente.





## Patrón de ablación tórico

La corrección del astigmatismo supone tener dos diámetros de zona óptica



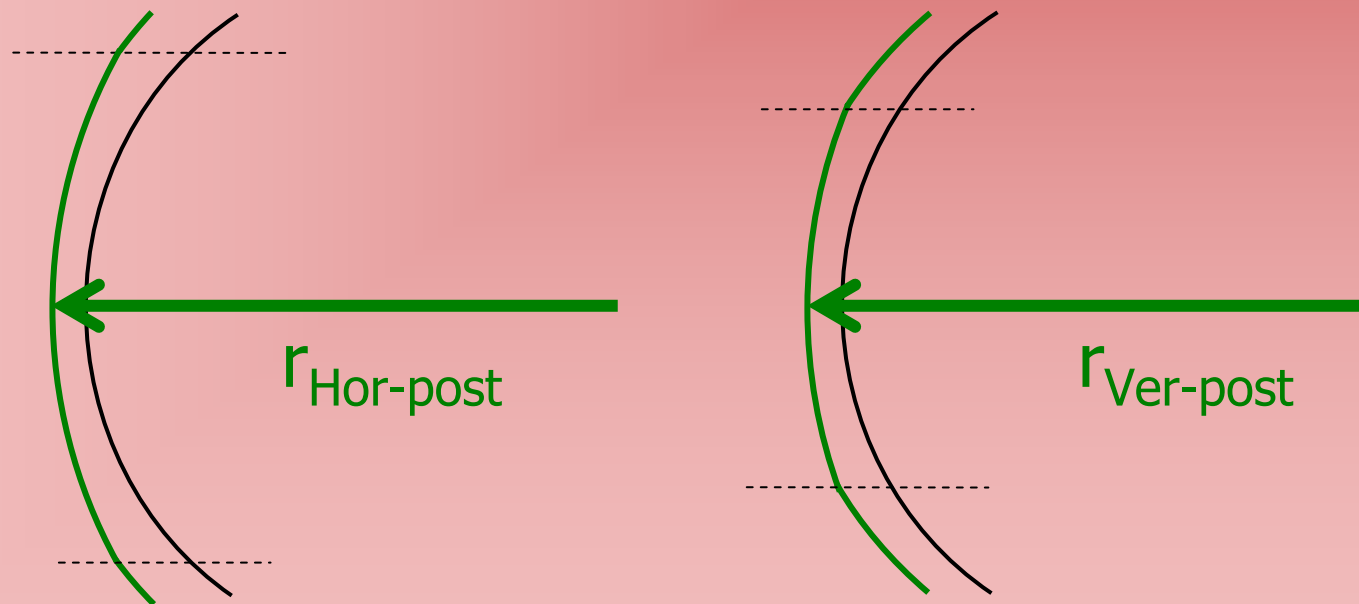
$$\Phi_{ZO-Hor} > \Phi_{ZO-Ver}$$





## Patrón de ablación tórico

El objetivo es obtener una primera superficie corneal de curvatura similar.



$$\text{si } \varphi_{\text{ZO-Hor}} > \varphi_{\text{ZO-Ver}} \rightarrow r_{\text{Hor-post}} = r_{\text{Ver-post}}$$

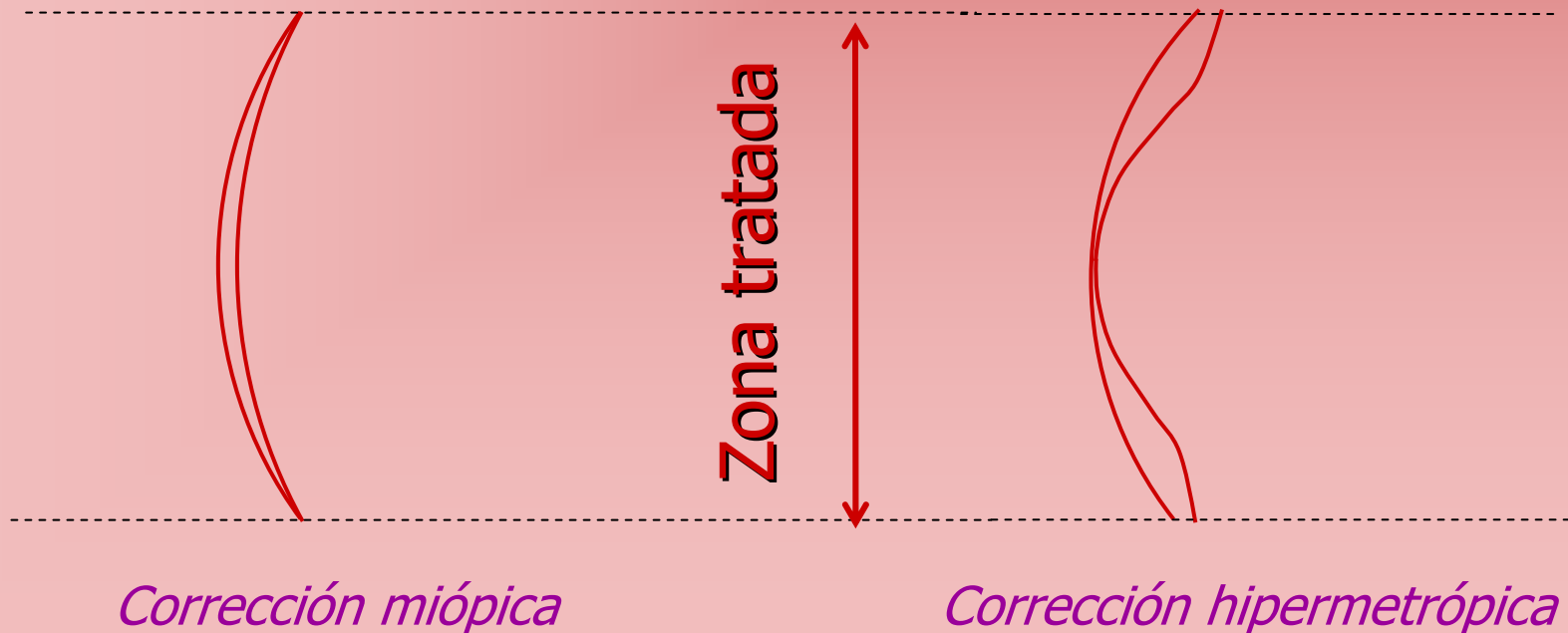


## Zona Tratada, Zona Óptica y Zona Funcional



## Zona Tratada

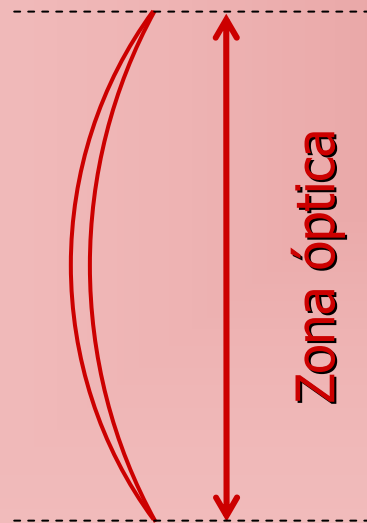
- Es el área donde se va a realizar la ablación.
- Incluye TODA la superficie tratada con el láser.



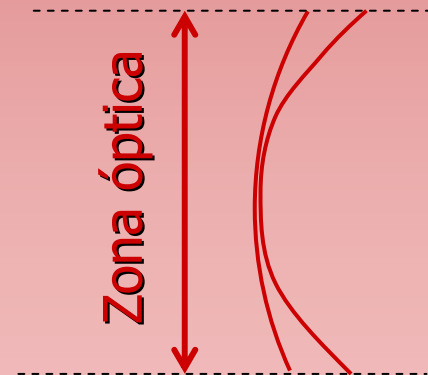


## Zona Óptica

Es el área donde se modifica la curvatura corneal, luego comprende únicamente el área donde se obtiene la corrección del error refractivo.



*Corrección miópica*

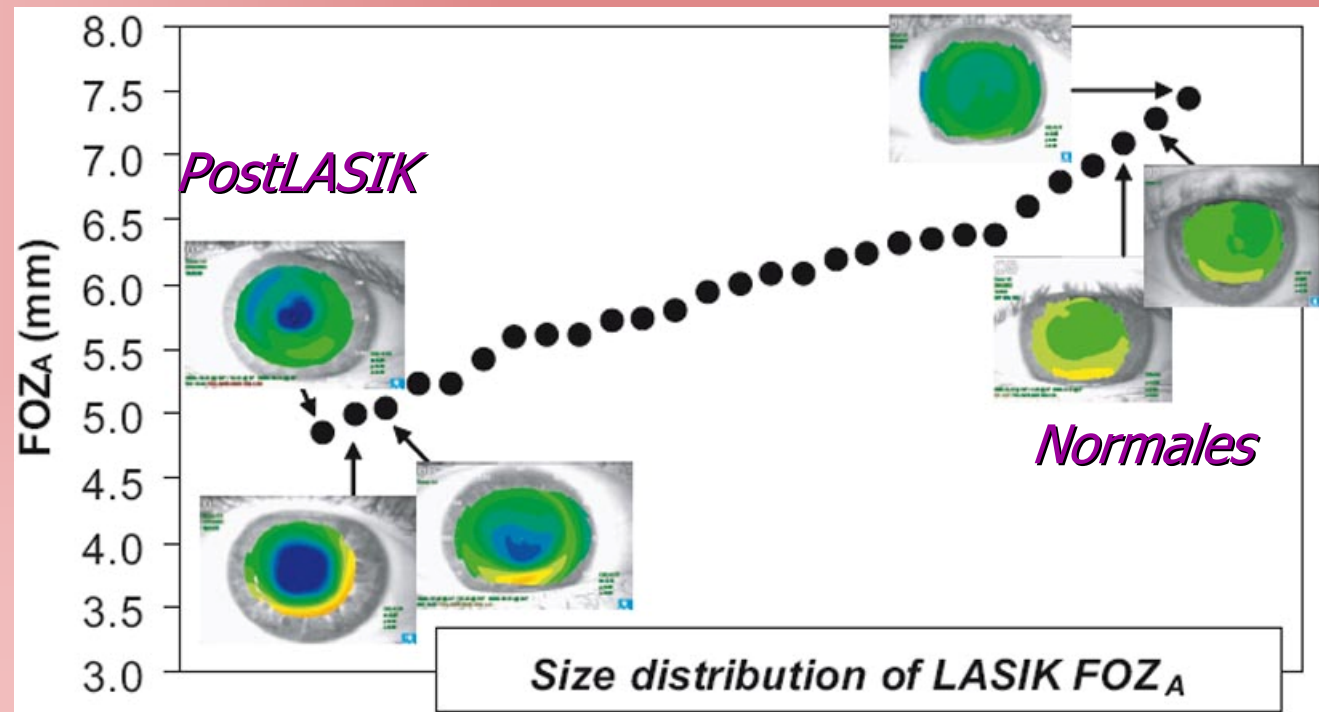


*Corrección hipermetrópica*



## Zona Óptica Funcional (FOZ)

- Área corneal con una calidad óptica similar.
- Indica la uniformidad de la superficie corneal, y disminuye tras cirugía refractiva.



[Tabernero  
*et al*, 2007]



## Cálculo de los parámetros en cirugía refractiva



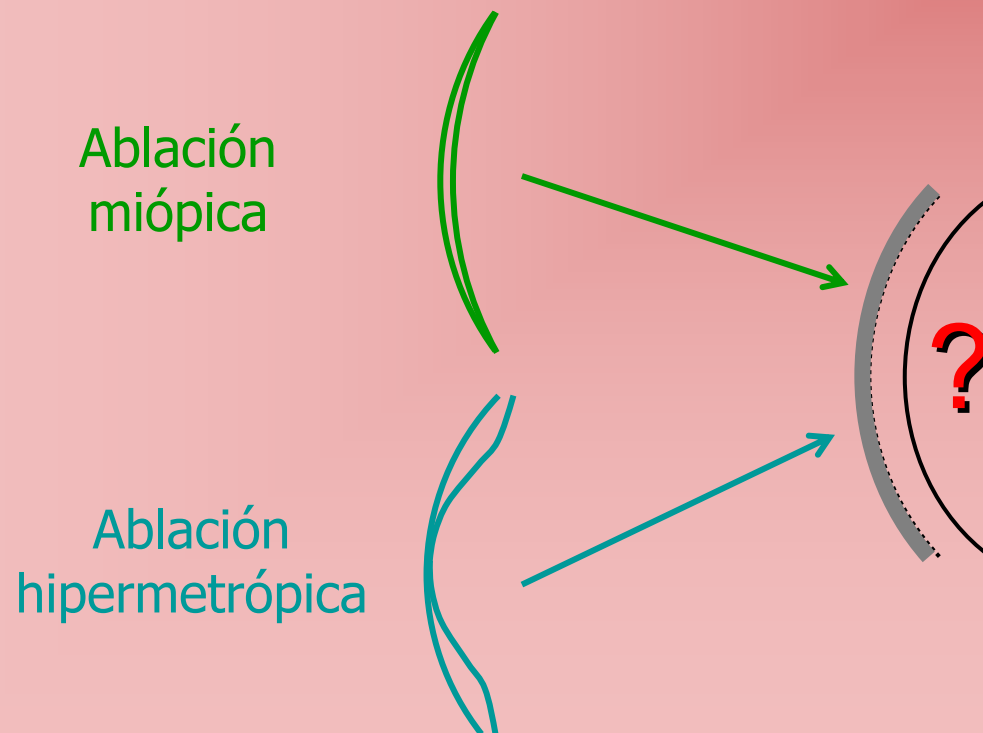
## Parámetros en cirugía queratorefractiva láser

El cambio en el tejido corneal puede suponer un riesgo para su integridad. Por ello, antes de hacer una cirugía láser, es muy importante conocer...



## Parámetros en cirugía queratorefractiva láser

El cambio en el tejido corneal puede suponer un riesgo para su integridad. Por ello, antes de hacer una cirugía láser, es muy importante conocer...

