

## Sistema automatizado para la representación tridimensional de datos topográficos corneales

**ELIAS PÉREZ YERN (1), ANTONIO FIMIA GIL (2), FELIPE MATEOS ÁLVAREZ (3), INMACULADA PASCUAL VILLALOBOS (4), LUIS CARRETERO LOPEZ (5).**

(1)Diplomado en Óptica, Becario FPI, (2) Doctor en Física, (3) Doctor en Física, (4) Doctor en Física, (5) Doctor en Física. Dpto. Interuniversitario de Óptica, Univ. de Alicante.

### RESUMEN

**Objetivo.** Los videoqueratógrafos presentan generalmente los resultados en mapas bidimensionales. A veces resulta útil una representación tridimensional. Hemos desarrollado un sistema de representación tridimensional de la córnea a partir de datos videoqueratógráficos, y calculado las variaciones aparecidas al compararla con diversas superficies esféricas.

**Material y método.** El programa Sagitex-PFPMC utiliza matrices de resultados del CM-1000 transformándolas en coordenadas X-Y-Z. Se estudió el error inducido al considerar la córnea como una superficie esférica y la desviación de esferas de referencia.

**Resultados.** Cuatro diferentes superficies fueron representadas mediante el sistema Sagitex-PFPMC. Los resultados consistieron en superficies tridimensionales editables de diferentes formas.

**Conclusiones.** Los resultados fueron coherentes con las topografías. El Sagitex-PFPMC se mostró como una importante herramienta potencial. El error inducido al considerar la córnea como una superficie esférica fue importante. Además, las diferencias frente a las esferas de referencia se hicieron relevantes en las córneas de alta curvatura y astigmática.

**Palabras clave:** sagita, superficie corneal, radio corneal, videoqueratoscopio.

### ABSTRACT

SYSTEM FOR THE THREE-DIMENSIONAL REPRESENTATION OF TOPOGRAPHIC DATA

**Objective.** The videokeratographers normally present the results in a two-dimensional map, but sometimes it is useful a three-dimensional representation. We have developed a three-dimensional representation system of the cornea through

the videokeratographic data, and we have calculated the emerging variations comparing the cornea with different spherical surfaces.

**Material and methods.** The Sagitex-PFPMC program uses the results matrix of the corneal topographer Topcon CM-1000 and it converts them into X-Y-Z co-ordinates. It was studied the induced error in considering the cornea as spherical surface as well as the deviation of the reference spheres.

**Results** Four different surfaces were represented through the Sagitex-PFPMC system. The result consisted of three-dimensional surfaces editable in different ways.

**Conclusions.** The results were coherent with the topographies. The Sagitex-PFPMC seemed to be an important potential tool. The induced error in considering the cornea as a spherical surface was important. Moreover, differences between the reference spheres became relevant in high curvature and astigmatic corneas.

**Key Words:** *Corneal radius, corneal surface, sagitta, videokeratoscope.*

## INTRODUCCIÓN

La topografía corneal es un campo de creciente interés dentro de las Ciencias de la Visión. El conocimiento de la morfología exacta de la córnea ha sido un concepto que ha movido a la creación de diferentes métodos de medida de dicha topografía<sup>1</sup>. Dichos métodos han evolucionado hasta llegar hoy en día a videoqueratoscopios que utilizan técnicas informáticas para la representación de los resultados. Aunque el principio del Disco de Plácido, en el que la morfología es analizada mediante el estudio de las imágenes reflejadas en la córnea de un conjunto de miras circulares concéntricas, sigue siendo el más utilizado, otros métodos como la estereofoto-

grametría<sup>2</sup> y las técnicas holográficas<sup>3</sup> están también en uso.

