

Características topográficas del astigmatismo

Antonio Sánchez, Carlos Brito, Óscar Ruiz-Moreno

1. INTRODUCCIÓN

La córnea es el elemento refractivo más potente del globo ocular, por ello, numerosos esfuerzos se han realizado para obtener información cuantitativa y cualitativa sobre la misma. No ha sido una tarea fácil ya que dicha superficie es esférica y no simétrica. En 1984, Klyce, presenta un instrumento que combina las imágenes aportadas por un videoqueratoscopio con técnicas de análisis de imagen, siendo el comienzo de la actual topografía corneal computarizada (1-3).

Entre los antecedentes de la misma, se encuentra la queratometría convencional tipo Javal, capaz de medir solo los 3 mm centrales. Además, asume que la córnea es una superficie esfero-cilíndrica, y por tanto, con un solo radio de curvatura para cada meridiano.

La queratoscopia se desarrolló más tarde, el reflejo del disco de Plácido aporta información cualitativa y es solo capaz de detectar astigmatismos, superiores a 3 dioptrías (4). El astigmatismo se identifica como una elipse en la que el eje más plano es el de mayor longitud y el más curvo el eje menor.

El desarrollo de técnicas refractivas corneales, ha necesitado de una tecnología que permitiera una cuantificación más precisa de la curvatura corneal. La topografía corneal es capaz obtener esta información de modo preciso y reproducible (5-7). La exactitud de estos instrumentos es mayor en el centro que en la periferia y mayor en radios de curvaturas pequeños que grandes (8). La correlación con la mediciones aportadas por el queratómetro es buena (9,10). Los coeficientes de reproducibilidad son altos, con susceptibilidad demostrada al desenfoque y descentrado. Presentan variaciones por debajo de 0,25 dioptrías en el 45% de la mediciones (11,12).

El análisis informático de la imagen queratoscópica, permite una sensible identificación y cuantificación de los astigmatismos. El desarrollo de los mapas codificados desarrollados por Maguire (2), facilita su interpretación. Bogan y Dingeldein presentan una primera clasificación topográfica de las córneas y astigmatismos normales (13,14).

El tipo de topógrafo más utilizado en la práctica clínica es de disco de Plácido, basado en la reflexión especular de luz en la superficie corneal anterior. El presente capítulo se fundamenta, sobre todo, en este tipos de sistemas. Los modelos de elevación se basan en un rastreo omni-direccional que obtiene múltiples imágenes. De este modo se obtiene datos de elevación por triangulación de la curvatura anterior y posterior de la córnea.

2. TIPOS DE MAPAS DE CURVATURA

La inspección visual de los mapas codificados en color es la base del reconocimiento e interpretación de los patrones astigmáticos. Esta información debe ir acompañada de los índices o descriptores cuantitativos.

2.1. Mapa axial

Denominado también, mapa estándar. Los radios de curvatura son calculados en función del eje visual u óptico. El algoritmo matemático, asume que la córnea es de naturaleza esfero-cilíndrica. Por tanto, se ajusta bien a los valores centrales, pero es erróneo en la periferia (fig. 1).

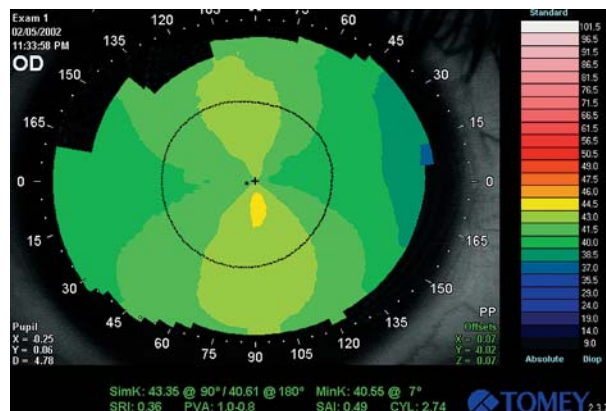


Fig. 1: Mapa Axial. Escala absoluta. Astigmatismo regular.

La utilidad en el astigmatismo es:

- Al ser un mapa de tendencia central, posee una buena correlación con el defecto refractivo esférico y astigmático.
- Aporta información útil sobre la forma global, poder dióptrico global y el modo en que irregularidades periféricas (suturas, incisiones, quemaduras, etc.) pueden afectar a la curvatura corneal central de la que depende la agudeza visual potencial.
- Selección de la K-Simulada para el cálculo de la LIO en córneas normales.

2.2. Mapa tangencial

También conocido por mapa instantáneo. El algoritmo de cálculo de la curvatura es local, independiente del eje visual. No asume ninguna forma corneal previa. Es por tanto, más fiel, sobre la forma de posibles irregularidades astigmáticas (fig. 2).

La utilidad en el astigmatismo es:

- Valoración paracentral y periférica de los meridianos astigmáticos.
- Planificación de cirugía astigmática incisional.
- Valoración general de la córnea periférica.

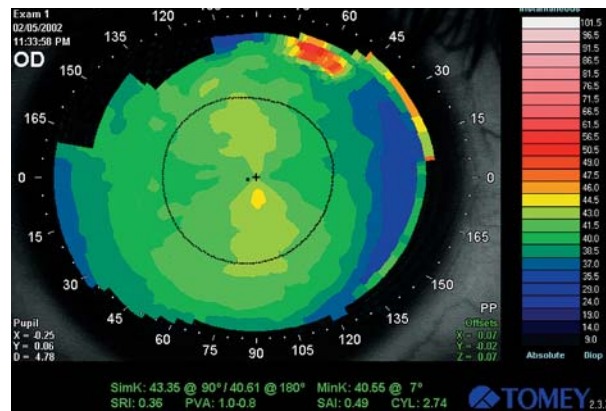


Fig. 2: Mapa Tangencial.
Escala absoluta.
Astigmatismo regular.

- Estudio de la cicatrización post-quirúrgica o en ojos patológicos.
- Determinación de los límites de la ablación después de cirugía refractiva.
- Selección de la K-Simulada para el cálculo de la LIO post-LASIK.

2.3. Mapa de irregularidad

Es realmente un mapa de elevación que compara la topografía actual con la mejor superficie esfero-cilíndrica que se puede adaptar. Es muy importante la valoración en el área pupilar. Este mapa es una medición indirecta de la calidad y potencial visual.

2.4. Mapa diferencial

Muestra los cambios de curvatura corneal entre dos exámenes. Son útiles para monitorizar los cambios y sus efectos sobre la visión o refracción. Tiene utilidad en: exploración del efecto ablativo con láser excímer, evolución de la cicatrización y de la distorsión corneal causada por lentes de contacto (fig. 3).

Este tipo de mapas suele aportar también el cilindro inducido, derivado del análisis vectorial, según cálculos aportados por Norman Jaffee (15,16). Este valor incluye el cambio astigmático en potencia y en orien-

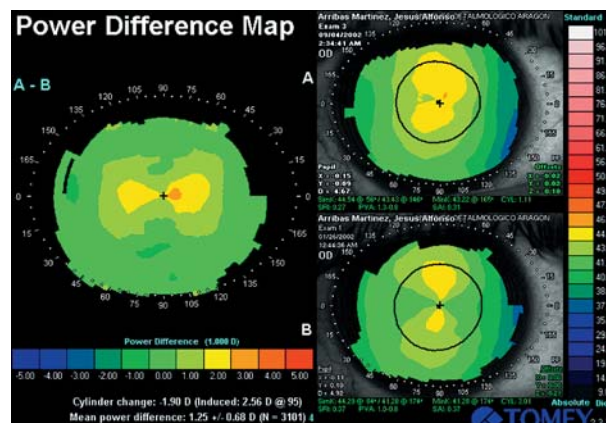


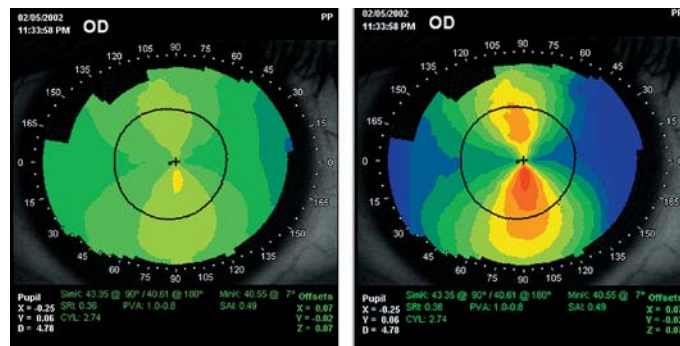
Fig. 3: Mapa diferencial. B: Astigmatismo hipermetrópico. A: Aspecto tras LASIK. A-B: Mapa diferencial. Se observa un aumento de curvatura en el meridiano más plano.

tación del eje, entre dos exploraciones. Dato muy útil para el cálculo exacto del astigmatismo inducido después de procedimientos quirúrgicos.