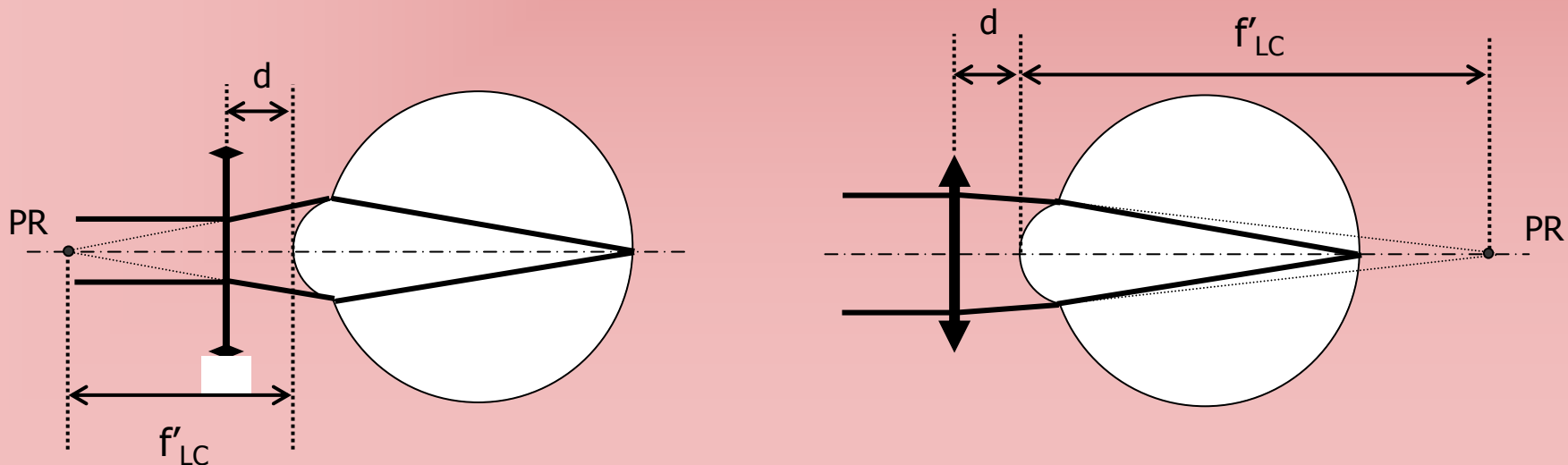


**El volumen de tejido que hay que eliminar, para asegurar la seguridad de la intervención.**

## Parámetros en cirugía queratorefractiva láser

El volumen de tejido a eliminar depende fundamentalmente de la corrección en plano corneal.

$$P_{\text{Plano córnea}} = \frac{P}{1 - |d| \cdot P}$$





## Parámetros en cirugía queratorefractiva láser

Una de las medidas previas que hay que realizar es medir d y calcular la corrección correcta.

$$P_{\text{Plano córnea}} = \frac{P}{1 - |d| \cdot P}$$



# Cirugía corneal III

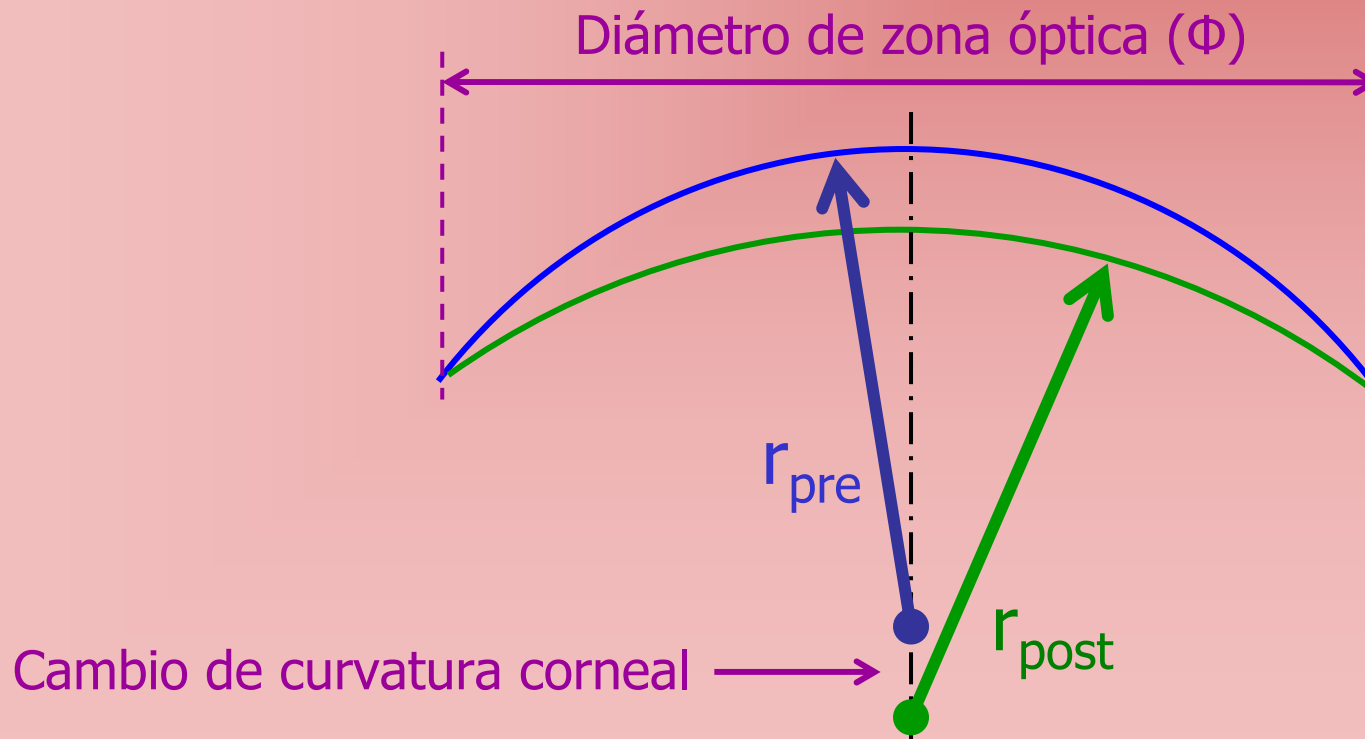


Cálculo de la profundidad de ablación:  
Fórmula de *Munnerlyn*



## Profundidad de la ablación

El volumen del tejido a eliminar depende del radio preoperatorio, de las dioptrías a corregir y del diámetro de zona óptica deseado.





# Cirugía corneal III



Cálculo de la profundidad de ablación:  
Fórmula de *Munnerlyn*



## Fórmula de *Munnerlyn* simple

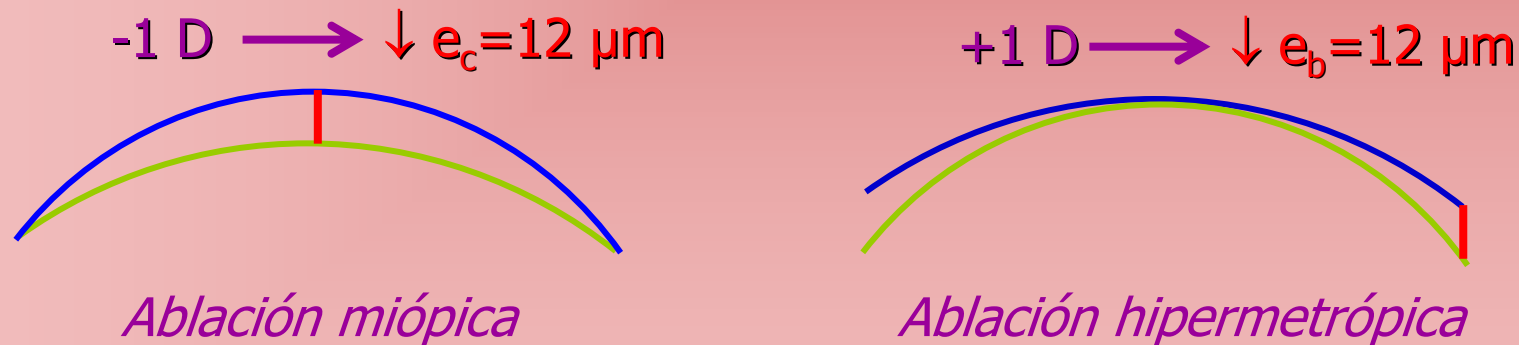
- Permite conocer la reducción de espesor corneal, y así estimar si la cirugía es aceptable o si conviene modificar el tamaño de zona óptica.
- Como es una aproximación paraxial, se aplica tanto a miopía como hipermetropía.

$$\text{Ságita máx. ablación} = -\frac{P_D \cdot Z O_{\text{mm}}^2}{3} \mu\text{m}$$



## Fórmula de *Munnerlyn* simple

Utilizando esta ecuación es como se deduce que por cada dioptría de miopía, el espesor corneal central se reduce en unas  $12 \mu\text{m}$ , para ZO de 6 mm.



$$\text{Ablación por dioptría} \approx 1 \left( \frac{6_{\text{mm}}^2}{3} \right) = 12 \mu\text{m}$$



## Fórmula de *Munnerlyn* exacta

La fórmula exacta permite limitar los errores en el cálculo de la profundidad de ablación:

$$\text{Ságita}_{\text{ablación}} = r_{\text{pre}} - \frac{r_{\text{pre}}(n-1)}{n-1 + r_{\text{pre}} \cdot P_D} - \sqrt{r_{\text{pre}}^2 - \frac{\Phi_{Z0}^2}{4}} + \sqrt{\left[ \frac{r_{\text{pre}}(n-1)}{n-1 + r_{\text{pre}} \cdot P_D} \right]^2 - \frac{\Phi_{Z0}^2}{4}} \mu\text{m}$$



## Fórmula de *Munnerlyn* exacta y aproximada

La fórmula exacta permite limitar los errores en el cálculo de la profundidad de ablación:

$$\text{Ságita}_{\text{ablación}} = r_{\text{pre}} - \frac{r_{\text{pre}}(n-1)}{n-1 + r_{\text{pre}} \cdot P_D} - \sqrt{r_{\text{pre}}^2 - \frac{\Phi_{\text{ZO}}^2}{4}} + \sqrt{\left[ \frac{r_{\text{pre}}(n-1)}{n-1 + r_{\text{pre}} \cdot P_D} \right]^2 - \frac{\Phi_{\text{ZO}}^2}{4}} \mu\text{m}$$

Así como versiones aproximadas, que por ejemplo utilizan la ecuación exacta de la ságita:

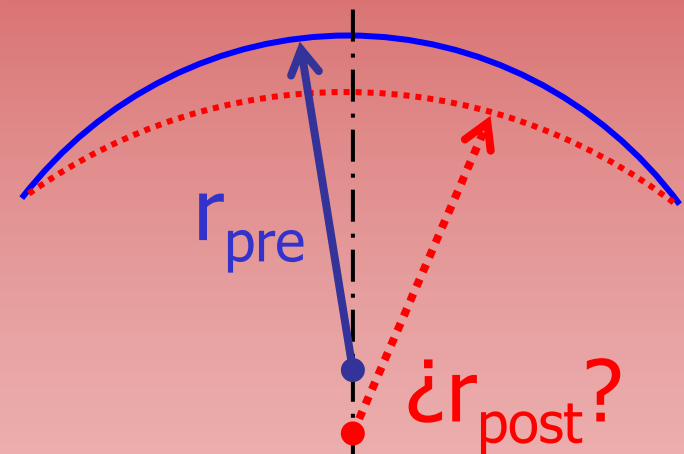
$$\text{Ságita}_{\text{ablación}} = \frac{P \cdot \text{ZO}_{\text{mm}}^2}{3} + \frac{\text{ZO}_{\text{mm}}^4}{128} \cdot \frac{P}{n-1} \cdot \frac{(r_{\text{post}}^2 + r_{\text{pre}} \cdot r_{\text{post}} + r_{\text{pre}}^2)}{r_{\text{pre}}^2 \cdot r_{\text{post}}^2}$$



## Cálculo de parámetros de la ablación



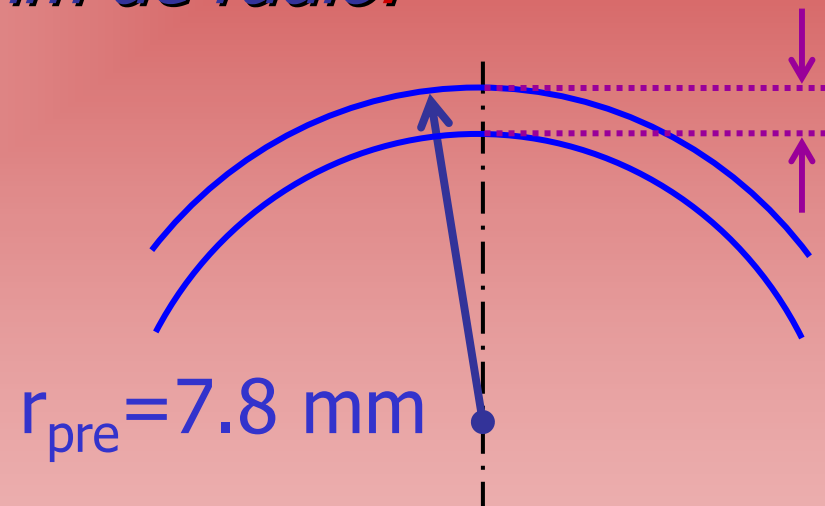
## Cálculo del radio postoperatorio





## Radio postoperatorio en corrección de miopía

*Persona con -6 D de miopía en gafas ( $d=15$  mm),  
y córnea central de 7.8 mm de radio.*



$$P_{\text{córnea}} = \frac{P_{\text{gafas}}}{1 - |d| \cdot P_{\text{gafas}}} = \frac{-6}{1 - 15 \cdot 10^{-3} \cdot (-6)} = -5.51 \text{ D}$$





## Radio postoperatorio en corrección de miopía

*Persona con -6 D de miopía en gafas ( $d=15$  mm),  
y córnea central de 7.8 mm de radio.*

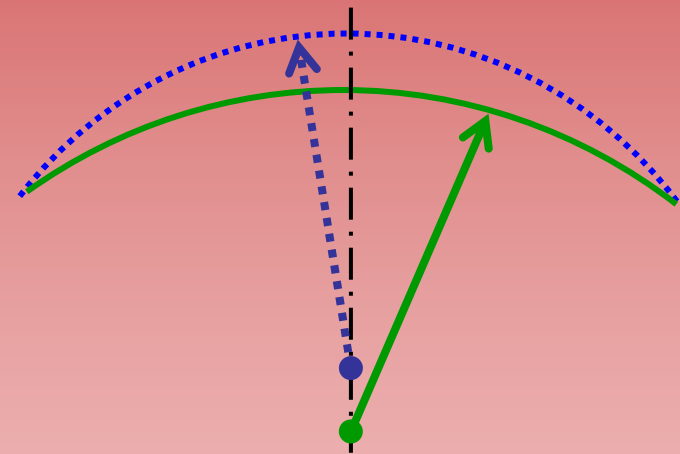
$$\text{Corrección} = (n_c - 1) \left( \frac{1}{r_{\text{POST}}} - \frac{1}{r_{\text{PRE}}} \right)$$

$$-5.52 = (1.376 - 1) \left( \frac{1}{r_{\text{POST}}} - \frac{1}{7.8 \cdot 10^{-3}} \right)$$

$$-14.64 + \frac{1}{7.8 \cdot 10^{-3}} = \frac{1}{r_{\text{POST}}}$$



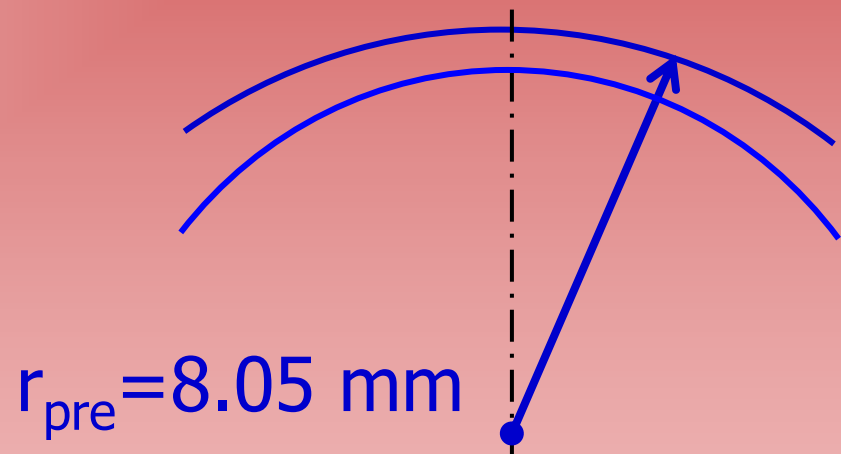
$$r_{\text{post}} = 8.8 \text{ mm}$$





Radio postoperatorio en corrección hipermetrópica

*Persona con +4.5 D de miopía en gafas ( $d=12$  mm), y córnea central de 8.05 mm de radio.*



$$P_{\text{córnea}} = \frac{P_{\text{gafas}}}{1 - |d| \cdot P_{\text{gafas}}} = \frac{+4.5}{1 - 12 \cdot 10^{-3} \cdot 4.5} = +4.76 \text{ D}$$