Dichos sistemas utilizan generalmente para la representación de resultados un conjunto de mapas de colores editables en dos dimensiones, acompañados de una cierta cantidad de datos cuantitativos. Ya han sido reseñadas, sin embargo, las mayores ventajas e inconvenientes que pudiera tener una representación tridimensional de la superficie corneal<sup>4,5</sup>. En efecto, aunque para determinadas aplicaciones como la adaptación de lentes de contacto puede resultarnos suficiente con el conocimiento de determinados parámetros topográficos como el radio apical, el astigmatismo corneal, etc., en otras aplicaciones es necesaria una mejor y más clara presentación de los datos relativos a la morfología corneal. En estos casos, el uso de datos tridimensionales, por ejemplo sagitas, en lugar de radios ayuda al especialista a visionar mejor el campo en el que va a tener que moverse dentro de su actuación profesional. Sin embargo, cabe reseñar que mediante una representación tridimensional, tal como indican Corbett et al<sup>4</sup>, se corre el peligro de perder sensibilidad, llegando a ser detectables sólo los grandes defectos morfológicos de la superficie corneal. El sistema Sagitex-PFPMC es un conjunto de programas informáticos que permite un visionado rápido y simple de la topografía corneal tanto en dos como en tres dimensiones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso completo de representación de mapas tridimensionales se encuentra representado en el diagrama de flujo de la *figura 1*. El sistema Sagitex-PFPMC se basa en los datos proporcionados por un topógrafo corneal Topcon CM-1000. Dicho sistema está basado en el principio ya comentado del Disco de Plácido. La precisión de este aparato ya ha sido comprobada en un estudio anterior<sup>6</sup>. El aparato consiste en un cabezal con el