2.5. Mapas de curvatura y escalas

Los mapas de curvatura se representan en escalas de color, desarrolladas inicialmente por Maguire (2,17) y después por Wilson y Klyce (18) que facilitan la interpretación visual de mapas topográficos con astigmatismo. La superficie corneal es analizada en dos planos, la tercera dimensión (potencia o curvatura corneal) está codificada en colores (fig. 4).

Fig. 4: Astigmatismo regular.
Mapa axial. Izquierda:
Escala
absoluta. Derecha: Escala
relativa.



2.5.1. Escala absoluta

Cada rango dióptrico es representado siempre por el mismo color. El rango se establece entre 1-1,5 dioptrías. Adecuada para la comparación de mapas entre sí. Podemos observar, en cada caso particular, como se adaptan los astigmatismos, a la media, ya que los valores queratométricos medios de la población están representados en color verde. Esta escala se emplea en una primera valoración, para confirmar normalidad y descartar la presencia de patología.

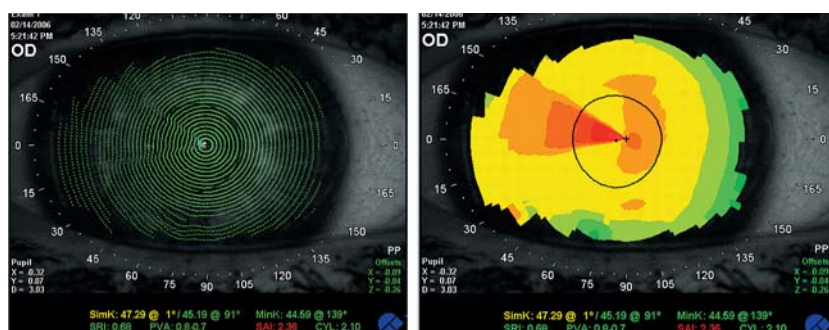
2.5.2. Escala relativa

Adapta el rango de colores a la potencia de la córnea en estudio. Cada valor dióptrico posee un color diferente según la adaptación a los valores queratométricos. Es útil para observar detalles e irregularidades y resalta de un modo visual los astigmatismos.

3. FOTOQUERATOSCOPIA

Es la imagen corneal con las miras circulares proyectadas. Es posible identificar astigmatismo superiores a tres dioptrías. Sobre ella se realiza el rastreo de los anillos circulares proyectados. Es importante observar que los círculos son completos y bien definidos. Es útil para la identificación de artefactos (roturas de la película lagrimal o defectos epiteliales) que nos pueden confundir con astigmatismos de tipo irregular. Por ello, se recomienda acompañar los mapas topográficos con esta imagen (fig. 5).

Fig. 5: Imagen fotoqueratoscópica y mapa topográfico. Astigmatismo irregular por alteración epitelial.



4. DESCRIPTORES CUANTITATIVOS DE LA TOPOGRAFÍA CORNEAL

Comentaremos los más utilizados en la clínica y aquellos que tienen relación con el astigmatismo. Cada instrumento posee los suyos propios. Es importante que el clínico conozca el significado y aplicación práctica de cada uno de ellos (3,5,19,20).

4.1. Cuantificación e identificación de los ejes astigmáticos

Los ejes astigmáticos son definidos como el meridiano corneal con mayor y menor curvatura, pueden ser calculados en la totalidad de la superficie corneal o en zonas o anillos concéntricos.

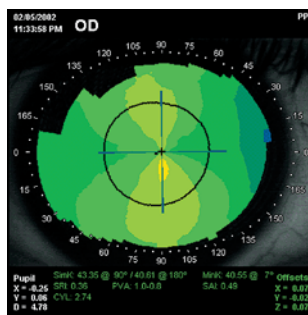


Fig. 6: Ejes queratométricos ortogonales.

4.1.1. Ejes ortogonales

Denominados también ejes queratométricos o queratometría simulada (Sim K). Simulan las mediciones obtenidas por un queratómetro (fig. 6). Determinados en función de la potencia media de los diferentes meridianos dentro de los 3 mm centrales. El eje principal es el de mayor curvatura (SK_1). El eje secundario es obligatoriamente el situado a 90 grados del primero (SK_2), no tiene por que ser obligatoriamente el más plano. De esta medición, se obtiene el cilindro queratométrico simulado, que es la resta entre SK_1-SK_2 .

Es una medición limitada, ya que, las corneas patológicas o postquirúrgicas pueden presentar ejes astigmáticos no ortogonales (fig. 7).

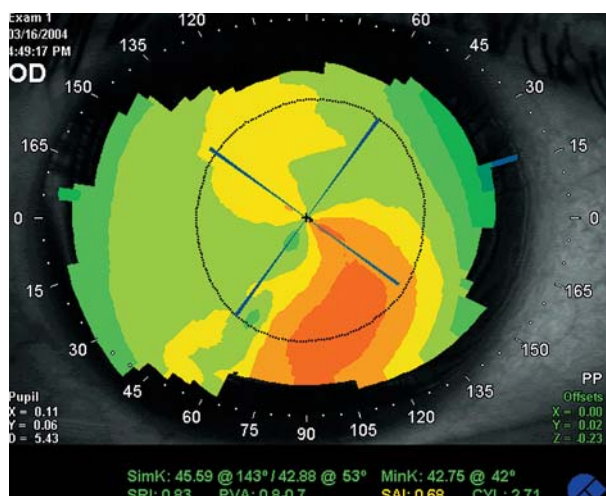


Fig. 7: Ejes ortogonales. Error en la determinación de los ejes por astigmatismo irregular.

4.1.2. Eje queratométrico mínimo

También llamado MinK, presenta el meridiano corneal más plano. Util en meridianos corneales no ortogonales, situación frecuente en el queratocono, queratoplastia penetrante y traumatismo corneal. Empleado para la planificación de cirugía incisional.

4.1.3. Ejes zonales

La misma información, de ejes ortogonales, por zonas: el meridiano corneal más curvo y más plano en anillos corneales concéntricos situados a 3, 5 y 7 mm del centro corneal. En el caso de córneas patológicas, el ajuste del astigmatismo es mejor (fig. 8).

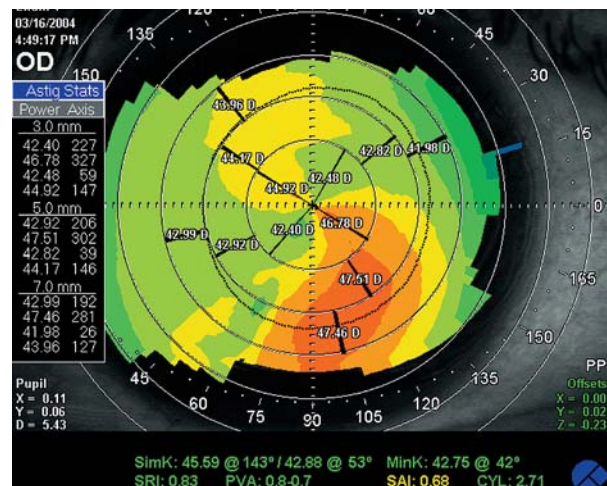


Fig. 8: Ejes ortogonales zonales. Situados a 3, 5 y 7 mm.

4.1.4. Ejes instantáneos

Son los verdaderos meridianos principales y secundarios en cada anillo. Forman una línea continua de máxima y mínima potencia. En el caso de córneas patológicas muestra claramente como los ejes astigmáticos no tienen porque ser ortogonales (fig. 9).

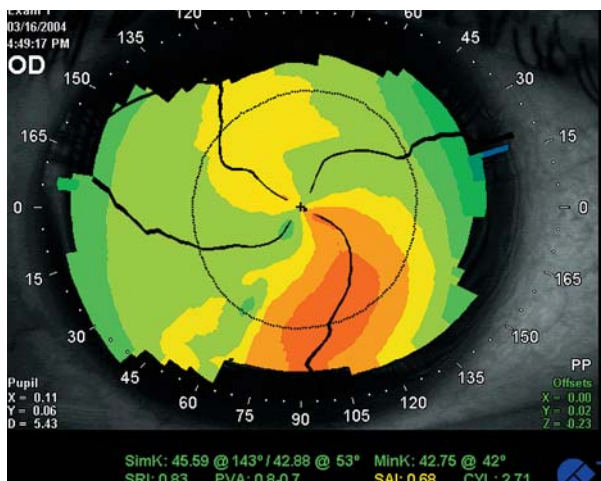
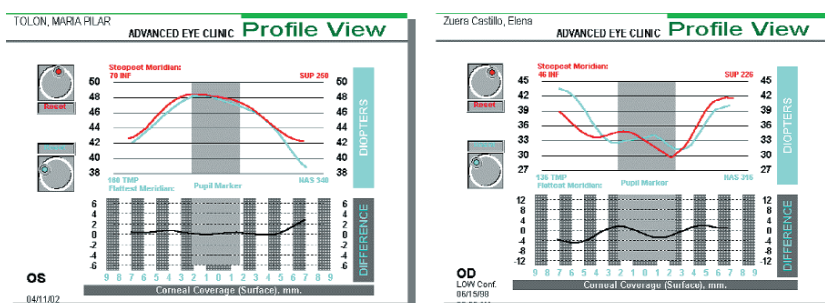


Fig. 9: Determinación instantánea en caso con astigmatismo irregular.