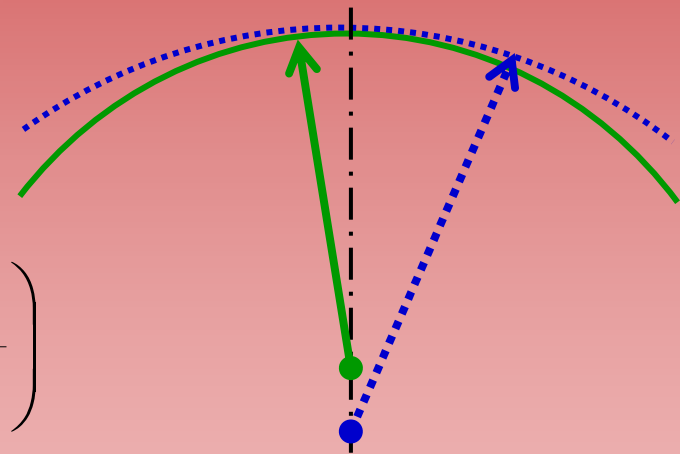
## Radio postoperatorio en corrección hipermetrópica

*Persona con +4.5 D de miopía en gafas ( $d=12$  mm), y córnea central de 8.05 mm de radio.*

$$\text{Corrección} = (n_c - 1) \left( \frac{1}{r_{\text{POST}}} - \frac{1}{r_{\text{PRE}}} \right)$$

$$+ 4.76 = (1.376 - 1) \left( \frac{1}{r_{\text{POST}}} - \frac{1}{8.05 \cdot 10^{-3}} \right)$$

$$+ 12.76 + \frac{1}{8.05 \cdot 10^{-3}} = \frac{1}{r_{\text{POST}}} \quad \Rightarrow \quad r_{\text{post}} = 7.3 \text{ mm}$$



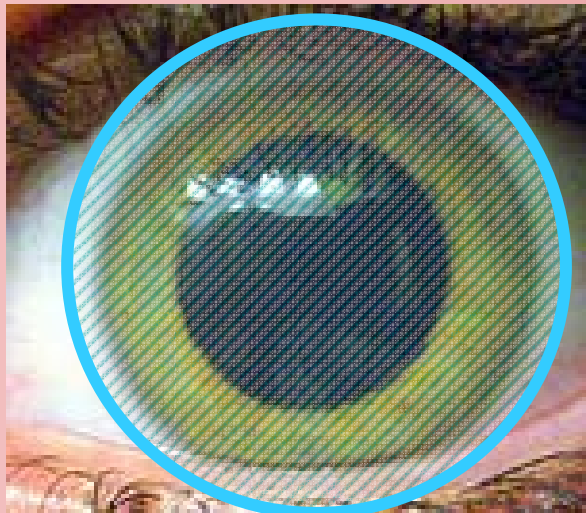
# Cirugía corneal III



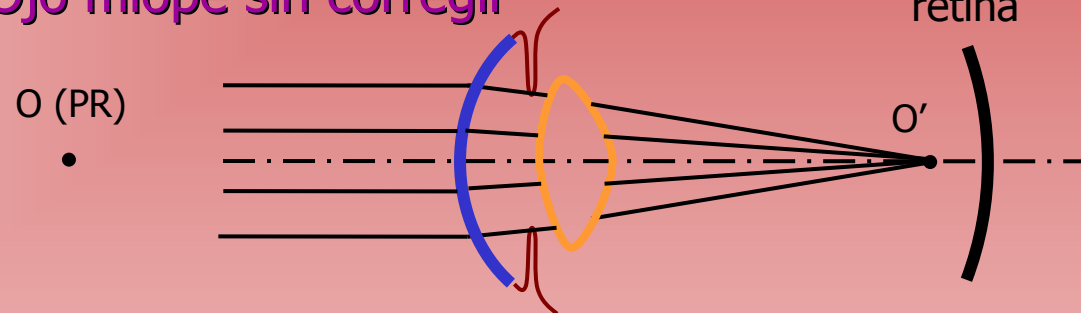
## Diámetro de Zona Óptica

## Diámetro de Zona Óptica

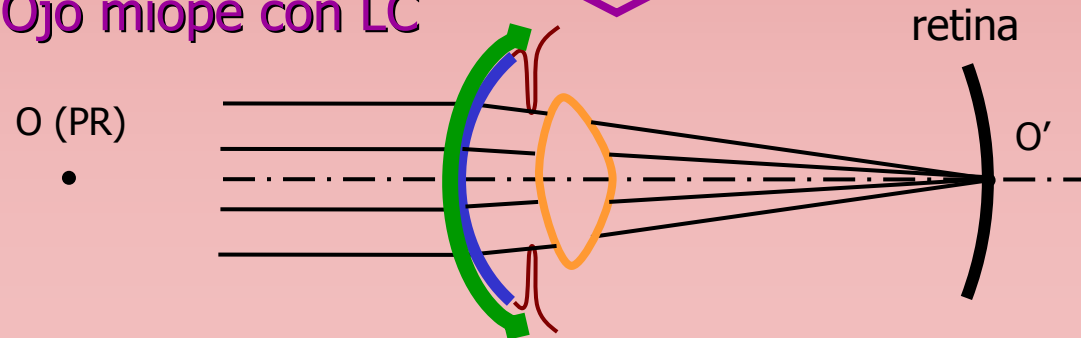
Cuando se utilizan gafas o LC, la zona óptica cubre completamente la pupila y la imagen es uniforme.



Ojo miope sin corregir

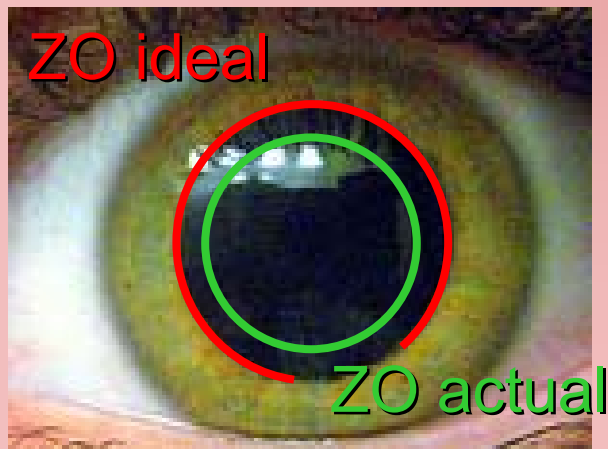


Ojo miope con LC

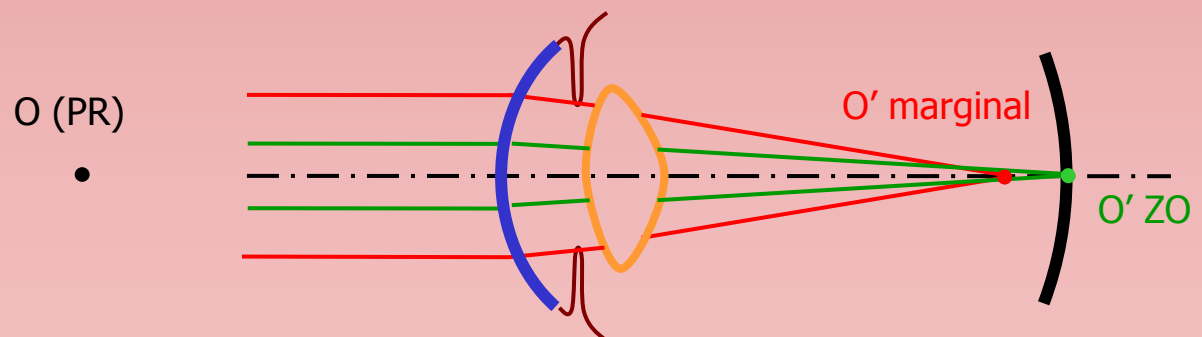


## Diámetro de Zona Óptica

- Idealmente, la zona óptica debe cubrir completamente la pupila.
- Si no es así, los rayos marginales forman una imagen retiniana desenfocada, apareciendo las imágenes fantasma.

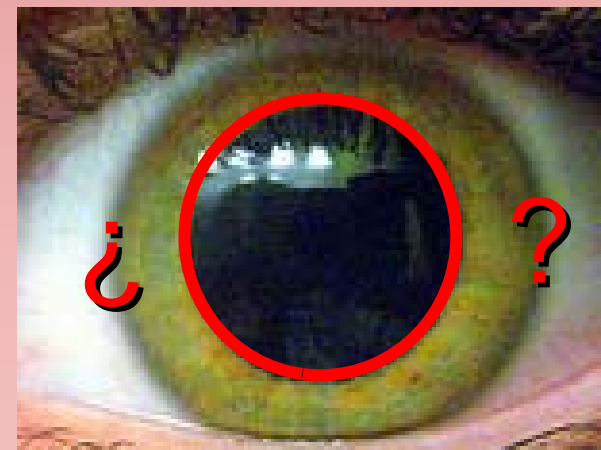
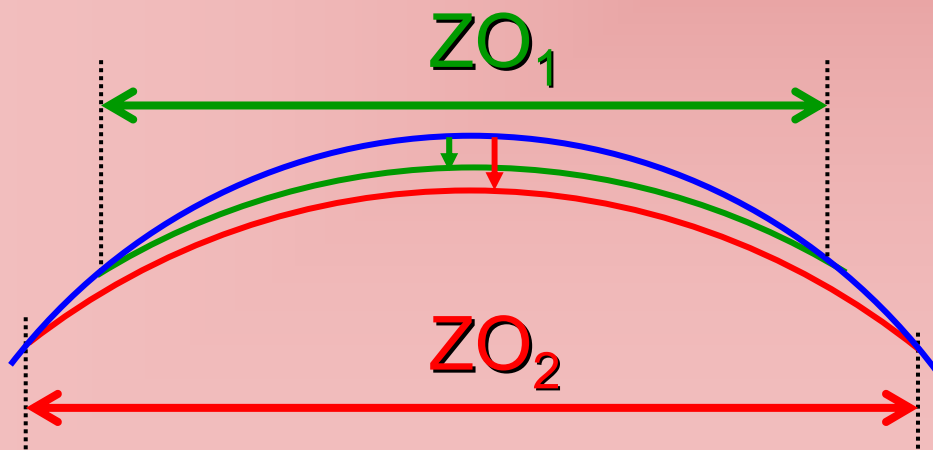


Ojo miope tras PRK/LASIK



## Diámetro de Zona Óptica

- La ZO debe tener un diámetro entre el tamaño de pupila fotópica ( $\varnothing_{\text{pupilar}} \approx 4.1 \pm 0.7$  mm) y escotópica ( $\varnothing_{\text{pupilar}} \approx 7.6 \pm 0.8$  mm) del paciente.
- Aumentar la ZO, supone aumentar la profundidad de la ablación y los riesgos biomecánicos.





## Profundidad de la ablación

- La paquimetría nos permite conocer antes de hacer la cirugía si hay espesor suficiente para realizar la intervención con garantías.
- Al estimar la profundidad de la ablación, hay que reservar un espesor mínimo (*Residual Stromal Depth*) de al menos 250  $\mu\text{m}$ .
- En caso contrario, pueden aparecer problemas biomecánicos como regresiones o ectasias corneales.



Paquimetría  
preoperatoria

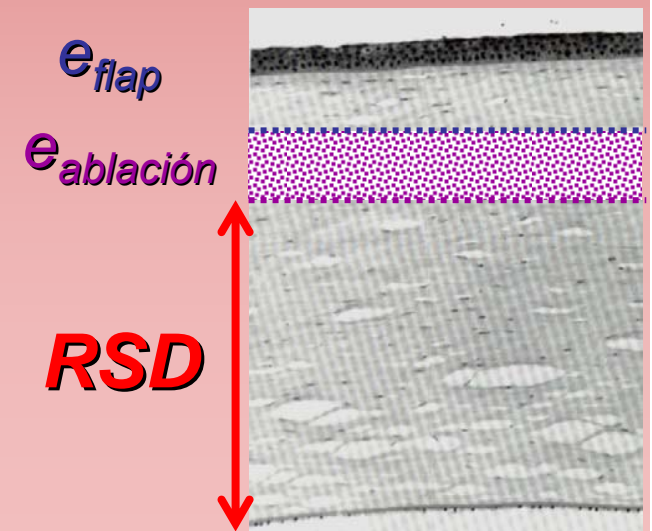


## Diámetro máximo de Zona Óptica

- El diámetro máximo de zona óptica indica el diámetro corneal máximo que se puede corregir.
- El espesor máximo de ablación se estima restando el RSD y el espesor estimado del flap a la paquimetría central.

$$e_{\text{Ablación-máx.}} \approx e_{\text{CORNEA}} - \text{RSD} - e_{\text{FLAP}}$$

$$\text{ZO}_{\text{máx.}} = \sqrt{\frac{(3 \cdot e_{\text{ablac.-máx.}})}{P_D}}$$



## Diámetro máximo de Zona Óptica

*ZO máxima en una persona que va a someterse a un LASIK para corregir -5.5 D de miopía, cuya paquimetría central es de 520  $\mu\text{m}$ :*

$$e_{\text{Ablación-máx.}} = 520 - 250 - 150 = 120 \mu\text{m}$$

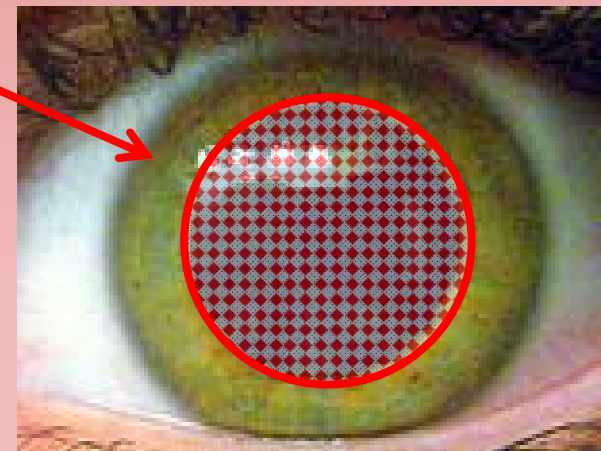


## Diámetro máximo de Zona Óptica

*ZO máxima en una persona que va a someterse a un LASIK para corregir -5.5 D de miopía, cuya paquimetría central es de 520  $\mu\text{m}$ :*

$$e_{\text{Ablación-máx.}} = 520 - 250 - 150 = 120 \mu\text{m}$$

$$ZO_{\text{máx.}} = \sqrt{\frac{3}{5.5} \cdot 120 \cdot 10^{-6}} = 8.09 \text{ mm}$$





## Diámetro de Zona Óptica: límites

- Refracción: la profundidad de ablación es proporcional al error refractivo a corregir.
- Paquimetría: Un mayor grosor corneal permite una mayor ablación. Introduce un pequeño error.
- Un lecho estromal (RSD) de al menos 250  $\mu\text{m}$ .
- Técnica: en LASIK, se corta la primera capa corneal (120 a 180  $\mu\text{m}$ ); en PRK/LASEK sólo se elimina el epitelio.
- El área efectiva REAL es de 0.3 a 0.5 mm menor.