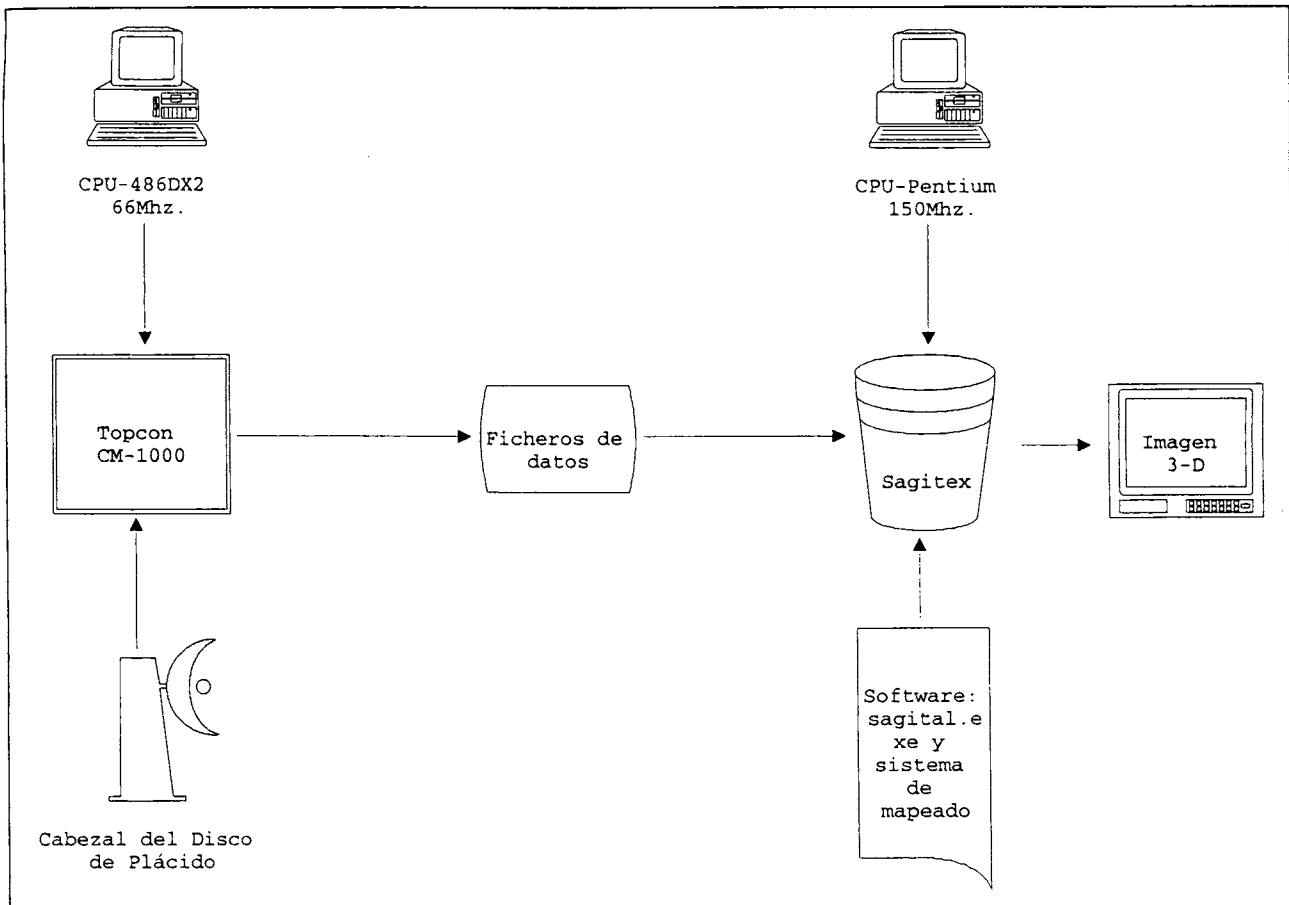


Figura 1. Diagrama de flujo representativo del proceso automático de extracción de mapas tridimensionales corneales.

Disco de Plácido que captura las imágenes y un ordenador que contiene el software que edita los mapas de color. Dicho software es además capaz de proporcionar ficheros ASCII de datos de radio corneal. Dichos ficheros consisten básicamente en una matriz de 360 líneas x 7 columnas. Cada línea corresponde a un semimeridiano separado de los adyacentes por una distancia angular de 1°. Así mismo, cada columna corresponde a un punto de medida a lo largo de cada semimeridiano. Dichos puntos de medida se encuentran separados entre ellos por una distancia lineal de 0.50 mm, encontrándose el más próximo al centro a 0.50 mm del mismo. Dentro de esta zona no se proporcionan datos cuantitativos en los ficheros, pero sí efectuando medidas puntuales dentro de los diversos mapas bidimensionales de colores proporcionados por el topógrafo. Topcon no especifica en la documentación aportada si estos datos se miden realmente o si se trata de aproxima-

ciones. Así pues tenemos 2520 puntos de medida por cada córnea.

A través de un algoritmo de cálculo desarrollado por nosotros, transformamos los radios proporcionados por el topógrafo en sagitas, que serán representadas en el eje Z de los mapas tridimensionales. El procedimiento completo puede observarse fácilmente en el *diagrama 1*. En primer lugar, se ha procedido a promediar los radios de la zona central de la topografía corneal (0.5 mm de radio) para obtener un radio que hemos denominado "paraxial" ( $R_p$ ). Conociendo para cada uno de los puntos el radio sagital de curvatura ( $R$ ), así como su distancia al centro de la topografía ( $j$ ) podemos calcular fácilmente mediante el algoritmo desarrollado por nosotros la sagita ( $sag$ ) para cada punto. Recordemos que utilizamos los radios sagitales proporcionados por el topógrafo, radios que aparecen ya definidos en la bibliografía existente <sup>7,8</sup> como el radio de curvatura medido respecto a un eje