Fig. 10: Perfil corneal.
Izquierda: córnea prolata.
Derecha: córnea oblata.



4.1.4. Perfil corneal

Llamado también mapa meridiano. Basado en los datos de la queratometría simulada. Es un gráfico del perfil del meridiano más curvo y más plano, la diferencia entre ambos y su relación con el área pupilar. Se presenta con una escala milimetrada y de potencia dióptrica. Aporta información sobre los ejes astigmáticos y la asfericidad corneal (fig. 10).

4.2. Descriptores de asfericidad corneal

La córnea normal presenta es esférica, con un aplanamiento progresivo desde el centro hasta la periferia de 3 dioptías aproximadamente.

4.2.1. Factor de Forma Corneal (*Shape Factor Value*)

Índice de los instrumentos Humphrey (Carl Zeiss Group) sobre la asfericidad en el meridiano corneal más plano.

- Si la superficie es perfectamente esférica el valor es 0.
- En córneas prolatas normales (más curvas en el centro que en la periferia) es siempre positivo (fig. 10). El valor normal es 0,13-0,35. Por encima de 0,7 se considera patológico. Por ejemplo, en el queratocono.
- En córneas oblatas (más planas en el centro que en la periferia), el valor es negativo (fig. 10). Por ejemplo, después de cirugía PRK o LASIK.

4.2.2. Índice de excentricidad (*CEI/Corneal Eccentricity Index*)

Aportado por los instrumentos TOMEY (Topographic Modeling System) es un índice semejante, con el mismo significado.

4.3. Descriptores de asimetría corneal

4.3.1. Índice de asimetría de superficie (*SAI/Surface Asymmetry Index*)

Cuantifica la diferencia de potencia corneal entre puntos de un mismo anillo situados a 180°, con una mayor preponderancia de los valores centrales.

En una esfera perfecta radial y simétrica el valor es igual a cero. En una córnea normal, con una distribución regular presenta un valor de SAI $<0,5$. Cuanto mayor es la aproximación a cero, superior es la simetría.

Es útil para el seguimientos de córneas asimétricas como el queratocono, distorsión secundaria porte de lentes de contacto, queratoplastia penetrante o procedimientos quirúrgicos descentrados.

4.3.2. El índice I/S (*Inferior-Superior Index*)

Analiza la asimetría entre los hemisferios corneales superior e inferior y calcula la diferencia media entre cinco puntos a 3 mm de distancia y separados por 30° . No valora la morfología, solo cuantifica la asimetría. Cuando presenta un valor superior 1,4 es sospechoso de queratocono.

4.4. Descriptores de regularidad corneal

4.4.1. Índice de irregularidad de superficie (*SRI/Surface Regularity Index*)

Compara la potencia de puntos contiguos, en la zona central de 4,5 mm de diámetro. Es decir, estudia fluctuaciones locales.

En una esfera perfecta este valor se aproxima a cero. Conforme más se aproxima este valor a cero mayor es la regularidad. Una córnea normal presenta un valor de SRI inferior a 1.

Este índice se correlaciona bien con la agudeza visual potencial y permite la detección de astigmatismo irregulares. Valores altos sugieren una reducción de la mejor agudeza visual corregida. Este valor es aportado por el topógrafo como la agudeza visual en escala de Snellen de un ojo funcionalmente sano.

La ruptura de la película corneal influye de manera muy importante en este índice. Puede ser por déficit de la misma o por un exceso de tiempo de exposición antes de la captación de la imagen fotoqueratoscópica. Es importante, antes de la captación, una distribución homogénea de la lágrima ya sea por el parpadeo o por la instilación de una lágrima artificial.

4.4.2. Índice de astigmatismo irregular (*IAI/Irregular Astigmatism Index*)

Aporta una medición de las variaciones en potencia en cada meridiano de la totalidad de superficie corneal. Esta aumentado en astigmatismo irregulares como la queratoplastia penetrante y puede comprometer la agudeza visual.

4.4.3. Medición de irregularidad corneal (*CIM/Corneal Irregular Measure*)

Utilizado por instrumentos Humphrey (Carl Zeiss Group). Emplea los datos topográficos del área pupilar y los compara con la mejor su-

perficie esfero-cilíndrica posible. Es por tanto, una medición del astigmatismo irregular que no puede ser corregido con lentes correctoras. El valor normal es 0,35-0,68. Cuanto mayor es el valor, más irregular es la superficie. Se considera claramente patológicos valores superiores a 1.1.

4.5. Descriptores en el queratocono

La topografía corneal computarizada es mucho más sensible en la detección del queratocono que la biomicroscopía con lámpara de hendidura, la queratometría convencional y la queratoscopia. En este tipo de patología y otras enfermedades ectásicas, la topografía de elevación (ORBSCAN) tiene una utilidad demostrada, ya que es capaz de identificar las ectasias, descentramientos e irregularidades de la curvatura posterior (fig. 11). Con la finalidad de mejorar el diagnóstico, varios índices han sido desarrollados para sugerir al clínico la presencia de la enfermedad.

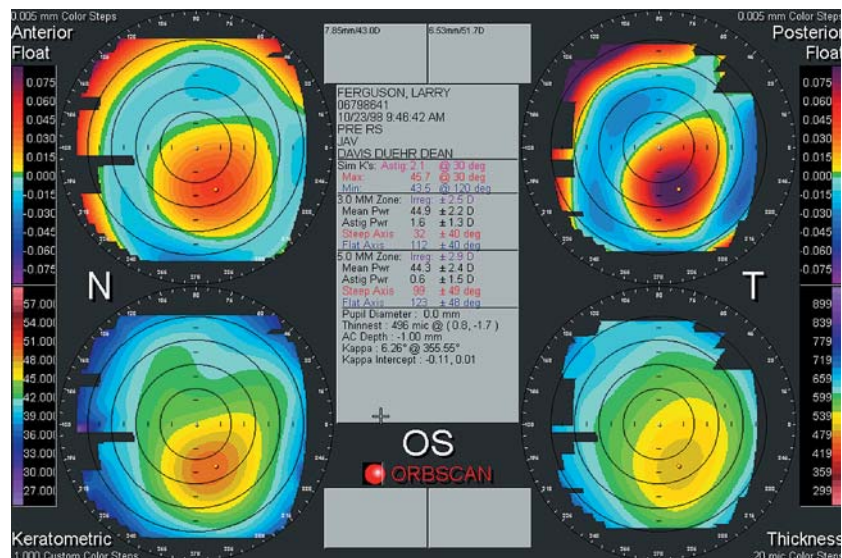


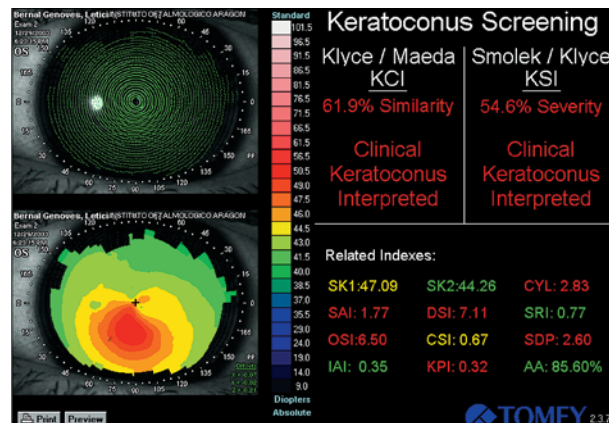
Fig. 11: Topografía de elevación (ORBSCAN). Aumento de curvatura anterior y posterior en queratocono.

4.5.1. Criterios topográficos clásicos (21,22)

- **Asimetría Superior/Inferior:** refleja el característico abombamiento inferior con respecto a la mitad superior. Diferencias de 1,4-1,9 son sugerentes de queratocono. Un valor superior a 1,9 dioptías es considerado positivo.
- **Curvatura corneal central:** sospechosas cuando las lecturas de keratometría simulada están entre 47,2 y 48,7 dioptías. Un valor superior a 48,7 dioptías es positivo.
- **Astigmatismo irregular:** angulación entre los semi-meridianos del eje astigmático superiores a 30 grados son sugerentes de la enfermedad.

La especificidad y sensibilidad ha sido mejorada con otros índices que ayudan al diagnóstico y seguimiento de la enfermedad (23-29) (fig. 12):

Fig. 12: Test de diagnóstico y severidad del queratocono.