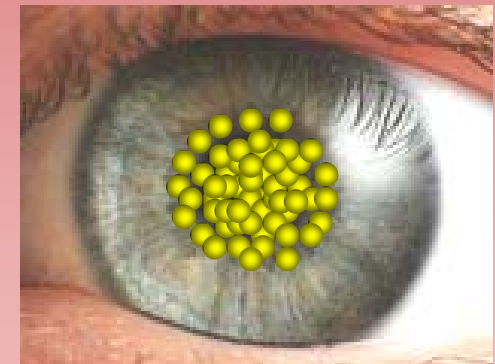
## Cálculo de la profundidad de ablación

# Cirugía corneal III



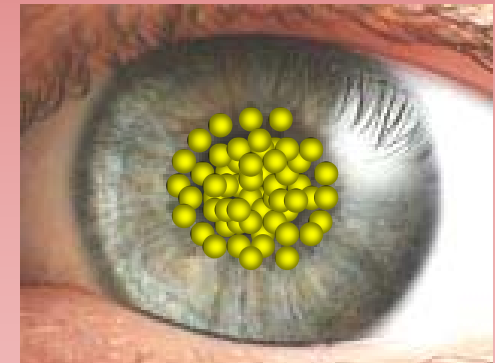
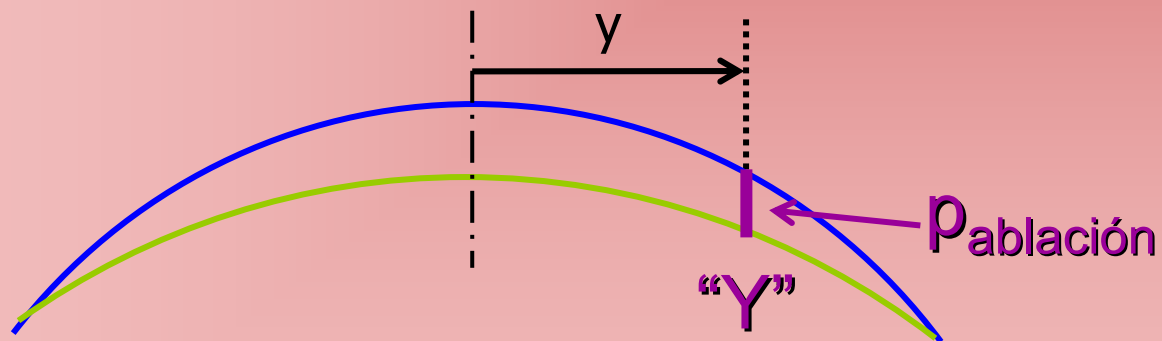
## Profundidad de ablación en miopía

Para corregir una miopía, hay que esculpir más la zona corneal central que la periférica.



## Profundidad de ablación en miopía

La profundidad de ablación ( $p$ ), se calcula como la diferencia de ságitas pre y postoperatoria en cada punto ( $y$ ) de la zona óptica (ZO).

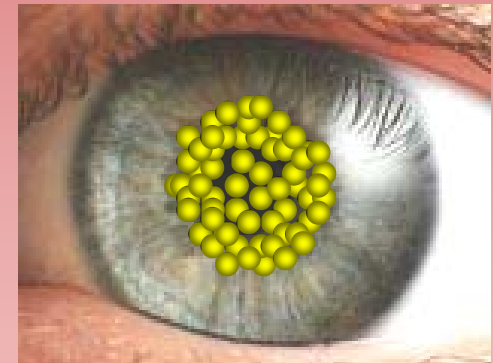


$$p_{\text{miopía}}(y) = \sqrt{r_{\text{PRE}}^2 - \left(\frac{\text{ZO}}{2}\right)^2} - \sqrt{r_{\text{POST}}^2 - \left(\frac{\text{ZO}}{2}\right)^2} + \sqrt{r_{\text{POST}}^2 - y} - \sqrt{r_{\text{PRE}}^2 - y}$$



## Profundidad de ablación en hipermetropía

En la hipermetropía, los impactos del láser tienen como objetivo eliminar un anillo de tejido corneal periférico.

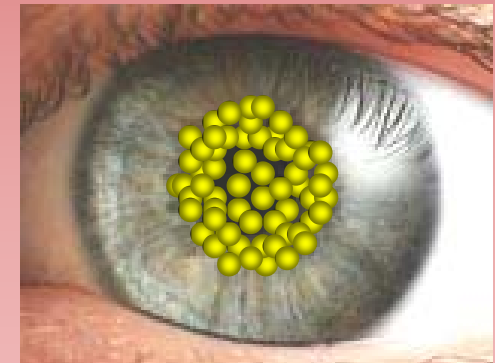
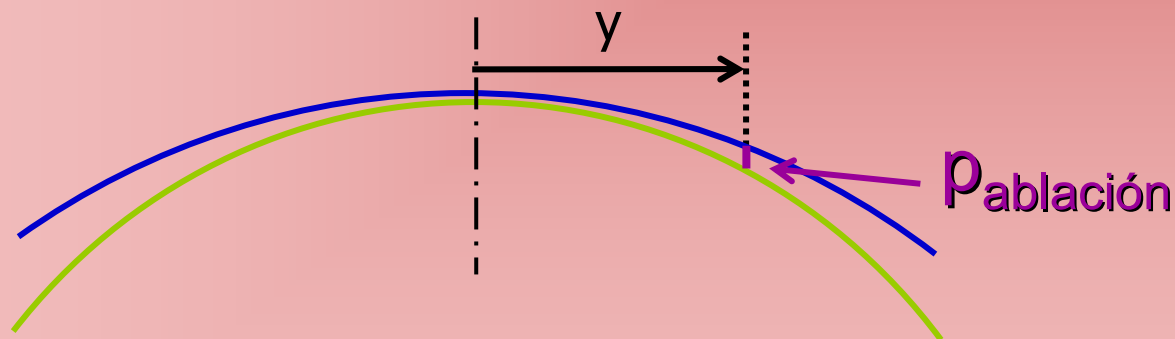






## Profundidad de ablación en hipermetropía

De nuevo, la profundidad de ablación ( $p$ ), se calcula como diferencia entre ságitas pre y post en cada punto ( $y$ ) de la zona óptica (ZO).



$$p_{\text{hipermetropía}}(y) = \sqrt{r_{\text{PRE}}^2 - y^2} - \sqrt{r_{\text{POST}}^2 - y^2} + r_{\text{POST}} - r_{\text{PRE}}$$



## Cálculo de impactos del láser

- El programa de gestión del láser calcula el número de impacto del excímero para obtener un determinado perfil de ablación.
- La fotoablación con estos láser UV (193/213 nm) vaporiza el tejido, rompiendo sus moléculas.
- La cantidad de impactos necesaria depende de la cantidad de tejido a eliminar, pero también del tipo de láser utilizado.



## Cálculo de impactos del láser

- La cantidad de tejido eliminado depende de un factor de eficiencia del láser ( $m$ ) y del logaritmo de la fluencia del láser ( $F$ ) por un valor umbral del tejido ( $F_u$ ).

$$\text{prof.excavación}(d) = m \cdot \ln\left(\frac{F}{F_u}\right)$$



## Cálculo de impactos del láser

- La cantidad de tejido eliminado depende de un factor de eficiencia del láser ( $m$ ) y del logaritmo de la fluencia del láser ( $F$ ) por un valor umbral del tejido ( $F_u$ ).

$$\text{prof.excautación}(d) = m \cdot \ln\left(\frac{F}{F_u}\right)$$

- Una mayor eficiencia del láser ( $m$ ), reduce el número de impactos necesarios.
- El Nd:YAG a 213 nm es más eficiente que el ArF.



## Ablación corneal avanzada



## Ablación corneal avanzada

### Índice de Eficacia:

$$\text{Efficacy index} = \frac{\text{UCVA}_{\text{Postop}}}{\text{BCVA}_{\text{Preop}}}$$

### Índice de Seguridad:

$$\text{Safety index} = \frac{\text{BCVA}_{\text{Postop}}}{\text{BCVA}_{\text{Preop}}}$$

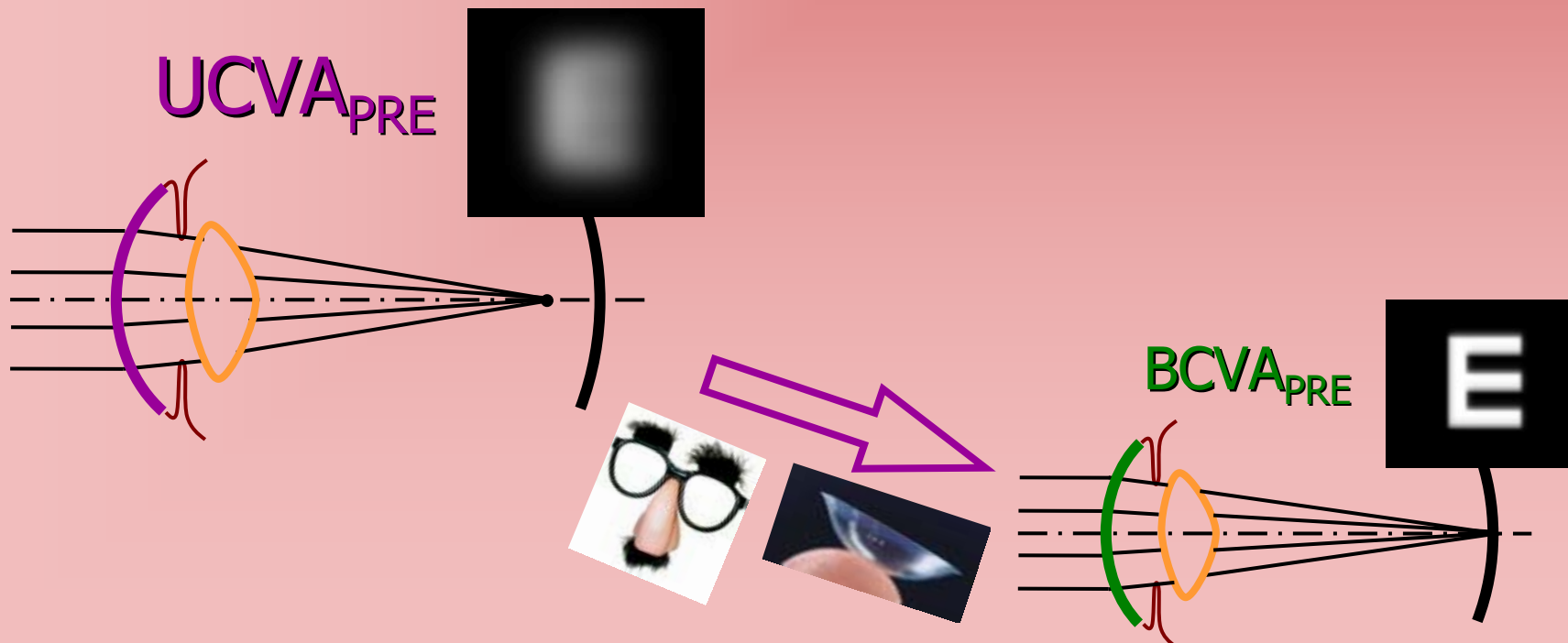
# Cirugía corneal III



Ablación corneal avanzada

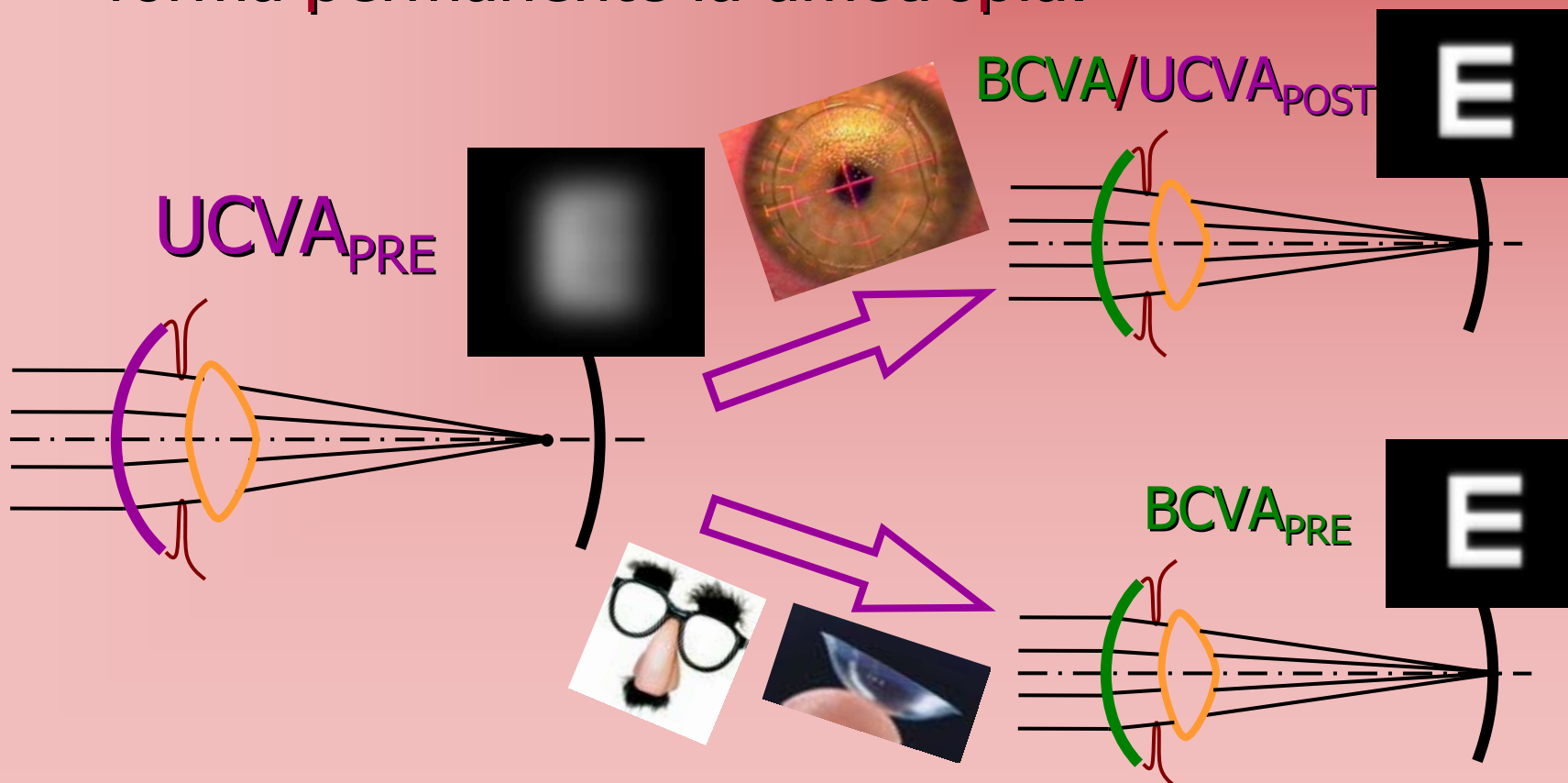
Índice de Eficacia?

Índice de Seguridad?



## Ablación corneal avanzada

El objetivo de la cirugía refractiva es corregir de forma permanente la ametropía.







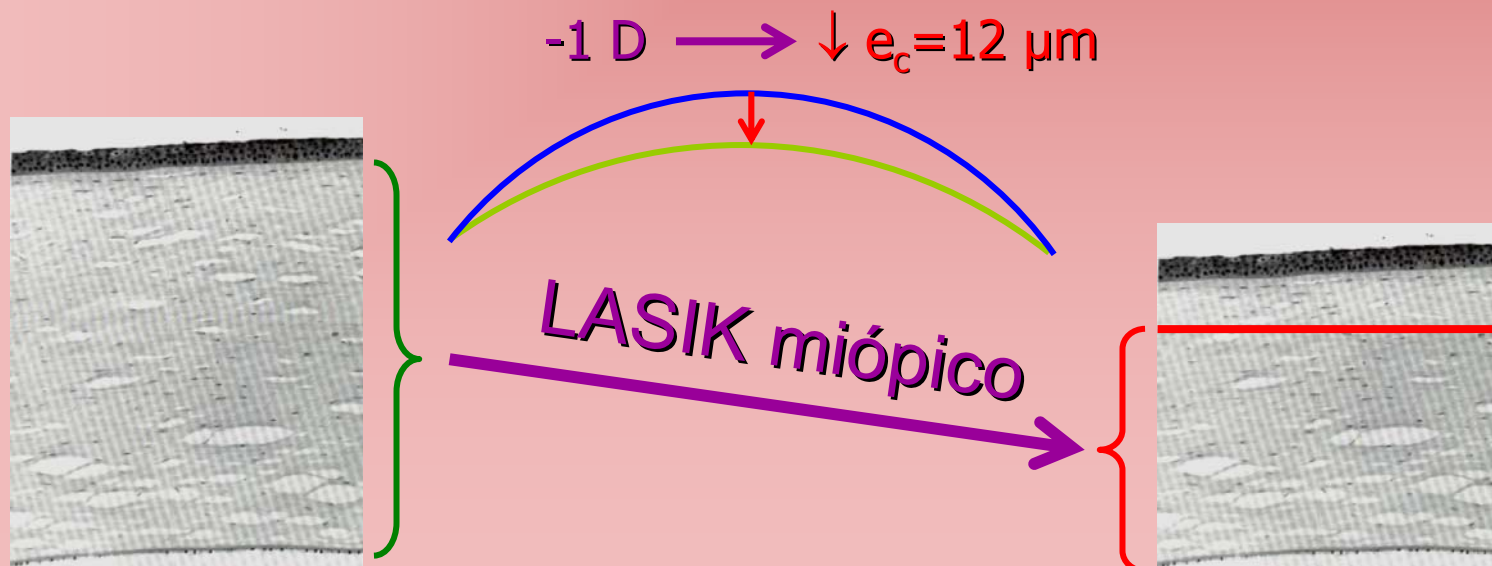
## Ablación corneal avanzada

Pero algunas veces el resultado no es óptimo, disminuyendo la BCVA. La causa suele ser:

- 1.- Por un cambio postoperatorio inesperado, causado por un excesivo adelgazamiento corneal.
- 2.- Un tamaño o posición deficiente de la ZO, y un subsiguiente aumento de las aberraciones ópticas que afectan a la visión.