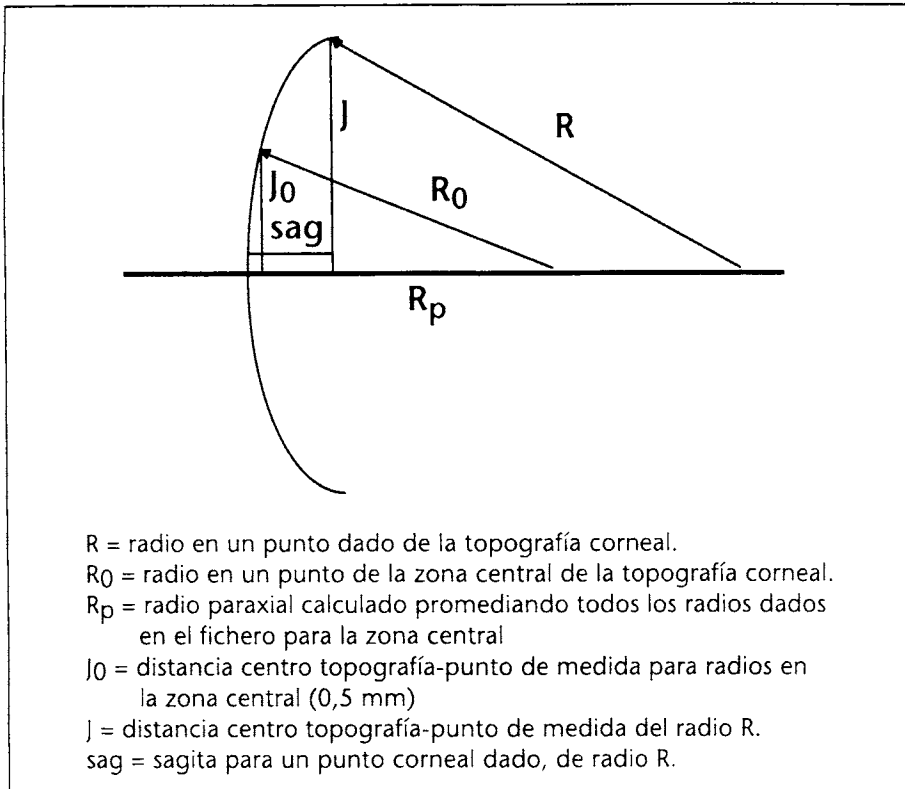


Diagrama 1: Representación gráfica de la sección de un meridiano corneal con los parámetros utilizados para el cálculo de las sagitas corneales.

de referencia, que sería perpendicular a la zona central de la topografía. El radio paraxial medido muestra una baja desviación estándar para todos los casos. Asimismo, la dirección +X (horizontal > 0) corresponderá al lado nasal en los ojos derechos y al temporal en los ojos izquierdos. La dirección + Y (vertical > 0) corresponde en ambos ojos al lado superior.

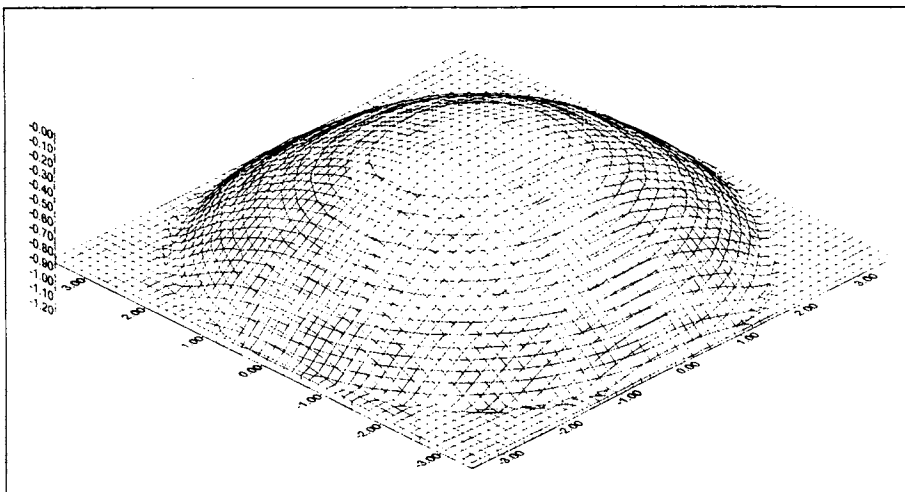


Figura 2: Figura tridimensional correspondiente a una esfera calibrada de 7.80 mm de radio. Las sagitas, para esta y para todas las siguientes figuras, se representan en el eje vertical (elevaciones).