4.5.2. Índice de Klyce/Maeda (KCI/Keratoconus Index)

Obtenido a partir de 12 índices (SK1, SK2, SAI, SRI y IAI entre otros). Aporta los resultados en porcentaje de similitud con respecto al patrón de queratocono.

4.5.3. Índice de Smolek/Klyce (KSI/Keratoconus Severity Index)

Compara la imagen actual con una base de patrones topográficos conocidos. Presenta sensibilidad y especificidad próxima al 100%. Es un índice de severidad, ya que se incrementa de modo lineal con la progresión de la enfermedad. Valores superiores a 0,15 son sospechosos y superiores a 0,30 indican claramente queratocono.

4.5.4. Análisis corneal «Pathfinder»

Aportado por instrumentos Humphrey (Carl Zeiss Group), a partir de las mediciones de potencia media apical (TKM), medición de la asfericidad (*Shape Factor Value*) y de la irregularidad (CIM) son capaces de establecer una distinción entre córnea normal, distorsión corneal y queratocono.

TKM (*Mean Toric Keratometry*) cuantifica la potencia corneal central. El valor normal es 43,1-45,9. Cuando presenta un valor superior a 47,2 D es sospechoso de queratocono.

4.5.5. Índice KISA%

Derivado de cuatro variables, K (curvatura central), el índice I/S (asimetría infero-superior), el AST (regularidad) y el SRAX (irregularidad astigmática por oblicuidad o angulación entre semi-meridianos). Tiene una precisión diagnóstica del 99%.

5. PATRONES TOPOGRÁFICOS DE LA CÓRNEA NORMAL

Es necesario conocer las características de normalidad, para detectar una córnea anormal. La curvatura corneal central media es 42-45

dioptrías, con un progresivo aplanamiento hacia la periferia de 2-3 dioptrías, siendo el lado nasal algo más plano que el temporal. Las dos córneas de un mismo paciente son similares en patrón y potencia media. En más del 60% de los casos, los dos ojos presentan la misma forma, pero con una orientación inversa izquierda-derecha, es decir, son imágenes en espejo.

Es posible establecer en 5 grupos, los patrones topográficos considerados normales (13,30) (tablas 1 y 2).

Tabla 1. Clasificación Topográfica de Córneas Normales (Bogan, 1990)

Redonda	23%
Oval	21%
Nudo de pajarita simétrico	17%
Nudo de pajarita asimétrico	32%
Astigmatismo irregular	7%

Tabla 2. Clasificación Topográfica de Córneas Normales (Rabinowitz, 1996)

Redonda	21%
Oval	25%
Abombamiento superior	4%
Abombamiento inferior	12%
Pajarita simétrico	20%
Pajarita simétrico oblicuos	2%
Pajarita asimétrico/más curvatura inferior	7%
Pajarita asimétrico/más curvatura superior	3%
Pajarita asimétrico con ejes oblicuos	1%
Astigmatismo asimétrico	6%

5.1. Córnea esférica y oval

No presenta diferencias importantes entre los meridianos, y por tanto, sin astigmatismo significativo, pueden representar más del 40% de los casos.

5.2. Astigmatismo regular

Según la orientación del meridiano más curvo, presentan una imagen topográfica en reloj de arena (eje vertical curvo) o en nudo de pajarita (eje horizontal más curvo). Representan entre el 17-20% de los casos.

5.3. Astigmatismo irregular

Considerado, en la mayoría de los casos, como anormal. Se identifica básicamente en la topografía con múltiples cambios de potencia en el área pupilar. Hasta un 7% de córneas consideradas normales pueden presentar este patrón. El apartado siguiente describe, los diferentes tipos.

El astigmatismo corneal natural presenta pequeñas variaciones durante la vida. En la infancia la córnea tiende hacia la esfericidad. En la adolescencia, el astigmatismo tiende a evolucionar a favor de la regla. En las personas de edad puede desarrollarse un astigmatismo en contra de la regla relacionado con la presión palpebral.

6. PATRONES TOPOGRÁFICOS DE ASTIGMATISMO

De acuerdo con los criterios descritos por Karabatasas y otros autores (31) (figs. 13, 14 y 15). El astigmatismo topográfico puede dividirse en:

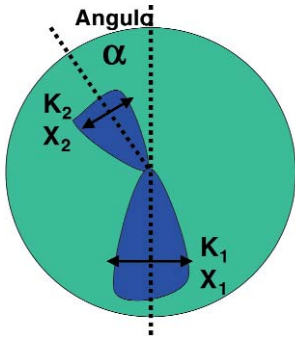


Fig. 13: Criterios de clasificación topográfica de los astigmatismos

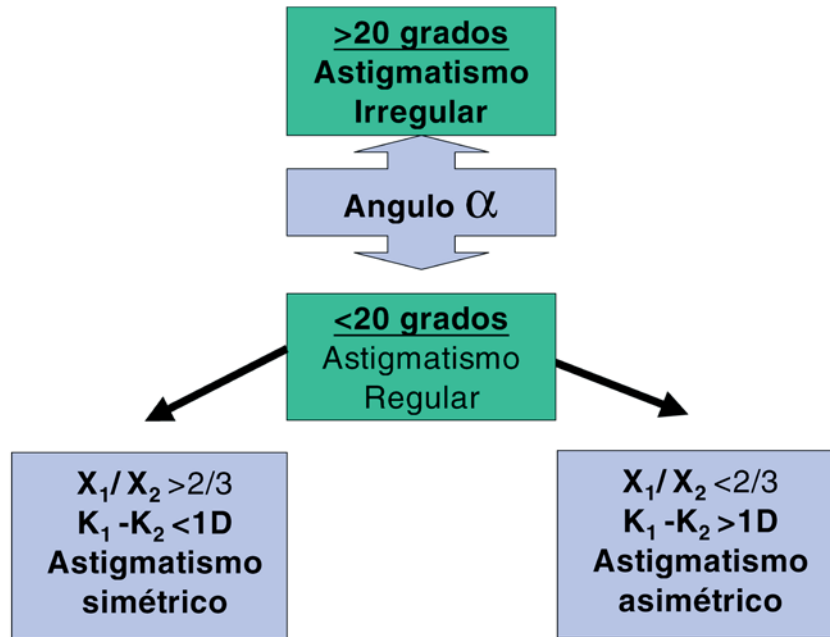


Fig. 14.

Patrones Topográficos de Astigmatismo			
Oval	Regular Simétrico	Regular Asimétrico	Irregular
Curvo/Plano	Curvatura Localizada	Triple	Inclasificable

Fig. 15: Representación de diferentes patrones topográficos de astigmatismo. Rojo: áreas curvas. Azul: áreas planas.

6.1. Astigmatismo en patrón oval

Variante del patrón redondo anastigmático, en este caso el mapa isodíptrico presenta un aspecto oval con una proporción entre el diámetro más corto y más largo, menor a 2/3. Presenta pequeños grados de astigmatismo, habitualmente por debajo de 1 dioptría.

6.2. Astigmatismo regular

Los dos ejes o meridianos principales del astigmatismo están orientados aproximadamente en ángulo recto. El astigmatismo presenta la imagen topográfica de una pajarita o reloj de arena. Siempre que los ejes de las dos mitades de la pajarita o reloj de arena presenten un ángulo (alfa) inferior a 20 grados se considerará regular (figs. 13 y 14).

6.2.1. Regular simétrico

Además de cumplir el criterio anterior:

- La proporción entre la anchura de las mitades de la pajarita es igual o superior a 2/3 ($X_1 / X_2 > 2/3$).
- La diferencia en potencia dióptrica entre los dos extremos del lazo a 1,5 mm aproximado del centro debe ser igual o inferior a 1 dioptría ($K_1 - K_2 < 1$ dioptría).

6.2.2. Regular asimétrico

El patrón es regular, con un aspecto de nudo de corbata, campana o pesa. Debe cumplir además:

- La proporción entre la anchura de las mitades de la pajarita es igual o superior a 2/3 ($X_1 / X_2 < 2/3$).
- La diferencia en potencia dióptrica entre los dos extremos del lazo a 1,5 mm aproximado del centro debe ser igual o inferior a 1 dioptría ($K_1 - K_2 > 1$ dioptría).

6.3. Astigmatismo irregular

La definición es diferente según autores, unos se basan en la variación de la potencia dióptrica central, mientras que otros consideran el tamaño de las áreas. Definimos astigmatismo irregular, cuando los meridianos no están orientados en ángulo recto. Existe, por tanto, una variación de potencia en los ejes radiales.

6.3.1. Irregular oblicuo

Los dos mitades de los ejes principales o meridianos del astigmatismo presentan un ángulo alfa (α) mayor de 20 grados. Presentando un aspecto topográfico de pajarita inclinada o «bi-oblicua». Es característico de córneas patológicas como el queratocono.