## Ablación corneal avanzada

Un adelgazamiento excesivo de la córnea al corregir altas miopías puede producir una deformidad corneal irreversible.

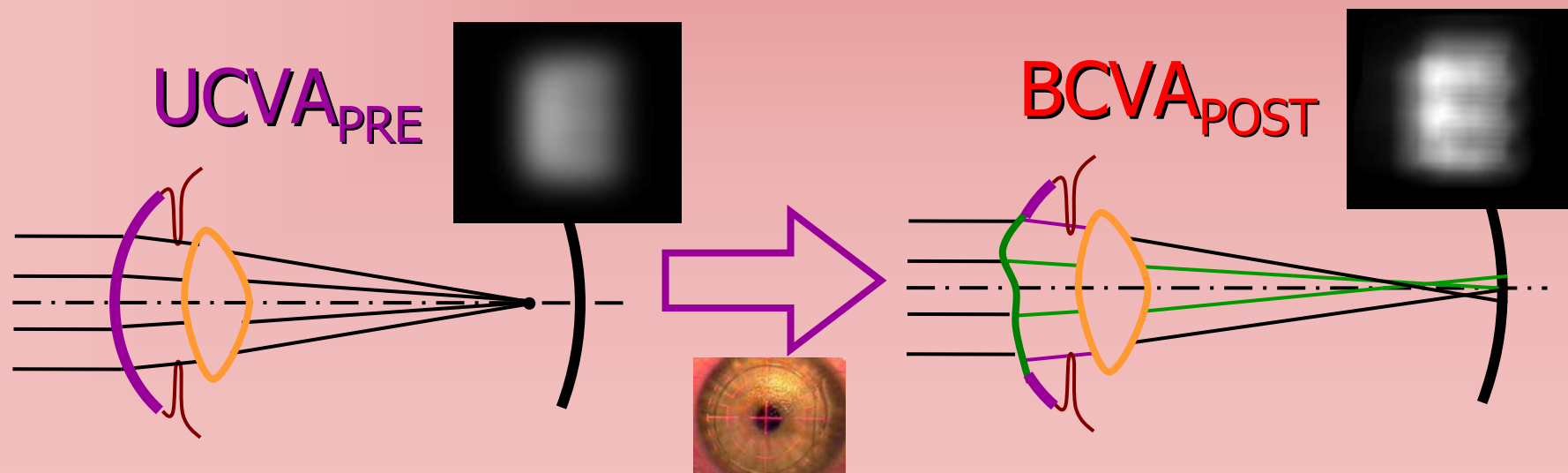




## Ablación corneal avanzada

Dicha deformidad produce, además de la aparición de miopía y/o astigmatismo, una pérdida de BCVA.

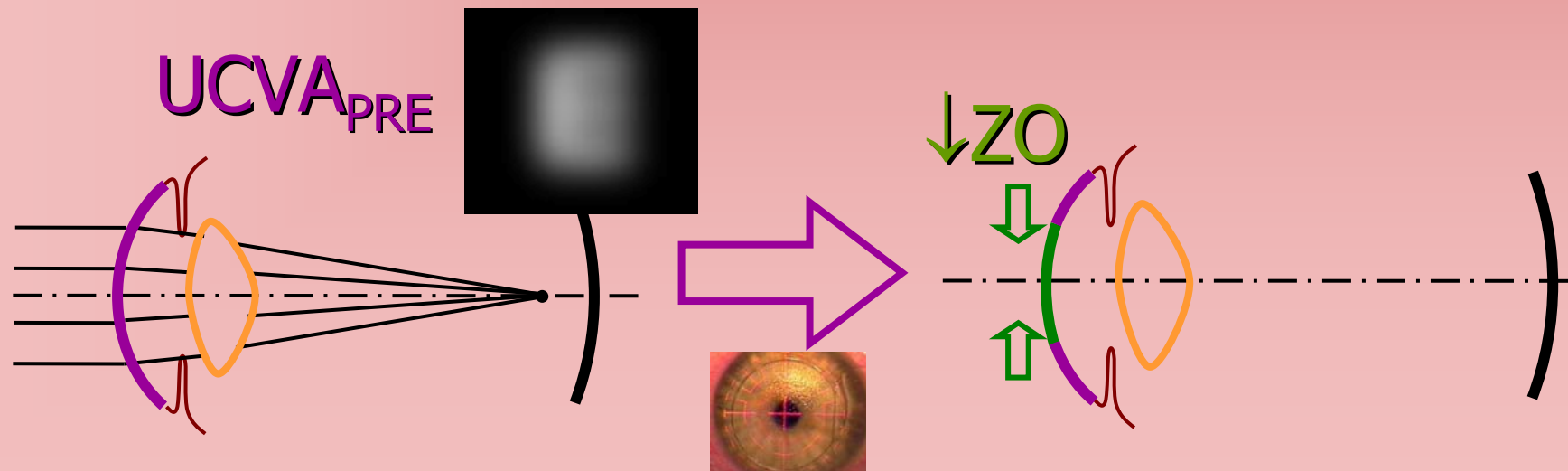
Si el daño es grave, la llamada ECTASIA corneal, se acude al trasplante corneal.





## Ablación corneal avanzada

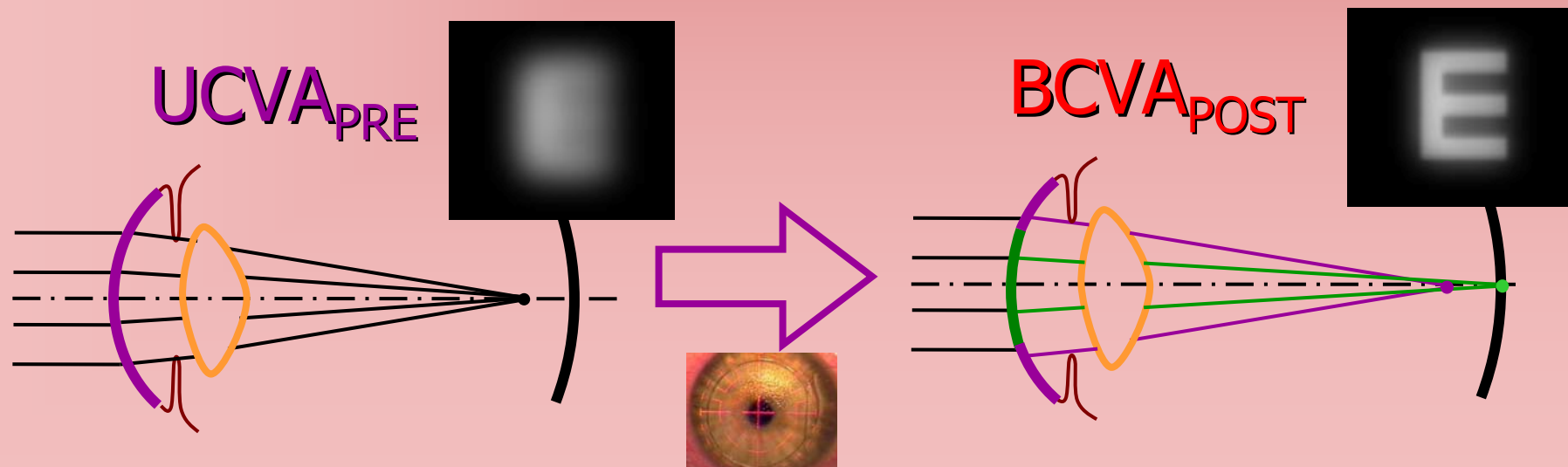
La alternativa más segura es reducir el tamaño de la ZO para evitar un adelgazamiento corneal excesivo.





## Ablación corneal avanzada

Pero si el tamaño natural de la pupila es mayor que la ZO, en la retina se superponen una imagen en foco (ZO) con otra desenfocada (marginal).





## Zona de transición de la ablación corneal



## Zona de transición de la ablación corneal

- El tamaño estándar de ZO medio suele ser de unos 6 mm. Esto permite obtener en la mayoría de casos una buena imagen diurna ( $\emptyset_{\text{pupilar}} \approx 4.1 \pm 0.7$  mm).
- Sin embargo, la calidad visual desciende debido a la superposición de la imagen periférica, sobre todo en condiciones de luz mesópicas ( $\emptyset_{\text{pupilar}} \approx 6.4 \pm 0.9$  mm) o escotópicas ( $\emptyset_{\text{pupilar}} \approx 7.6 \pm 0.8$  mm).
- Esto puede afectar a tareas como la conducción.



## Zona de transición de la ablación corneal

- Una solución a este problema es crear una llamada "zona de transición".
- La zona de transición supone ampliar la zona de tratamiento a un diámetro mayor que la ZO, pero con un menor cambio en la curvatura corneal, lo que supone una menor profundidad de ablación.

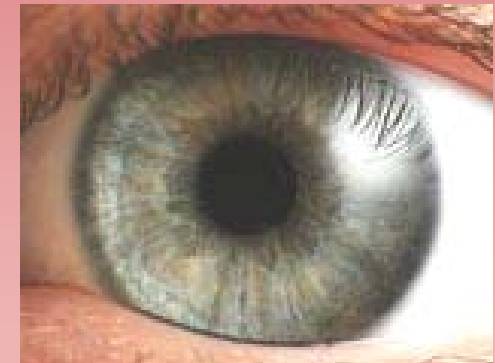
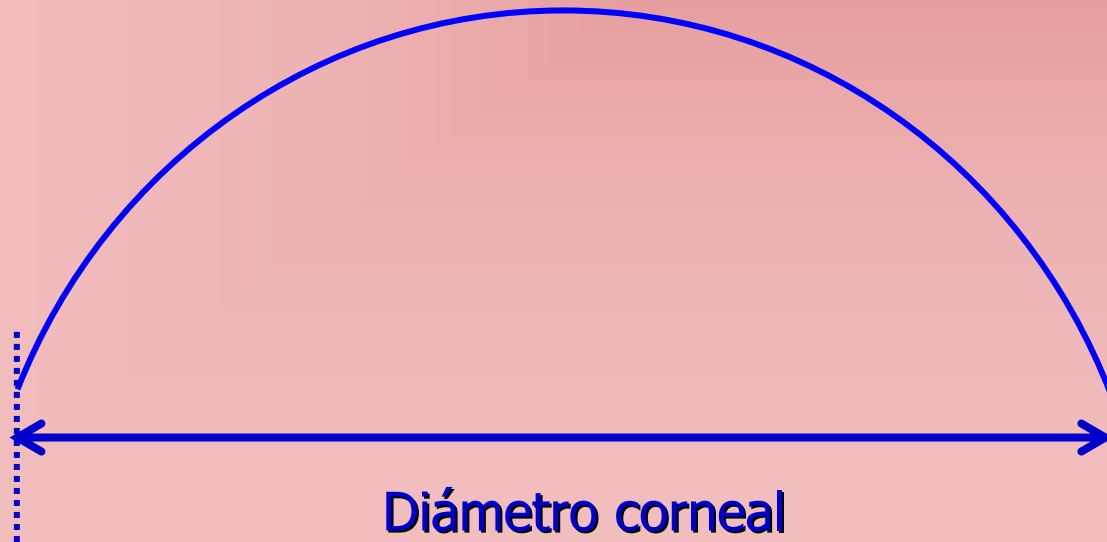
$$\text{Profundidad ablación} = -\frac{P_D \uparrow ZO_{\text{mm}}^2}{3} \mu\text{m}$$





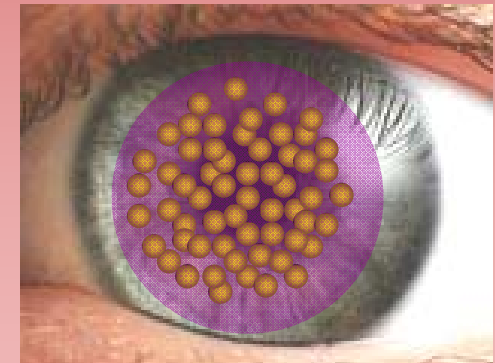
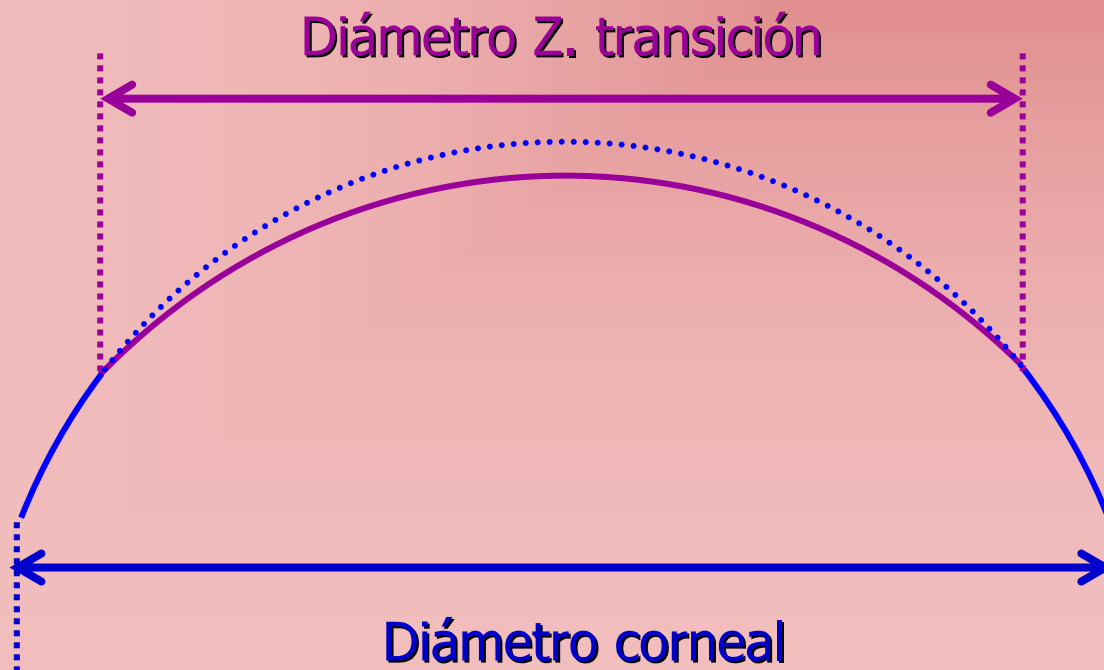
## Zona de transición de la ablación corneal

Una opción es hacer la ablación en dos fases:



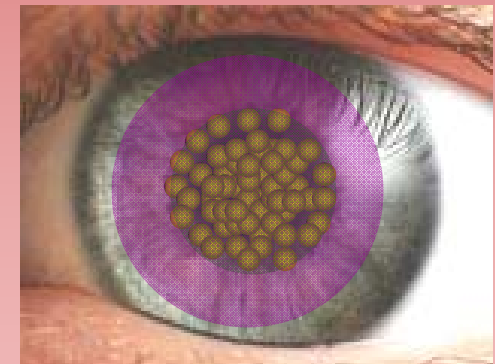
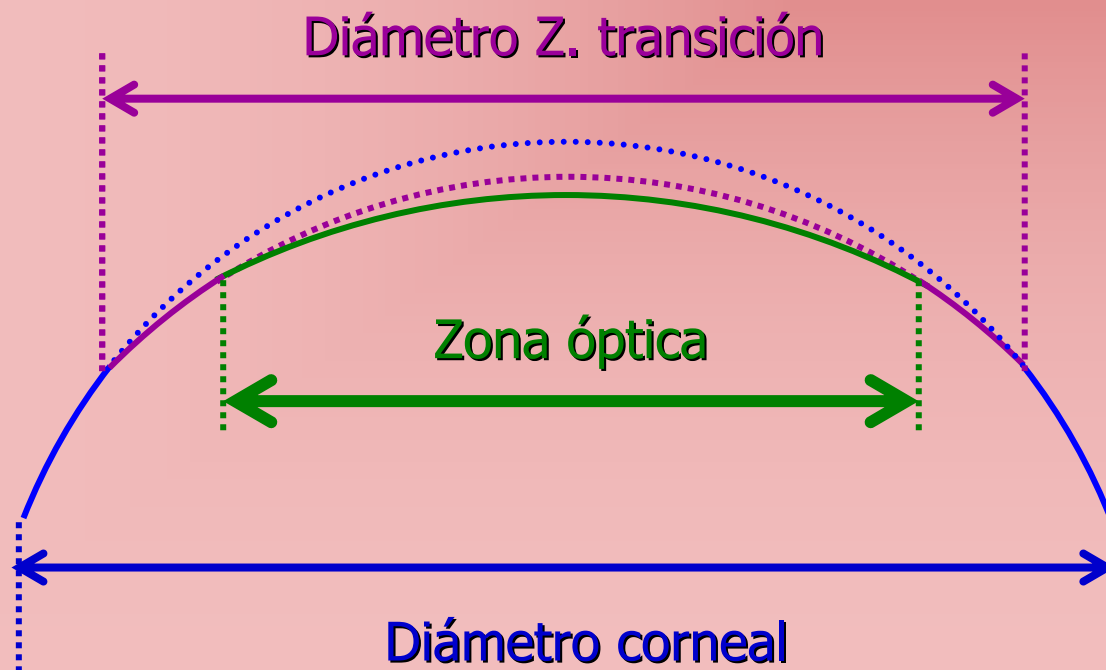
## Zona de transición de la ablación corneal

Se hace un primer tratamiento de diámetro 8 a 9 mm, pero con una corrección mucho menor de la necesaria, para limitar la profundidad de ablación.



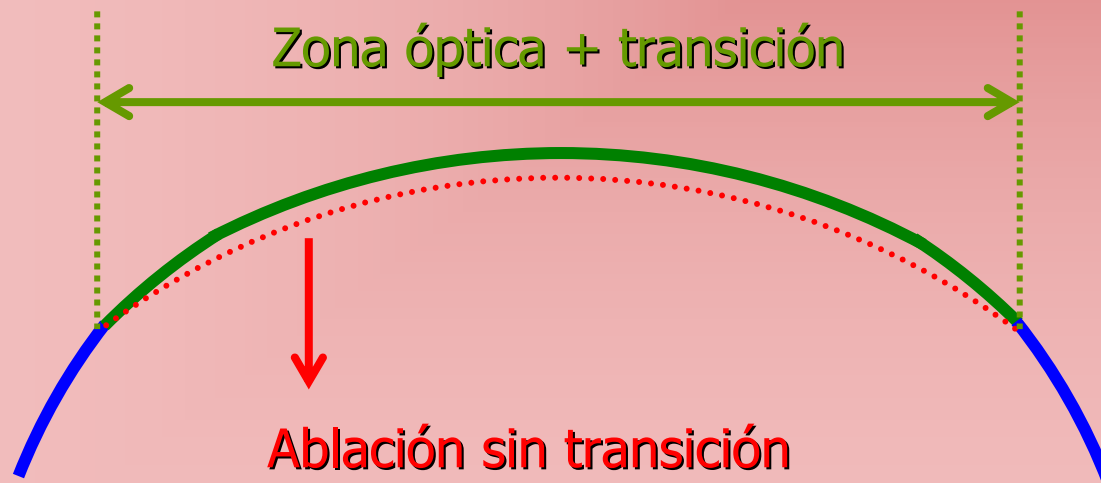
## Zona de transición de la ablación corneal

Seguidamente se hace la ablación de la zona óptica, de un diámetro de 4 a 6 mm, para obtener la corrección refractiva.



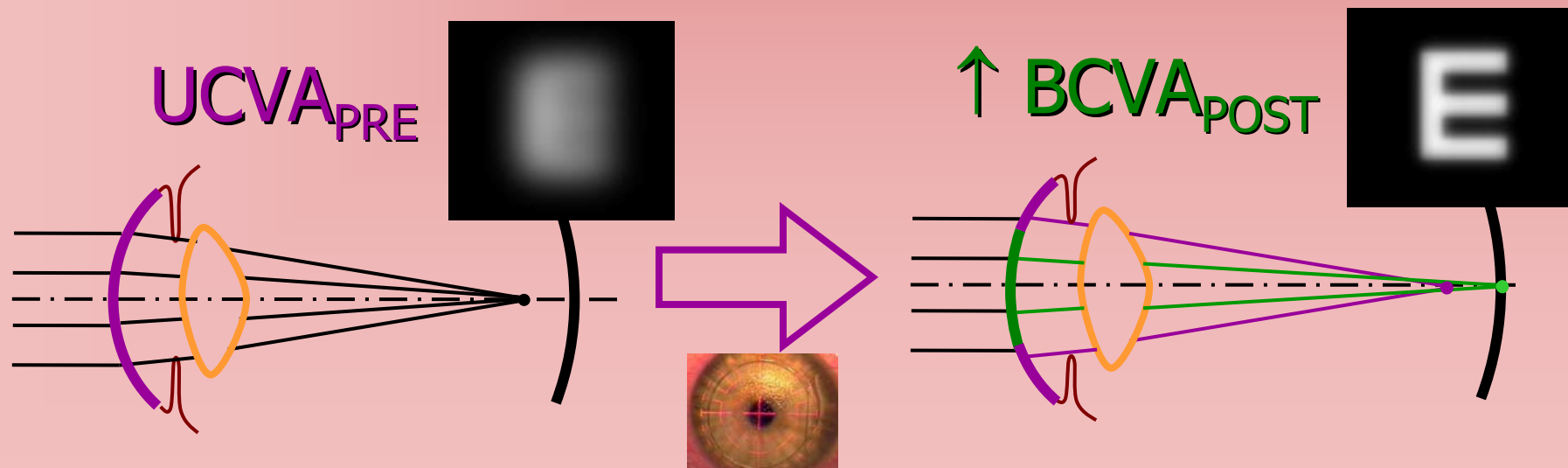
## Zona de transición de la ablación corneal

El efecto combinado supone crear una transición amplia de la corrección óptica, que genera una mejor calidad de imagen sin que esto suponga un riesgo para la seguridad corneal.



## Zona de transición de la ablación corneal

Gracias a la zona de transición, se reduce el halo causado por la imagen de los rayos marginales, reduciendo la profundidad de la ablación.





## Cálculo de la zonas de transición

El cálculo del espesor de la ablación al incluir una zona de transición se basa en:

- Decidir el cambio dióptrico a incluir en la transición (por ejemplo de un 20% del total) y calcular el espesor de su ablación.
- Calcular la ablación de la zona óptica.



## Cálculo de la zonas de transición

Ejemplo 1: Miope de -11 D (d=14 mm).

Calcula el espesor de ablación de una ZO de 7 mm,  
y de una ZO de 6 mm con transición de 8 mm:

$$P_{\text{Corr. en córnea}} = \frac{P_D}{1 - |d|_m \cdot P_D}$$

$$\text{espesor}_{\text{ablación}} (\mu\text{m}) = -\frac{P_D \cdot ZO_{\text{mm}}^2}{3}$$





## Cálculo de la zonas de transición

Ejemplo 1: Miope de -11 D (d=14 mm).

Calcula el espesor de ablación de una ZO de 7 mm, y de una ZO de 6 mm con transición de 8 mm:

### Sin Transición

$$P_{\text{Corr.ZO}} = \frac{-11}{1 - 0.014 \cdot -11} = -9.5 \text{ D}$$

$$e_{\text{ablación-ZO}} (\mu\text{m}) = -\frac{-9.6 \cdot (7 \cdot 10^{-3})^2}{3} = 157 \mu\text{m}$$

### Con Transición

$$P_{\text{Corr.T}} = (-9.5) \cdot 0.2 = -1.9 \text{ D}$$

$$P_{\text{Corr.ZO}} = (-9.5) \cdot 0.8 = -7.6 \text{ D}$$

$$e_{\text{ablación-T}} (\mu\text{m}) = -\frac{-1.9 \cdot (8 \cdot 10^{-3})^2}{3} = 41 \mu\text{m}$$

$$e_{\text{ablación-ZO}} (\mu\text{m}) = -\frac{-7.6 \cdot (6 \cdot 10^{-3})^2}{3} = 91 \mu\text{m}$$

+





## Cálculo de la zonas de transición

Ejemplo 2: Miope de -11 D (d=14 mm) cuya paquimetría preoperatoria es de 570  $\mu\text{m}$ .

Calcula el  $\emptyset_{z0}$  máximo con ZO única:

$$e_{\text{Ablación-máx.}} = e_{\text{Cor}(\mu\text{m})} - \text{RSD}_{(\mu\text{m})} - e_{\text{Flap}(\mu\text{m})} = e_{\text{Cor}(\mu\text{m})} - 250 - 150 \mu\text{m}$$





## Cálculo de la zonas de transición

Ejemplo 2: Miope de -11 D (d=14 mm) cuya paquimetría preoperatoria es de 570  $\mu\text{m}$ .

Calcula el  $\emptyset_{\text{ZO}}$  máximo con ZO única:

$$P_{\text{Corr. en córnea}} = \frac{-11}{1 - 0.014 \cdot -11} = -9.5 \text{ D}$$

$$e_{\text{Ablación-máx.}} = 570 - 250 - 150 = 170 \mu\text{m}$$

$$\text{ZO}_{\text{máx.}} = \sqrt{\frac{3}{9.5} \cdot 170 \cdot 10^{-6}} = 7.3 \text{ mm}$$

Recordad que la  $\text{ZO}_{\text{máx}}$  es un valor límite que rara vez se alcanza.



## Cálculo de la zonas de transición

¿Y si hacemos una transición de 8 mm de diámetro con un 20% de la corrección total?





## Cálculo de la zonas de transición

Ejemplo 2: Miope de -11 D (d=14 mm) cuya paquimetría preoperatoria es de 570  $\mu\text{m}$ . Se quiere hacer una transición de 8 mm de diámetro un 20 del total. Calcula el  $\emptyset_{Z_0}$  máximo:

### Transición

$$\text{espesor}_{\text{transición}} (\mu\text{m}) = -\frac{-1.9 \cdot (8 \cdot 10^{-3})^2}{3} = 41 \mu\text{m}$$

### Zona óptica

$$ZO_{\text{máx.}} = \sqrt{\frac{3}{7.6} \cdot (170 - 41) \cdot 10^{-6}} = 7.1 \text{ mm}$$

Con la transición, la  $ZO_{\text{máx}}$  es similar.



## Centrado de la ablación



## Centrado de la ablación

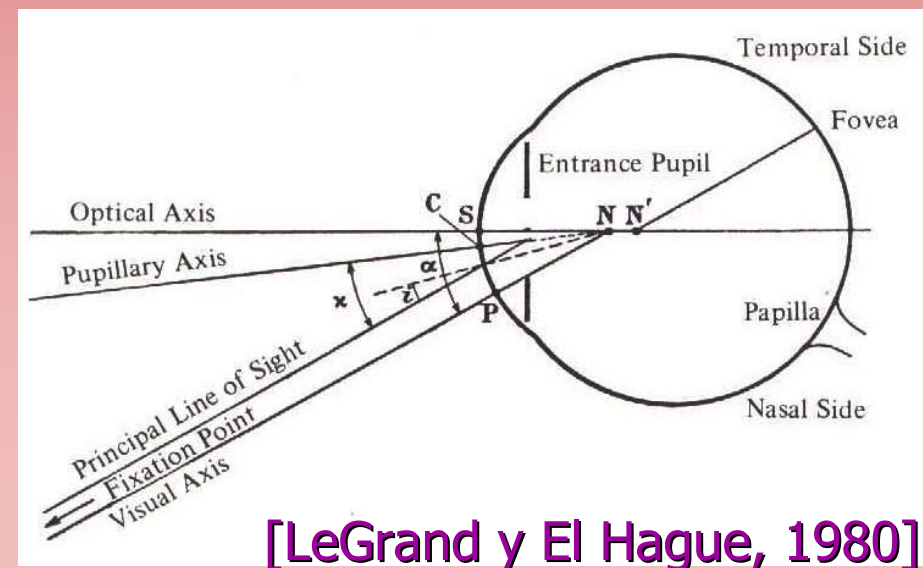
Cuando pensamos en el ojo humano, tendemos a considerar que todos son similares.

Pero hay diferencias anatómicas y ópticas evidentes, que potencialmente pueden afectar al resultado de una cirugía de este tipo.

Un ejemplo puede ser el centrado de la ablación.

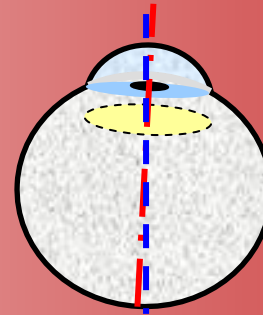
## Centrado de la ablación

- En el ojo humano, existe una desviación natural, llamada ángulo kappa ( $\kappa$ ), del eje óptico en dirección temporal.
- Esto hace que la pupila se perciba algo desviada en dirección temporal.



[LeGrand y El Hague, 1980]

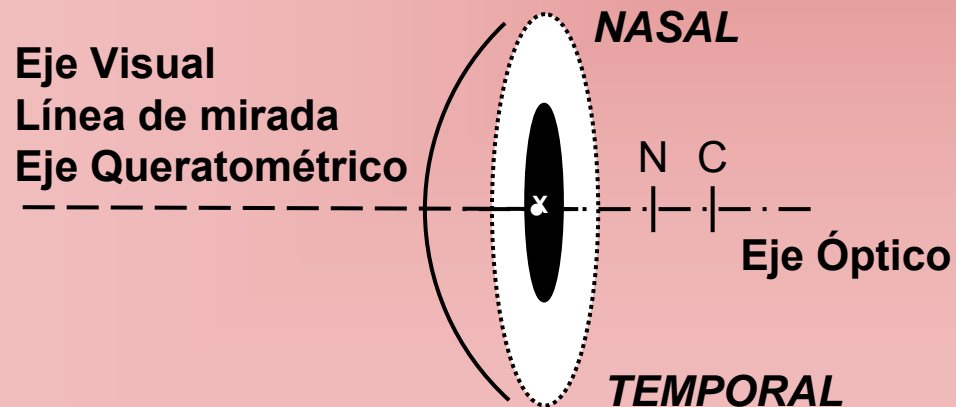
# Cirugía corneal III



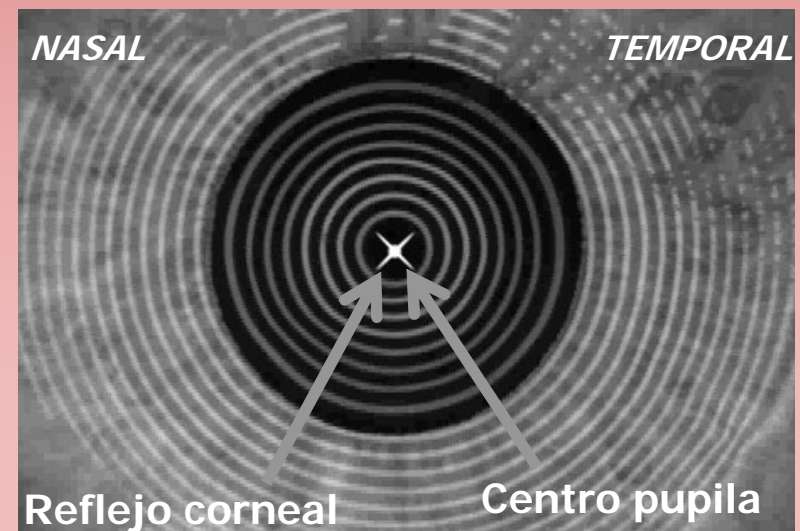
## Centrado de la ablación

Pero la amplitud de  $\kappa$  depende de la longitud axial:

- En los ojos miopes, al ser de mayor tamaño, la desviación disminuye o incluso es nula.