Según explican Young, Talamo y Siegel<sup>9</sup> en su trabajo, el estudio llevado por ellos a cabo les hace suponer una superficie corneal esférica y suave, lo que induce un error. Nosotros hemos estudiado cómo afectaría dicho error en córneas reales comparando mapas realizados con sagitas calculadas por nosotros con otro mapa de la misma córnea realizado suponiendo que la córnea humana tiene una forma "esférica". De lo observado en las figuras presentadas por los autores anteriores y comparándolas a diversas aproximaciones

de esfericidad realizadas, hemos llegado a la conclusión (ya que los autores no explican exactamente en su trabajo en qué consiste la "esfericidad" de sus córneas) de que Young et al. supusieron la esfericidad de la córnea otorgando un centro de curvatura común a todos los puntos de la superficie corneal, incluso en zonas periféricas, donde esto es incierto a priori

en función de la naturaleza conocida de la morfología corneal. Nosotros hemos utilizado igualmente esta suposición de "esfericidad" para contrastar el error existente y que los autores citados ya suponen al realizar su trabajo. Hemos calculado, además, la diferencia existente punto por punto entre la sagita de la superficie corneal y una esfera de referencia. Posteriormente, hemos representa-

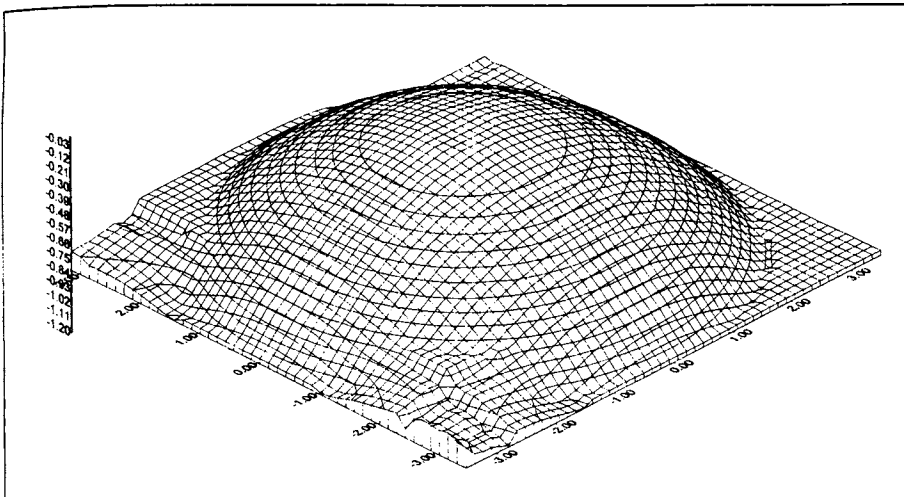


Figura 3: Figura tridimensional correspondiente a un ojo carente de astigmatismo corneal y radio central estadísticamente normal (8.00 mm aprox.).

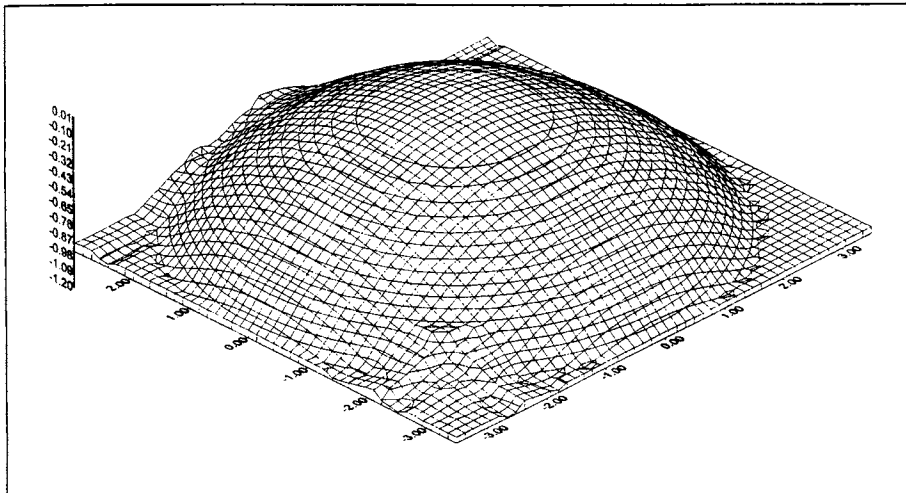


Figura 4: Figura tridimensional correspondiente a un ojo carente de astigmatismo corneal y radio central elevado (7.20 mm aprox.).