Otras variantes irregulares, menos frecuentes, son:

6.3.2. Patrón Curvo-Plano

Un lado del mapa topográfico es plano y evoluciona en el lado contrario hacia el abombamiento progresivo.

6.3.3. Aumento localizado de curvatura

Áreas excéntricas localizadas de abombamiento de menos de 1/4 del diámetro corneal, rodeadas de córnea plana.

6.3.4. Patrón triple

Se distinguen tres meridianos radiales con aumento de curvatura. Solo descrito después de queratoplastia penetrante.

6.3.5. Astigmatismo irregular inclasificable

6.4. Astigmatismo según el perfil corneal (asfericidad)

Hace referencia al contorno de la sección corneal. En función de este criterio, todas las variantes anteriores de astigmatismo, pueden dividirse en:

6.4.1. Prolate

Los ejes presentan una mayor potencia dióptrica en el centro que en la periferia. Es la forma fisiológica normal, con un aplanamiento periférico de 2-3 dioptrías (fig. 10).

6.4.2. Oblate

Los ejes presentan un mayor aplanamiento central que en la periferia. Es un patrón no fisiológico, que se denomina córnea quirúrgica y que puede aparecer después de cirugía refractiva o queratoplastia penetrante.

6.4.3. Mixta

Los ejes presentan características mixtas, con contornos oblate y prolate según meridianos y áreas corneales.

7. APLICACIONES PRÁCTICAS DE LA TOPOGRAFÍA CORNEAL EN EL ESTUDIO DEL ASTIGMATISMO

La topografía corneal es utilizada para la evaluación previa y/o posterior de pacientes en cirugía refractiva, queratoplastia penetrante y cirugía de catarata. Es empleada en la adaptación de lentes de contacto con astigmatismo patológico y en el diagnóstico de la distorsión corneal asociada al uso de lentes de contacto.

7.1. Cirugía refractiva

7.1.1. Cirugía incisional

Imprescindible en la evaluación preoperatoria. Podemos observar la morfología, asimetría y regularidad del astigmatismo y después planificar la intervención (longitud y profundidad de las incisiones). Es preferible usar el mapa tangencial.

En el postoperatorio, en cirugía radial se observa el aplanamiento en el meridiano de la incisión. En la queratotomía arcuata o transversa, el aplanamiento en el meridiano de la incisión y el aumento de curvatura en el eje a 90 grados (acoplamiento).

La topografía no solo cuantifica el grado de aplanamiento, también la regularidad del mismo (35,36).

7.1.2. Láser excimer

- **Evaluación preoperatoria**

Pacientes con astigmatismo irregular y con queratocono deben ser descartados para la misma ya que pueden agravar la enfermedad y los resultados no son adecuados (32,33).

Es necesario conocer la queratometría para predecir situaciones de riesgo peroperatorias. Las córneas planas (<40 dioptrías) se asocian con colgajos libres), mientras que las córneas curvas se relacionan con colgajos finos, incluso con perforaciones centrales del mismo (button hole).

El reconocimiento del queratocono moderado o severo no presenta dificultades. El problema está en la formas subclínicas, frustres o atípicas. Para ello, se han desarrollado una serie de programas de detección y de índices específicos que resultan una ayuda muy útil para el clínico y que han sido previamente descritos en otro apartado.

Tabla 3. Clasificación Topográfica Queratocono (Wilson, 1991)

Severidad	Localización	Forma
Frustre Moderado Severo	Inferior Central Superior	Típico Globo Mamelón

La imagen topográfica del queratocono muestra un abombamiento inferior de forma variable (oval, reniforme, en nudo de corbata) junto con un aplanamiento superior. Pueden clasificarse según Wilson en función de su severidad, localización y forma (34) (tabla 3):

- **Evaluación en el postoperatorio:**

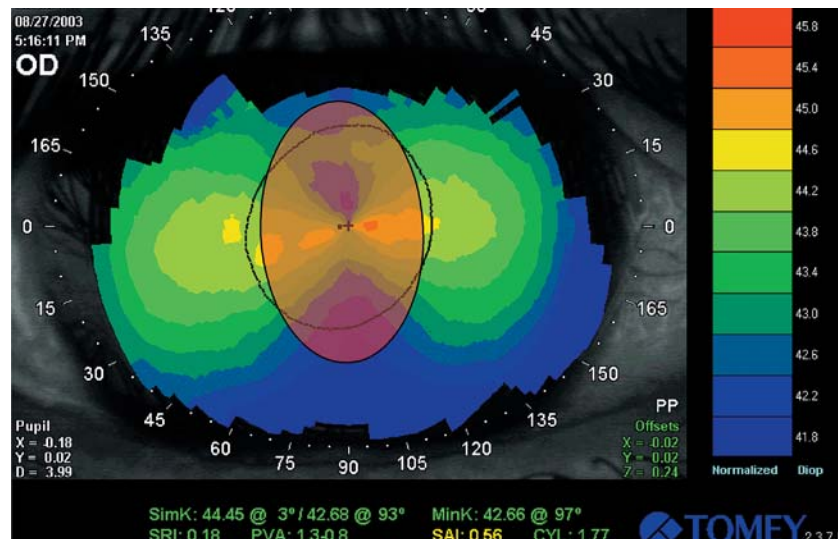
Los mapas topográficos diferenciales son muy útiles para observar el efecto de la ablación láser y controlar la cicatrización y regresión postoperatoria. Ante cualquier pérdida de agudeza visual no justificada, la topografía ayuda a la identificación las causas (37-40).

— Efecto topográfico de la ablación:

Observaremos los cambios queratométricos inducidos y la forma, tamaño, homogeneidad y zona de transición.

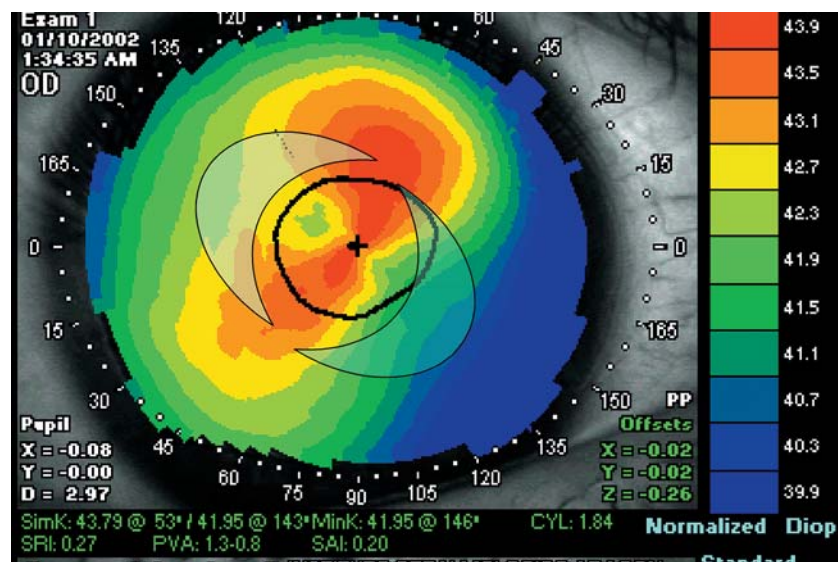
- **Perfil de ablación en el astigmatismo miópico puro:** es de tipo elíptico, con un eje mayor (6 mm) paralelo al cilindro negativo y un eje menor (al menos de 4,5 mm) paralelo el meridiano más curvo. La ablación es máxima en el centro del meridiano más curvo, mientras que en el más plano, la ablación es constante para no modificar la curvatura (fig. 16).

Fig. 16: Patrón de ablación en el astigmatismo miópico puro (sombreado rojo).



- **Perfil de ablación en el astigmatismo hipermetrópico:** es de tipo elíptico, sin efecto a lo largo del meridiano más curvo y máximo en el meridiano más plano, para aumentar su curvatura. Implica la realización de una zona de transición entre ambos (fig. 17).

Fig. 17: Patrón de ablación en el astigmatismo hipermetrópico puro (sombreado azul).



- **Perfil de ablación en los astigmatismos mixtos:** se realiza una corrección bi-tórica o de cilindros cruzados, que consiste en tratar ambos ejes astigmáticos. Aplanar el eje más curvo y curvar el eje más plano (fig. 18).