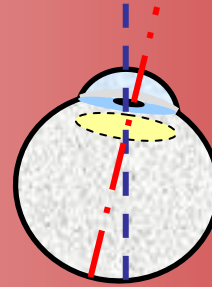


*Ojo izquierdo miope*





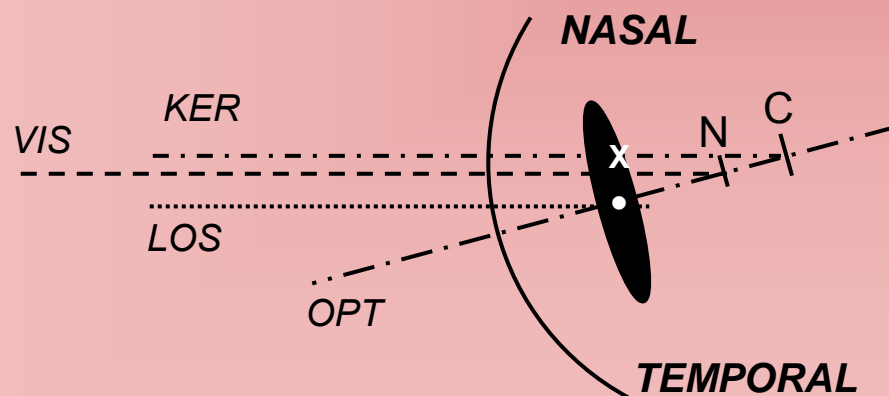
# Cirugía corneal III



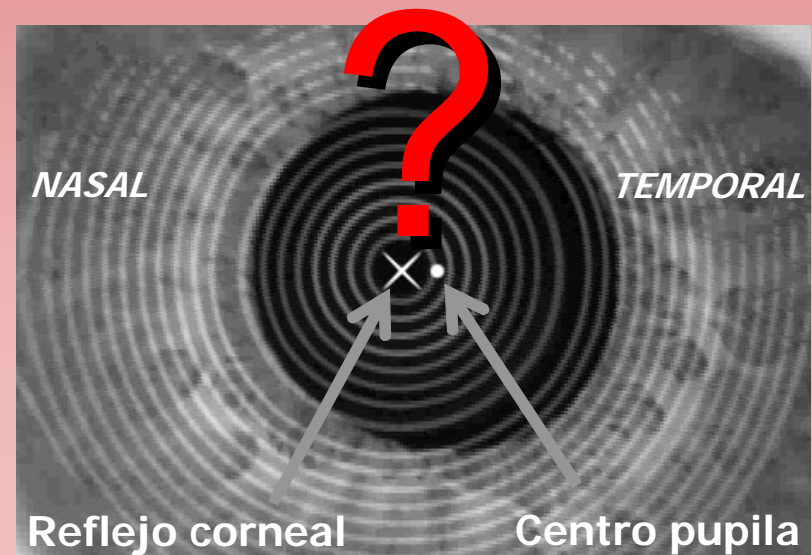
## Centrado de la ablación

En los ojos hipermétropes, debido a su menor longitud axial, la desviación del eje óptico puede alcanzar hasta  $10^\circ$ .

Además la ZO es menor que el área tratada.

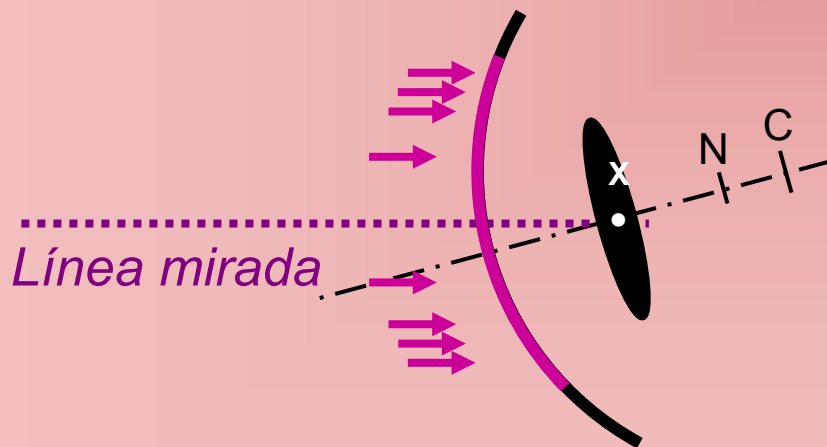


*Ojo izquierdo hipermetrope*

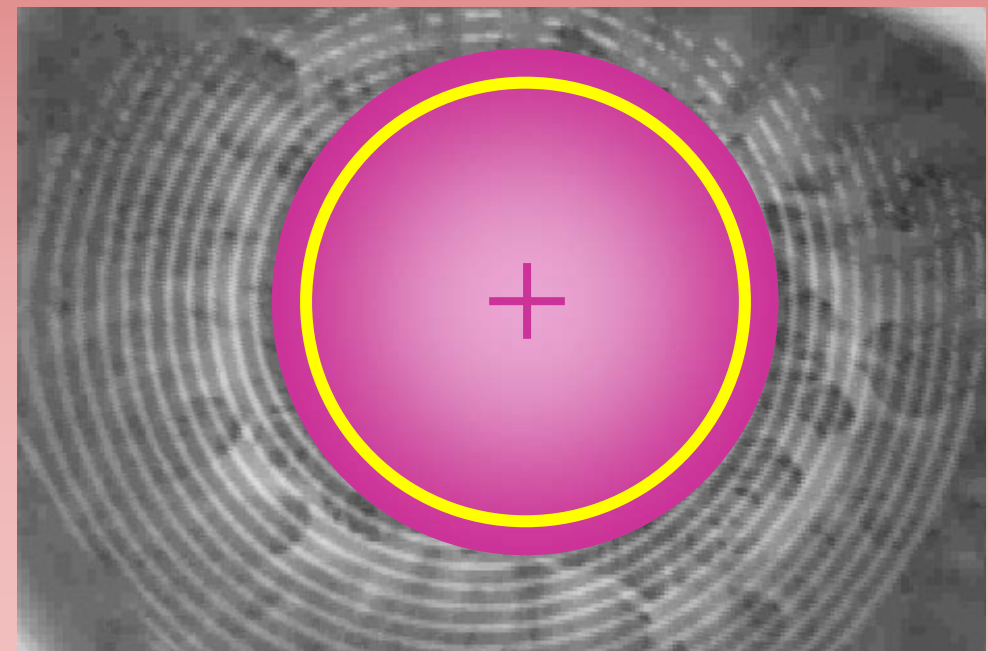


## Centrado de la ablación

Al centrar sobre la pupila optimizamos la corrección del área pupilar, o sea la corrección visual.

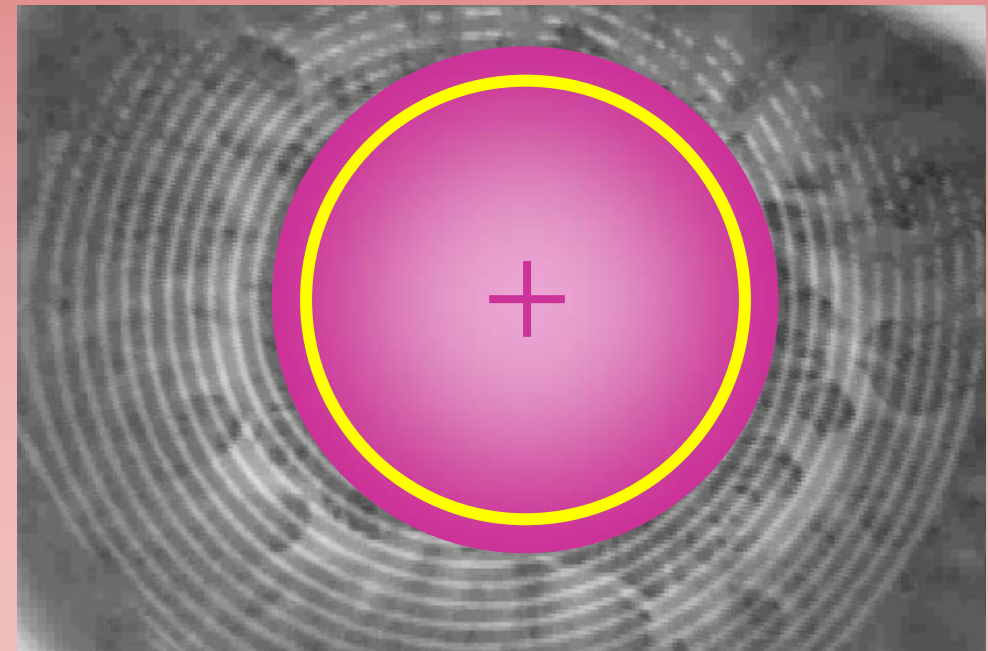
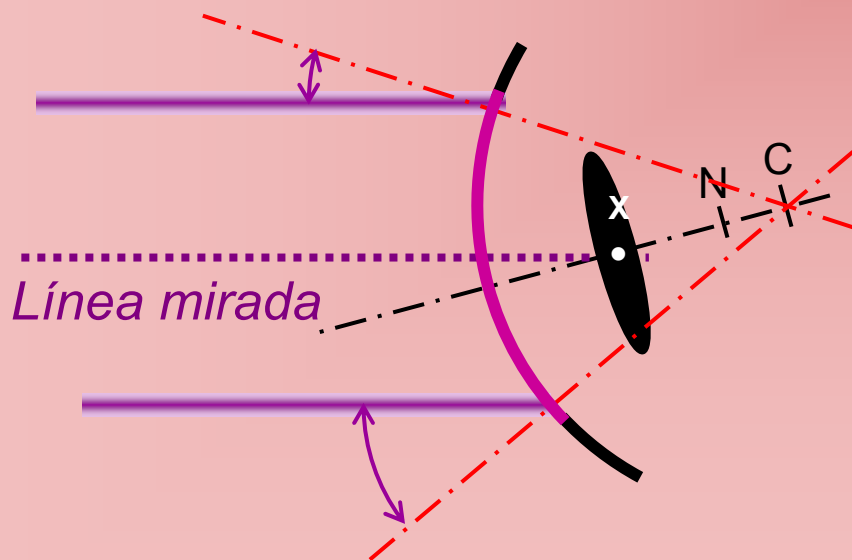


[Uozato y Guyton, 1987]



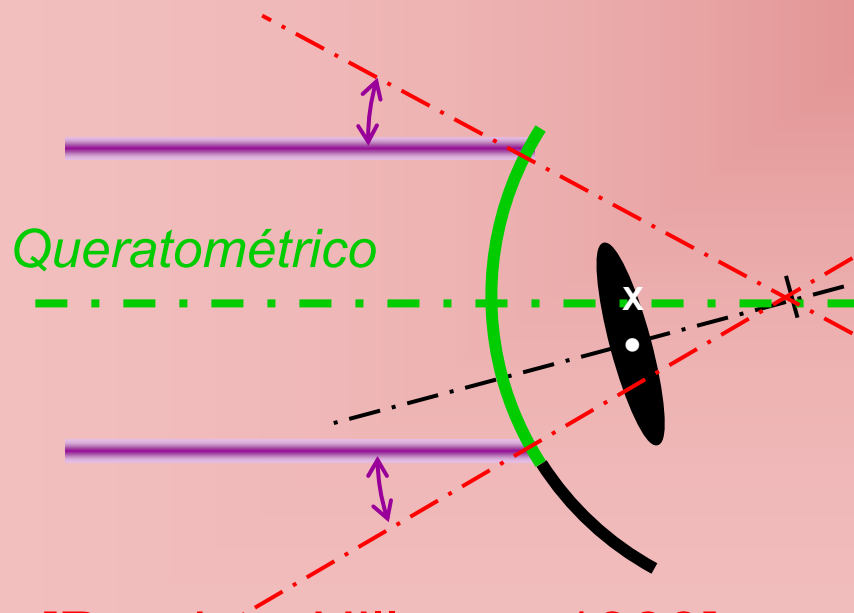
## Centrado de la ablación

Pero el láser va a encontrar una reflexión en cada lado diferente respecto a la superficie corneal, lo que provoca una reflexión asimétrica del láser entre nasal-temporal.

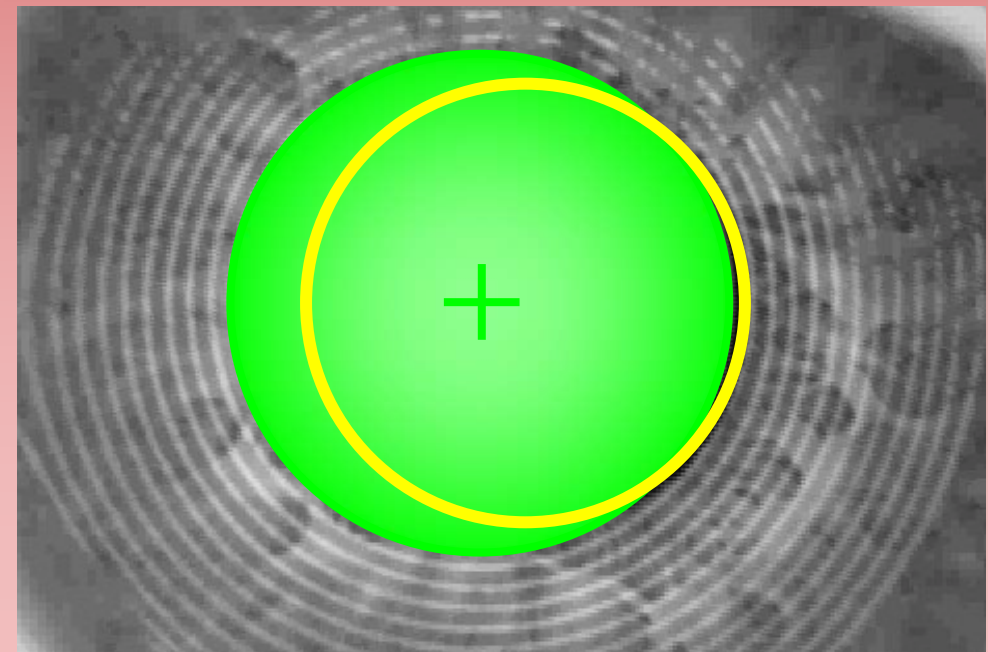


## Centrado de la ablación

La alternativa es centrar sobre el reflejo corneal, para que no hayan reflejos asimétricos al aplicar el láser.