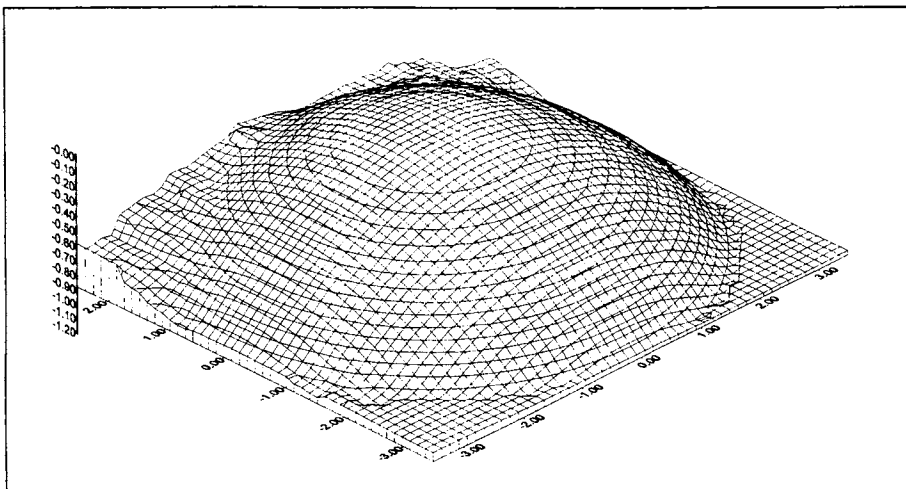


Figura 5: Figura tridimensional representativa de una córnea con un elevado grado de astigmatismo corneal (3.67 D).

do dichas diferencias en mapas tridimensionales. La esfera de referencia consiste para cada córnea en una esfera de radio igual al radio apical de la córnea y tangente a la misma en el punto de corte entre la córnea y el eje refractivo (eje de referencia para la medida de radios corneales).

## RESULTADOS

Cuatro diferentes superficies, a saber, una esfera calibrada de 7.80 mm de radio, una córnea carente de astigmatismo con curvatura estadísticamente normal, una córnea de alta curvatura correspondiente a un ojo miope con un error refractivo superior a las diez dioptrías y una córnea fuertemente astigmática ( $A > 3.50$  D) fueron capturadas por el CM-1000 y posteriormente representadas con el Sagitex-PFPMC.

La figura 2 representa el mapa tridimensional correspondiente a una esfera calibrada de PMMA negro proporcionada por Conóptica España de 7.80 mm. de radio. En la figura 3 se observa el mapa en tres dimensiones de una córnea esférica y con una curvatura central dentro de valores esta-