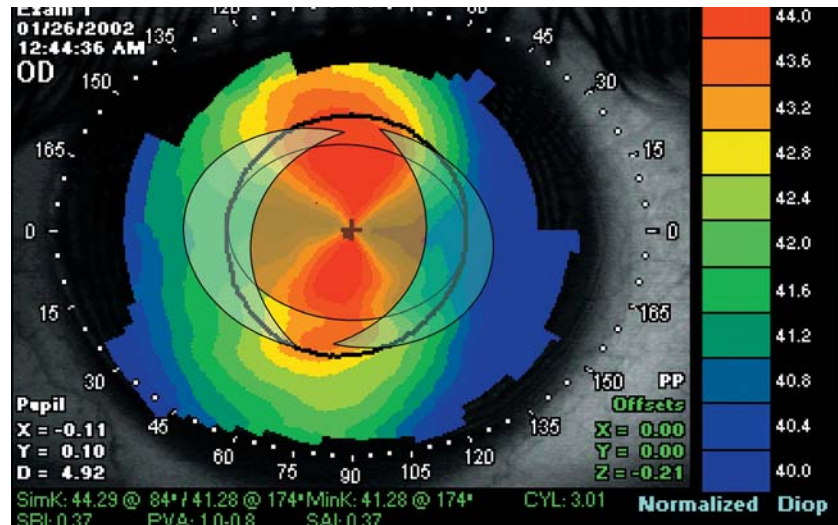


Fig. 18: Patrón de ablación bi-tórica en el astigmatismo mixto, (sombreado rojo + azul).

- **Descentramiento:**

Por error del cirujano o falta de colaboración del paciente. Se asocia a cilindros inducidos, incremento de halos, alteraciones de la visión nocturna y baja agudeza visual. Es difícil determinar en que punto el descentramiento produce síntomas. Se evalúa mediante un mapa diferencial que compara la topografía previa a la ablación con la topografía post-ablación (fig. 19).

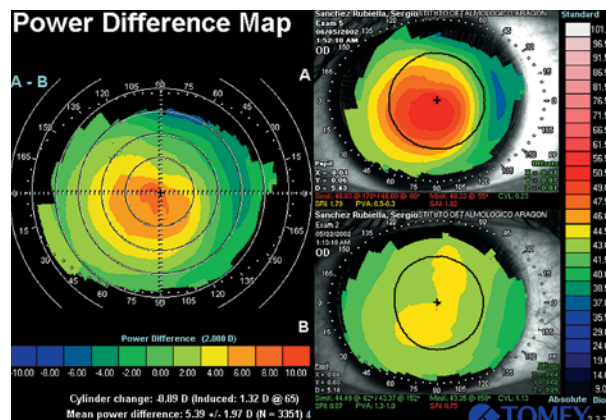


Fig. 19: Mapa diferencial en LASIK hipermetrópico. Puede observarse un leve descentramiento infero-temporal.

- **Regresión:**

Tras la obtención de la corrección óptica deseada, se observa una reparación progresiva del defecto previo y una recuperación parcial de los valores queratométricos anteriores.

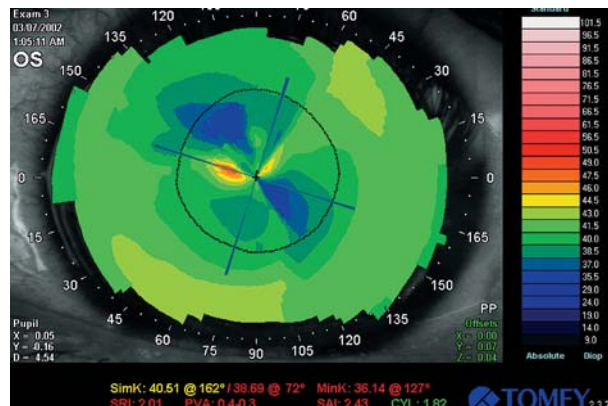
— *Pseudodescentramientos:*

Consecuencia de una cicatrización irregular o asimétrica. Para detectarlo es necesario realizar una topografía en el periodo postoperatorio precoz y observar un buen centrado. Un crecimiento epitelial en la interfase puede también originar el mismo problema.

— *Astigmatismo irregular post-cirugía:*

Tiene múltiples orígenes como, falta de homogeneidad del haz de láser, diferentes niveles de hidratación del estroma corneal, cicatrización corneal anormal, crecimiento epitelial en la interfase (fig. 20). Todas ellas conllevan una pérdida de la agudeza visual corregida. Topográficamente se observa múltiples irregularidades en el área pupilar.

Fig. 20: Astigmatismo irregular post LASIK – Miopía, secundario a crecimiento epitelial en la interfase.



— *Islotes centrales:*

Áreas irregulares elevadas, de menor ablación, de localización central o paracentral dentro de la zona ablacionada. Arbitrariamente, de al menos 1,5 mm de diámetro y 3 dioptrías de elevación. Independientemente de la forma son áreas irregulares con astigmatismo inducido y baja agudeza visual.

7.2. Cirugía de catarata

La topografía corneal ha sido útil para la comprensión del efecto que el tamaño y localización de las incisiones tienen en la cirugía de catarata. Las incisiones están asociadas a un aplanamiento corneal localizado. Al contrario, los puntos de sutura originan un aumento de la curvatura corneal.

7.2.1. Cirugía intracapsular y extracapsular

Cuanto mayor es la incisión, mayor es el astigmatismo inducido. En el postoperatorio precoz el astigmatismo topográfico es a favor de la regla, secundario a la tensión de las suturas y al edema corneal asociado (fig. 21).

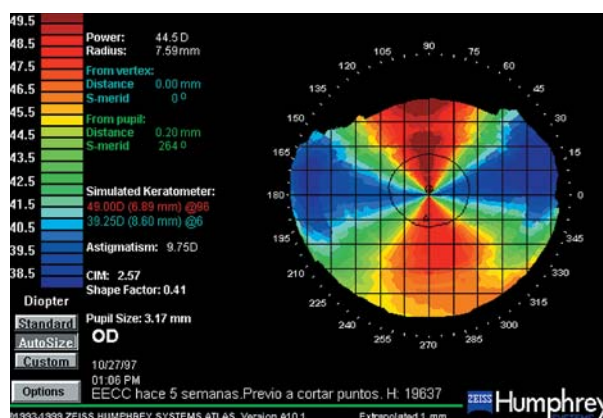


Fig. 21: Astigmatismo inducido por la sutura en extracción extracapsular de catarata.

Después del corte de suturas puede aparecer un astigmatismo inverso, con un aplanamiento en el semi-meridiano superior (41-44).

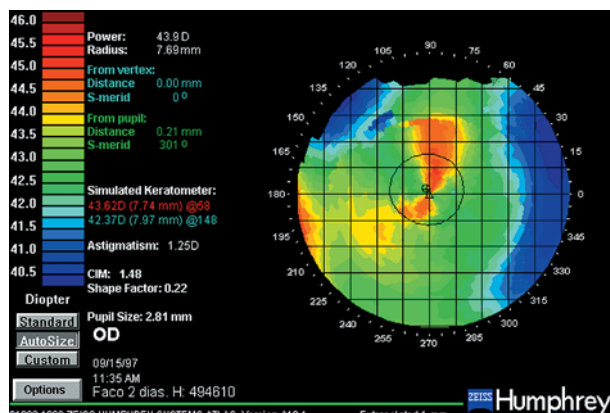


Fig. 22: Leve aplanamiento en semi-meridiano temporal superior, por incisión de 3,0 mm en facoemulsificación. No afecta área pupilar.

7.2.2. Facoemulsificación

El astigmatismo inducido es sensiblemente menor debido a la reducción del tamaño de la incisión (45). Produce un pequeño aplanamiento sectorial en el meridiano de la incisión y un aumento de curvatura en el eje perpendicular. Una incisión de 3,2 mm induce un aplanamiento sectorial medio de 0,5 dioptrías que no afecta al centro corneal (46) (fig. 22). Las incisiones supero-temporales inducen una mayor astigmatismo que las de localización temporal pura. (47).

En el caso de quemaduras de la incisión, el astigmatismo resultante puede ser mayor, en forma de abombamiento marcado en el eje incisional y de carácter permanente (48) (fig. 23).

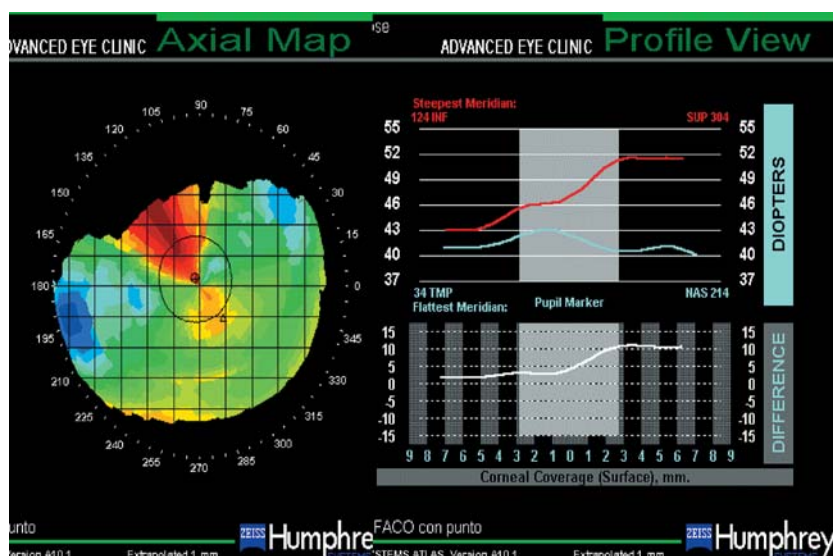


Fig. 23: Mapa topográfico y perfil. Astigmatismo asimétrico post-facoemulsificación con quemadura de la incisión y punto de sutura.