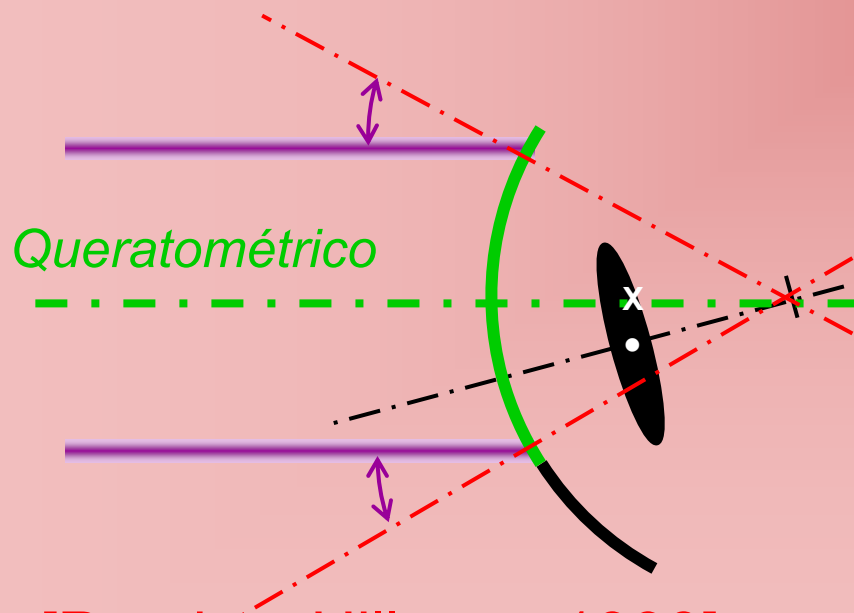


[Pande y Hillman, 1993]

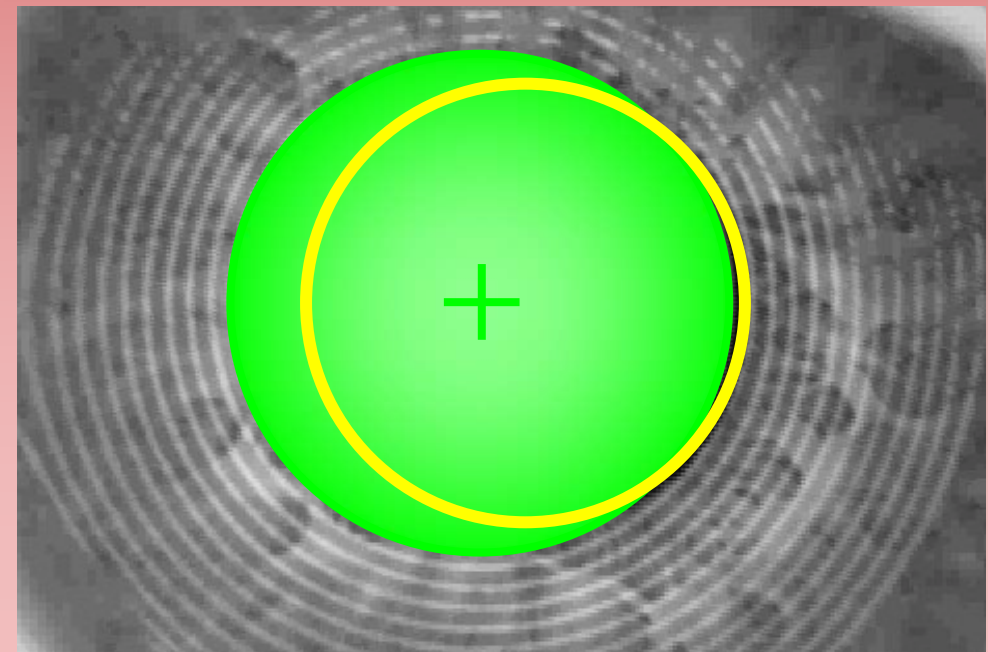


## Centrado de la ablación

Haciendo esto es sencillo que alguna zona corneal situada sobre la pupila quede sin corregir, pudiendo aparecer imágenes fantasma.



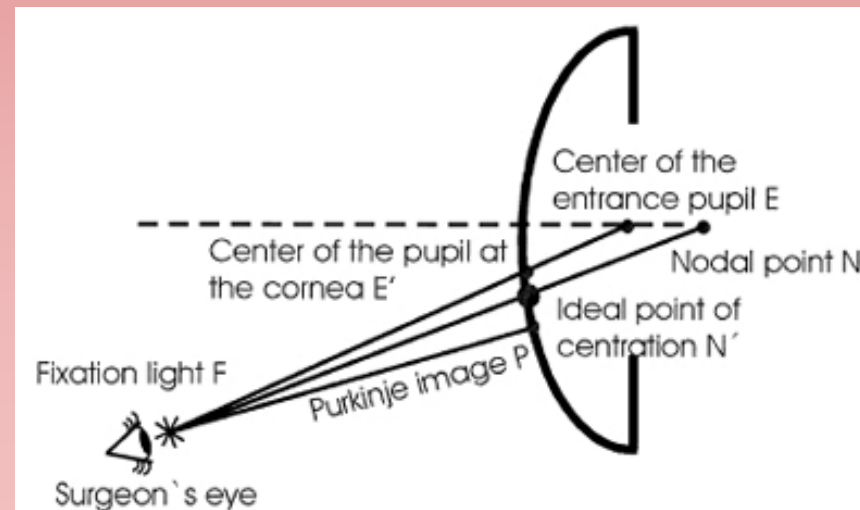
[Pande y Hillman, 1993]





## Centrado de la ablación

- Un desplazamiento de sólo 0.2 mm, causa un aumento considerable de las aberraciones asimétricas del ojo.
- La solución ideal sería situarla sobre el “eje visual”, entre el centro de la pupila de entrada y el reflejo corneal.



[Mrochen et al, 2001]



## Resultados refractivos y visuales de la cirugía refractiva

# Cirugía corneal III



Resultados de la cirugía refractiva:

**PRK:**





## Resultados de la cirugía refractiva:

### PRK (-1.4 a -9.25 D en 24 ojos):

- Error refractivo  $< \pm 1$  D  $\rightarrow$  91%.
- Estable ( $\pm 0.25$  D) del 6<sup>o</sup> al 12<sup>o</sup> mes  $\rightarrow$  58%.
- UCVA  $\geq 20/20$   $\rightarrow$  48%.
- UCVA  $> 20/40$   $\rightarrow$  96%.
- Pérdida de 2 líneas de BCVA  $< 1\%$ .

[Seiler y Wollensak, 1991]



## Resultados de la cirugía refractiva

### PRK (-1 a -14 D):

- Error refractivo  $< \pm 1$  D  $\rightarrow$  86%.
- UCVA=20/20  $\rightarrow$  70%.
- UCVA>20/40  $\rightarrow$  92%.
- Pérdida de 2 líneas de BCVA  $\approx$  1% ( $\downarrow$  miopía).
- Pérdida de 2 líneas de BCVA  $<$  6% ( $\uparrow$  miopía).

[Murray *et al*, 2005]



## Resultados a largo plazo PRK

### > 10 años de seguimiento

- Error refractivo  $< \pm 1$  D  $\rightarrow$  75%.
- Error refractivo  $> \pm 2$  D  $\rightarrow$  8%.
- Regresión miópica media:  $-0.10 \pm 1.08$  D.
- Reintervenciones en un 42%.
- Aumento de la BCVA en un 18% de casos.

Es una cirugía estable en 10-12 años.

[Alió *et al*, 2008] [Rajan *et al*, 2006] [O'Connor *et al*, 2006].

# Cirugía corneal III



## Resultados de la cirugía refractiva

# LASIK:



## Resultados de la cirugía refractiva

### LASIK (<-6 D esf; <-2 D cil):

- Técnica segura, con ↓ pérdida de BCVA.
- Técnica predecible, en cuanto a UCVA post.

[Sugar *et al*, 2002]

# Cirugía corneal III



## Resultados de la cirugía refractiva

### LASIK: Complicaciones



## Resultados de la cirugía refractiva

### LASIK: Complicaciones

- Pérdida de sensibilidad al contraste.
- La destrucción de tejido corneal causa un proceso inflamatorio, con aparición de fibroblastos y turbidez estromal (↑ Difusión).
- Alterar la forma de la córnea provoca un aumento de aberraciones de alto orden.

[Møller-Pedersen *et al*, 2001] [Mohan *et al*, 2000]

[Morreno-Barriuso *et al*, 2001]



## Resultados de la cirugía refractiva

### LASIK:

- Aumento de la sensación de ojo seco.
- El corte de las fibras nerviosas corneal causa pérdida de secreción lipídica.
- Se altera tanto la cantidad como calidad de la lágrima.
- Este problema puede durar unos meses.

[Patel *et al*, 2001] [Yu *et al*, 2000] [Battat *et al*, 2001]





## Libros y algunas direcciones web

*Fisiología del ojo de Adler*, 9ª edición. Hart WM. Ed. Mosby, 1994.

*Biomedical Photonics*. Vo-Dinh T. CRC press, 2002.

*LASIK a handbook for optometrists*. Hanratty M. Ed. Butterworth-Heinemann, 2005.

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

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

[www.barraquer.com.co](http://www.barraquer.com.co) [Instituto Barraquer – Colombia]

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

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

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

[www.rp-photonics.com/yag\\_lasers.html](http://www.rp-photonics.com/yag_lasers.html)

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



## Artículos

Asbell PA, Maloney RK, Davidorf J, Hersh P, McDonald MB, Manche E. Conductive Keratoplasty for the correction of hyperopia. *Tr Am Ophth Soc* 2001;99:79-87.

Chang AW, Tsang AC, Contreras JE, Huynh PH, Calvano CJ, Crnic-Rein TC, Thall EH. Corneal tissue ablation depth and the Munnerlyn formula. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:1204-1210.

Cimberle M. LASEK has more than 1 year of successful experience. *Oc Surg News* 2000:14-17.

Claringbold TV. Laser-assisted subepithelial keratectomy for the correction of myopia. *J Cataract Refract Surg* 2002 Jan; 28(1):18-22.

Durrie DS, Kezirian GM. Femtosecond laser versus mechanical keratome flaps in wavefront-guided laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2005;31(1):120-126.

Fyodorov SN y Durnev VV. Operation of dosaged dissection of corneal circular ligament in cases of myopia of mild degree. *Ann Ophthalmol* 1979;11(12):1885-1890.

Gatinel D, Hoang-Xuan T, Azar DT. Volume estimation of excimer laser tissue ablation for correction of spherical myopia and hyperopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43(5):1445-1449.

Guirao A. Introducción a las técnicas de cirugía refractiva con y sin laser: I, II y III. Ver y Oír 2007-2009.

Geggel HS, Talley AR. Delayed onset keratectasia following laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 1999;25(4):582-586.

Geggel HS. Microkeratome accuracy in LASIK. *Ophthalmology* 2001;108(11):1929-1930.

Kezirian GM, Stonecipher KG. Comparison of the IntraLase femtosecond laser and mechanical keratomes for laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg*. 2004 Apr; 30(4):804-811.



## Artículos

Lans JI. Experimentelle untersuchungen über entstehung von astigmatismus durch nicht-perforierende Corneawunden. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol* 1889;44:117-152.

McDonnell PJ. Radial thermokeratoplasty for hyperopia. I. The need for prompt investigation. *Refract Corneal Surg* 1989;5(1):50-52.

Modis L, Langenbacher A, Seitz B. Corneal thickness measurements with contact and noncontact specular microscopic and ultrasonic pachymetry. *Am J Ophthalmol* 2001;132(4):517-521.

Mohan RR, Hutcheon AEK, Choi R, Hong JW, Lee JS, Mohan RR, Ambrósio Jr R, Zieske JD, Wilson SE. Apoptosis, necrosis, proliferation, and myofibroblast generation in the stroma following LASIK and PRK. *Exp Eye Res* 2002;76(1):71-87.

Moo-Young GA. Lasers in Ophthalmology. *West J Med* 1985;143:745-750.

Moreno-Barriuso E, Merayo-Llodes J, Marcos S, Navarro R, Llorente L, Barbero S. Ocular aberrations before and after myopic corneal refractive surgery: LASIK-induced changes measured with laser ray tracing. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001; 42(6):1396-1403.

Morishige N, Petroll WM, Nishida T, Kenney C, Jester JV. Noninvasive corneal stromal collagen imaging using two-photon-generated second-harmonic signals. *J Cataract Refract Surg* 2006;32(11):1784–1791.

Mrochen M. Increased higher-order optical aberrations after laser refractive surgery. A problem of subclinical decentration. *J Cataract Refract Surg* 2001 Mar; 27(3):362-369.

Murray A, Jones L, Milne A, Fraser C, Lourenço T, Burr J. A systematic review of the safety and efficacy of elective photorefractive surgery for the correction of refractive error. Interventional Procedure Programme. National Institute for Health and Clinical Excellence, April 2005.



## Artículos

Nicoli S, Ferrari G, Quarta M et al. Porcine sclera as a model of human sclera for in vitro transport experiments: histology, SEM, and comparative permeability. *Mol Vis* 2009;15:259-266.

Pallikaris IG, Siganos DS. Excimer laser in situ keratomileusis and photorefractive keratectomy for correction of high myopia. *J Refract Corneal Surg* 1994;10(5):498-510.

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

Pande M, Hillman JS. Optical zone centration in keratorefractive surgery: entrance pupil center, visual axis, coaxially sighted corneal reflex, or geometric corneal center? *Ophthalmology* 1993; 100(8):1230-1237.

Partal AE, Manche EE. Diameters of topographic optical zone and programmed ablation zone for laser in situ keratomileusis for myopia. *J Refract Surg* 2003;19:528-533.

Patel SV, Maguire LJ, McLaren JW, Hodge DO, Bourne WM. Femtosecond Laser versus Mechanical Microkeratome for LASIK: A Randomized Controlled Study. *Ophthalmology* 2007;114(8):1482-1490.

Pop M, Payette Y. Photorefractive keratectomy versus Laser in situ keratomileusis. A control-matched study. *Ophthalmol* 2000;107:251-257.

Pop M, Payette Y. Risk factors for night vision complaints after LASIK for myopia. *Ophthalmology* 2004; 111(1):3-10.

Porter J, MacRae S, Yoon, G, Roberts C, Cox IG, Williams DR. Separate effects of the microkeratome incision and laser ablation on the eye's wave aberration. *Am J Ophthalmol* 2003;136(2):327-337.

Rajan SR, Jaycock P, O'Brart D, Nystrom HH, Marshall J. A long-term study of photorefractive keratectomy – 12-years follow-up. *Ophthalmology* 2004;111(10):1813-1824.



## Artículos

Seiler T, Wollensak J. Myopic photorefractive keratectomy with the excimer laser – one-year follow-up. *Ophthalmology* 1991;98(8):1156-1163.

Seiler T, K Koufala K, Richter G. Iatrogenic keratectasia after laser in situ keratomileusis. *J Refract Surg* 1998 May-Jun;14(3):312-317.

Sugar A, Rapuano CJ, Culbertson WW, Huang D, Varley GA, Agapitos PJ, de Luise VP, Koch DD. Laser in situ Keratomileusis for myopia and astigmatism: Safety and efficacy - A report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology* 2002;109(1):175-187.

Srinivasan R, Sutcliffe E. Dynamics of the ultraviolet laser-ablation of corneal tissue. *Am J Ophthalmol* 1987;103(3):470-471.

Tabernero J, Klyce SD, Sarver EJ, Artal P. Functional optical zone of the cornea. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007; 48(3):1053-1060.

Thoft RA, Friend J. The X, Y, Z hypothesis of corneal epithelial maintenance. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1983;24(10):1442-1443.

Trokel SL, Srinivasan R, Braren B. Excimer laser-surgery of the cornea. *Am J Ophthalmol* 1983;96(6):710-715.

Uozato H, Guyton DL. Centering corneal surgical procedures. *Am J Ophthalmol* 1987 Jun; 103(3):264-275.

Yang Y, Thompson K, Burns SA. Pupil location under mesopic, photopic, and pharmacologically dilated conditions. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43(7):2508-2512.

Yu ETW, Leung A, Rao S, Lam DSC. Effect of laser in situ keratomileusis on tear stability. *Ophthalmology* 2000;107(12):2131-2135.