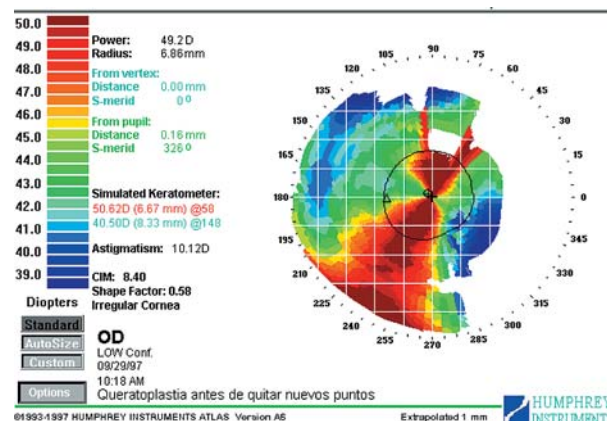
7.3. Queratoplastia penetrante

El trasplante corneal implica una incisión de 360 grados y numerosas suturas. El aspecto topográfico puede ser muy variado e irregular. La topografía corneal es imprescindible en la evaluación y seguimiento del astigmatismo después de queratoplastia penetrante. Es utilizada como guía para la extracción selectiva de suturas y reducción del astigmatismo (49,50).

7.3.1. Astigmatismo precoz

Las suturas con tensión elevada originan un aumento de curvatura en el meridiano de la misma y un aplanamiento en el eje perpendicular (fig. 24). Las suturas con poca tensión o superficiales causan aplanamientos del meridiano correspondiente por falta de coaptación.

Fig. 24: Astigmatismo irregular en queratoplastia penetrante. Previa a la extracción selectiva de suturas.



En el caso de una malposición de los bordes de la herida, un deslizamiento del injerto por debajo del lecho receptor origina un aumento de curvatura, al contrario un desplazamiento por encima origina un aplanamiento. El astigmatismo resultante puede ser regular, irregular o complejo.

7.3.2. Astigmatismo tardío

En el caso de persistir un astigmatismo elevado, la topografía es útil para determinar el emplazamiento y profundidad de las queratotomías arcuadas o suturas de compresión (51-53).

En la queratoplastia penetrante, el astigmatismo irregular y asimétrico, es frecuente y fácilmente identificable. Karabatsas (31) aporta una clasificación, en la que predomina los astigmatismo irregulares (72%) frente a los astigmatismos regulares (24%).

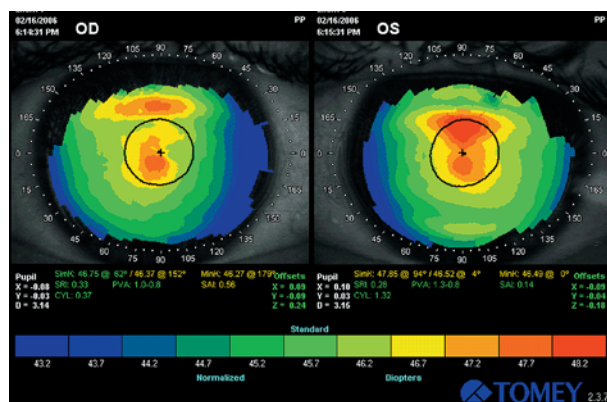
Especialmente útiles resultan los índices de asimetría o irregularidad corneal en la determinación de la agudeza visual potencial.

7.4. Portadores de lentes de contacto

7.4.1. Distorsión corneal

Los portadores de lentes de contacto pueden presentar patrones topográficos anormales de astigmatismo irregular, con una pérdida de la simetría radial y desaparición del aplanamiento fisiológico desde el centro a la periferia (54,55). Las zonas de presión, ocasionan un aplanamiento localizado y un abombamiento contiguo. Pudiendo en ocasiones simular la imagen de un queratocono (56) (fig. 25). Es debido a una afectación fundamentalmente mecánica. La mayoría de los casos son asintomáticos, a veces presentan una intolerancia a las lentes de contacto o una disminución de la agudeza visual con lentes correctoras.

Fig. 25: Distorsión corneal en portador de lentes de contacto rígidas. Aumento de curvatura en semi-meridianos superiores.



Las alteraciones son más marcadas en los portadores de lentes de contacto rígidas. Es recomendable interrumpir el porte de las lentes de contacto durante 2 semanas (lentes blandas), 4 semanas (lentes rígidas), incluso hasta 3 meses en las lentes de PMMA.

7.4.2. Adaptación de lentes de contacto

La topografía corneal es una ayuda importante en la adaptación de las lentes de contacto, sobre todo, en pacientes con astigmatismo irregular. La selección de la lente de prueba rígida gas permeable en el caso de queratocono, queratoplastia o después de cirugía refractiva se establece según la topografía corneal (57-59).

7.5. Astigmatismo en patología corneal

7.5.1. Compresiones externas

Cualquier compresión externa (chalazion, hemangioma) origina en la córnea un aplanamiento corneal localizado junto con un abombamiento contiguo.

7.5.2. Patología de superficie corneal

La topografía corneal basada en el disco de Plácido tiene limitaciones importantes cuando existe patología de la superficie corneal:

- La película lagrimal insuficiente, dificulta la reflexión de los anillos queratoscópicos y origina distorsión de los anillos.
- Irregularidades pequeñas, de tipo epitelial, existe el riesgo de un rastreo o identificación incorrecta de los anillos (fig. 5).
- El pterigión es causa de astigmatismo evolutivo. Se manifiesta en forma de aplanamiento horizontal en el meridiano de la cabeza el pterigion. Es ocasionado por la irregularidad lagrimal y por el efecto contráctil del tejido fibrovascular (60).

7.5.3. Adelgazamiento del estroma corneal

La pérdida de lamelas corneales secundaria a incisión o cicatrización origina equilibrios tensionales nuevos.

- Adelgazamientos centrales/paracentrales moderados y localizados originan un aplanamiento localizado. Sin embargo, conforme aumenta de tamaño pueden ser más abombados.
- Adelgazamientos periféricos originan un aplanamiento en el meridiano perpendicular, debido a relajación. Con un abombamiento de los ejes perpendiculares al aplanamiento (61).

BIBLIOGRAFÍA

1. Klyce SD. Computer-assisted corneal topography. High resolution graphic presentation and analysis of keratometry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1984; 25: 1426-1435.
2. Maguire LJ, Singer DE, Klyce SD. Graphic presentation of computer-analyzed keratometer photographs. *Arch Ophthalmol* 1987; 105: 223-230.
3. Wilson SE, Klyce SD. Advances in the analysis of corneal topography. *Surv Ophthalmol* 1991; 35: 269-277.
4. Rowsey JJ, Reynolds AE, Brown DR. Corneal Topography. *Corneoscope*. *Arch Ophthalmol* 1981; 99: 1093-1100.
5. American Academy of Ophthalmology. Ophthalmic Procedure Preliminary Assessment. Corneal Topography. *Ophthalmology* 1999; 106: 1628-1638.
6. Wilson E, Ambrosio R. Computerized corneal topography and its importance to wavefront technology. *Cornea* 2001; 20: 441-454.
7. Koch DD, Foulks GN, Moran CT, Wakil JS. The corneal eyesys system: accuracy analysis and reproducibility of first-generation prototype. *Refract Crneal Surg* 1989; 5: 424-429.
8. Roberts C. Characterization of the inherent error in a spherically-biased corneal topography system in mapping radially aspheric surface. *J Refract Corneal Surg* 1994; 10: 103-116.
9. Koch DD, Wakil JS, Samuelson SW, Haft EA. Comparison of the accuracy and reproducibility of the keratometer and the Eyesys Corneal Analysis System Model. *J Cataract Refract Surg* 1992; 18: 342-347.
10. Sanders RD, Gills JP, Martín RG. When keratometric measurements do not accurately reflect corneal topography. *J Cataract Refract Surg* 1993; 19: 131-135.
11. Sánchez A, Honrubia FM, Fernández J, Brito C, Pueyo M, Pablo LE. topografía corneal computarizada y queratometría: estudio de exactitud, precisión y correlación de las mediciones. *St Ophthalmologicum* 1996; 15: 281-286.
12. Sánchez A, Honrubia FM, Brito C, Fernández J, Pueyo M. Estudio comparativo de las técnicas actuales de queratometría. *St. Ophthalmologicum* 1995; 14: 201-206
13. Bogan SJ, Waring GO, Ibrahim O, Drews C, Curtis L. Classification of normal corneal topography based on computers-assisted videokeratography. *Arch Ophthalmol* 1990; 108: 945-949.

14. Dingeldein SA, Klyce SD. The topography of normal corneas. *Arch Ophthalmol* 1989; 107: 512-518.
15. Jaffe NS, Clayman HM. The pathophysiology of corneal astigmatism after cataract extraction. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol* 1975; 79: 615-630.
16. Sánchez A, Brito C, Pueyo M, Sánchez MC, Honrubia FM. Análisis vectorial computarizado en coordenadas rectangulares y polares: método de cálculo de diferencias entre mediciones astigmáticas. *St. Ophthalmol* 1994; 13; 2: 119-121.
17. Maguire LJ, Singer DE, Klyce SD. Graphic presentation of computer analysed keratoscope photographs. *Arch Ophthalmol* 1991; 112: 41-45.
18. Wilson SE, Klyce SD, Hussein ZM. Standardized color-coded maps for corneal topography. *Ophthalmology* 1993; 100: 1723-1727.
19. Wilson SE, Klyce SD. Quantitative descriptors of corneal topography. A clinical study. *Arch Ophthalmol* 1991; 109: 349-353.
20. Holladay JY. Corneal topography using the the Holladay diagnostic summary. *J Cataract Refract Surg* 1997; 23: 209-221.
21. Rabinowitz YS, Mc Donnell PJ. Computer-assisted topography in keratoconus. *Refract Corneal Surg* 1989; 5: 400-408.
22. Wilson SE, Lin DTC, Klyce SD. The topography of keratoconus. *Cornea* 1991; 10: 2-8.
23. Maquire LJ, Bourne WM. Corneal topography of early keratoconus. *Am J Ophthalmol* 1989; 108: 107-112.
24. Rabinowitz YS, Nesburn AB, Mc Donnell PJ. Videokeratography of the fellow eye in unilateral keratoconus. *Ophthalmology* 1993; 100: 181-186.
25. Maeda N, Klyce SD, Smolek MK, Thompson HW. Automated keratoconus screening with corneal topography analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1994; 35: 2749-2757.
26. Smolek MK, Klyce SD. Current keratoconus detection methods compared with a neural network approach. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1997; 38: 2290-2299.
27. Rabinowitz YS. Videokeratographic indices to aid in screening for keratoconus. *J Refract Surg* 1995; 11: 371-379.
28. Maeda N, Klyce SD, Smolek MK. Comparison of methods to detecting keratoconus using videokeratoscopy. *Arch Ophthalmol* 1995; 113: 870-874.
29. Rabinowitz YS, Rasheed K. KISA% index: a quantitative videokeratography algorithm embodying minimal topographic criteria for diagnosing keratoconus. *J Refract Surg* 1999; 25: 1327-1335.
30. Rabinowitz YS, Yang H, Brickman Y. Videokeratography database of human normal corneas. *Br J Ophthalmol* 1996; 80: 610-616.
31. Karabatsas CH, Cook S, Sparrow JM. A proposed classification for topographic patterns seen after penetrating keratoplasty. *Br J Ophthalmol* 1999; 83: 403-409.
32. Wilson SE, Klyce SD. Screening for corneal topographical abnormalities before refractive surgery. *Ophthalmology* 1994; 101: 147-152.
33. Nesburn AB, Bahri S, Salz J. Keratoconus detected by videokeratography in candidates for photorefractive keratectomy. *J Refract Surg* 1995; 11: 194-201.
34. Wilson SE, Lin DTC, Klyce SD. Corneal topography of keratoconus. *Cornea* 1991; 10: 2-8.
35. Mc Donnell PJ, Garbus J. Corneal topographic changes after radial keratotomy. *Ophthalmology* 1989; 96: 45-49.
36. Bogan SJ, Maloney SK, Drews CD, Waring GO III. Computer-assisted videokeratography of corneal topography after radial keratotomy. *Arch Ophthalmol* 1991; 109: 834-841.
37. Wilson SE, Klyce SD, Mc Donald MB. Changes in corneal topography after excimer laser photorefractive keratectomy for miopía. *Ophthalmology* 1991; 98: 1338-1347.
38. Schwartz-Goldstein BH, Hersh PS. Corneal topography of phase III excimer laser photorefractive keratectomy. Optical zone centration analysis. Summit Photorefractive Keratectomy Topography Study. *Ophthalmology* 1995, 102: 951-962.

39. Lin DTC. Corneal topographical análisis after excimer photorefractive keratectomy. *Ophthalmology* 1994; 101: 1432-1429.
40. Levin S, Carson CA, Garret SK, Taylor HR. Prevalence of central islands after excimer laser refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 1995; 21: 21-26.
41. Mafra A, Dave AS, Pilai CT. Prospective study of corneal topographical changes produced by extracapsular cataract surgery. *Cornea* 1996; 15: 196-203.
42. Sánchez A, Brito C, Torrón C, Ferrer E, Pablo L, Tamargo MD. Astigmatismo corneal postquirúrgico en la pseudofaquia: evolución natural y control despues del corte selectivo de suturas. *Arch Soc Esp Oftal* 1994; Vol 57: 673-682.
43. Sánchez A, Brito C, Pinilla I, Pablo LE, Fernández FJ, Honrubia FM. Astigmatismo postquirúrgico en la pseudofaquia: estudio comparativo entre diferentes tipos de incisión. *Arch Soc Esp Oftal* 1996; 70: 333-342.
44. Bueno J, Brito C, Sánchez A, Fernández FJ, González I, Pueyo M. Astigmatismo postquirúrgico en la pseudofaquia: estudio comparativo entre nylon y prolene. *Microcirugía Ocular* 1997 5 55-60.
45. Brito C, Ballarín T, Sánchez A, Pueyo M, Pablo LE, Tamargo MD. Astigmatismo tras facoemulsificación con pequeña incisión. Estudio comparativo. *Microcirugía ocular* 1996; 5: 65-71.
46. Oshika T, Tsuboi S, Yaguchi S. Comparative study of intraocular lens implantation through 3.2 and 5.5 mm incisions. *Ophtalmology* 1994; 101: 1183; 1190.
47. Rainer G, Menapace R, Vass C. Corneal shape changes after temporal and superolateral 3.0 mm clear corneal incisions. *J Cataract Refract Surg* 1999; 25: 1121-1126.
48. Sugar A, Schertzer RM. Clinical course of phacoemulsification wound burns. *J Cataract Refract Surg* 1999; 25: 688-692.
49. Brito C, Sánchez A, Pinilla I, Pablo L. Control del astigmatismo en queratoplastia mediante corte selectivo de suturas. *Arch Soc Esp Oftal* 1996; 70: 573-578.
50. Strelow S, Cohen EJ, Leavitt KG, Laibson PR. Corneal topography for selective suture removal after penetrating keratoplasty. *Am J Ophthalmol* 1991; 112: 657-665.
51. Maguire LJ, Bourne WM. Corneal topography of transverse keratotomies for astigmatism after penetrating keratoplasty. *Am J Ophthalmol* 1989; 107: 323-330.
52. Koffer BH, Smith VM. Corneal topography, arcuate keratotomy, and suture compression sustures for astigmatism after penetrating keratoplasty. *J Refract Sueg* 1996; 12: 306-309.
53. Brito C, Sánchez A, Bueno J, Rojo A. Cirugía refractiva del macroastigmatismo postqueratoplastia. *Microcirugía Ocular* 1997; 5: 33-36.
54. Wilson SE, Lin DTC, Klyce DS. Topographical changes in contact lens induced corneal warpage. *Ophthalmology* 1990; 97: 734-744.
55. Ruiz-Montenegro J, Mafra CH, Wilson SE, Jumper JM, Klyce SD, Mendelson EN. Corneal topographic alterations in normal contact lens wearers. *Ophthalmology* 1993; 100: 128-134.
56. Smolek MK, Klyce SD, Maeda N. Keratoconus and contact lens-induced corneal warpage analysis using the keratomorphic diagram. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1994; 35: 4192-4204.
57. Rabinowitz YS, Garbus JJ, Garbus C, Mc Donnell PJ,. Contact lens selection for keratoconus using a computer-assited videokeratoscope. *CLAO J*, 1991; 17: 88-93.
58. Wasserman D, Itzkowitz J, Kamenar T, Asbel PA. Corneal topographical data: its use in fitting aspheric contact lenses. *CLAO J*. 1992; 18: 83-85.
59. Lopatynsky M, Cohen EJ, Leavitt KG, Laibson PR. Corneal topography for rigid gas permeable lens fitting after penetrating keratoplasty. *CLAO J* 1993; 19: 41-44.
60. Pavilak MA, Halpern BL. Corneal topographical changes induced by pterigia. *J Refract Surg* 1995; 11: 92-95.
61. Rumelt S, Rehany U. Computerized corneal topographyof furrow corneal de-generation. *J Cataract Refract Surg* 1997; 23: 856-859.