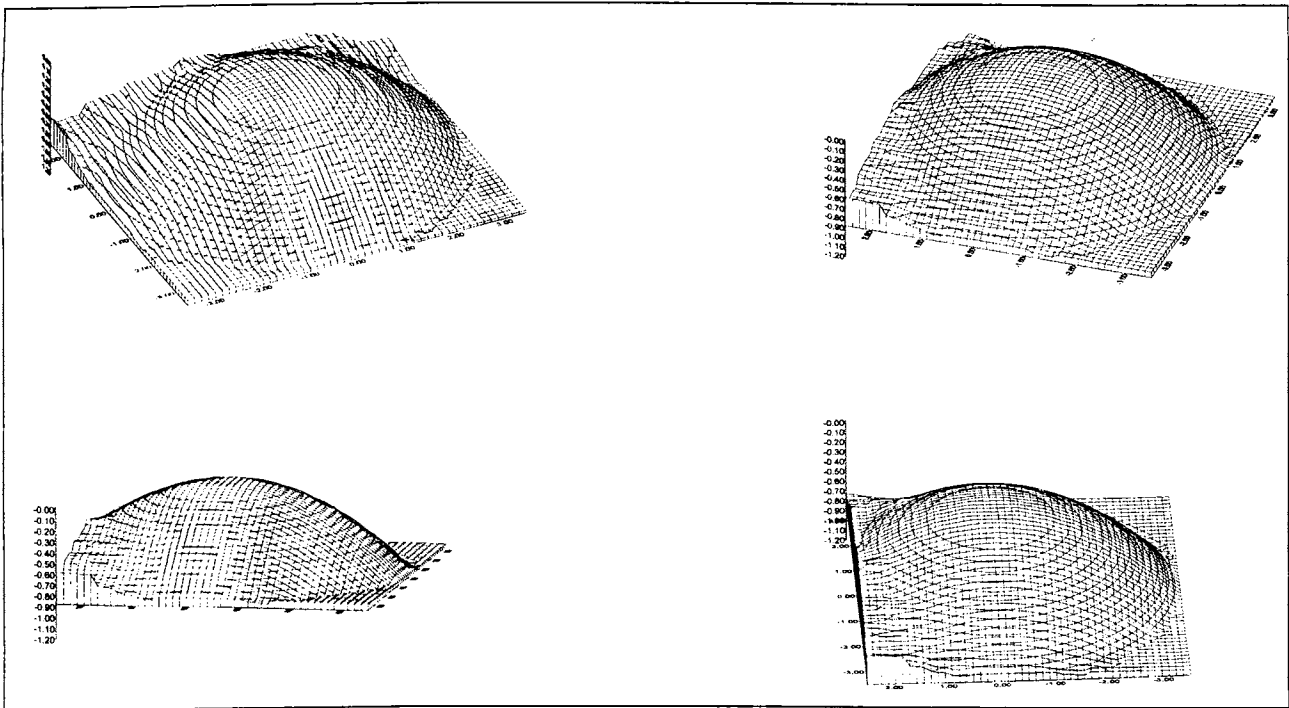


Figura 6: La misma córnea que en la figura 5, vista desde cuatro diferentes puntos de vista, realizando en cada caso un determinado aspecto de la morfología corneal.

dísticamente normales (8.00 mm. aprox.). En la figura 4 tenemos la representación tridimensional de una córnea humana con un bajo grado de astigmatismo (menos de 1 D) pero con una alta curvatura central (menos de 7.25 mm. como radio promedio de la zona central). La figura 5 muestra el mapa tridimensional de una córnea altamente astigmática ( $A > 3.50$  D).

La figura 6 muestra la capacidad del Sagitex-PFPMC de mostrar un mapa tridimensional desde diferentes puntos de vista. Las cuatro figuras corresponden a diferentes perspectivas de la figura 5, realizándose en cada caso una diferente zona de la topografía corneal dependiendo de la inclinación de la imagen y del grado de giro.

La figura 7 corresponde a una representación comparativa, realizada igualmente mediante el Sagitex-PFPMC, entre los mapas hallados con las sagitas de superficie y los hallados realizando la aproximación, mencionada anteriormente, de considerar la córnea como una esfera. Se han representado en la columna derecha de arriba abajo los mapas de sagitas correspondientes a las córneas esférica

"normal", astigmática y esférica de curvatura elevada respectivamente, y al lado los mapas correspondientes a la aproximación esférica para cada superficie.

La figura 8 representa las diferencias en forma de mapa tridimensional entre las córneas representadas en las figuras 3-5 y las correspondientes esferas de referencia. De arriba abajo, se representan los mapas correspondientes a las córneas esférica, astigmática y de alta curvatura.

## DISCUSIÓN

Se observan en la representación de la gráfica correspondiente a la superficie teórica (figura 2) variaciones de curvatura de pendiente suave y zonas de sagita constante perfectamente concéntricas. En el caso de la córnea esférica y de curvatura "normal" (figura 3) se observa la gran similitud existente entre esta figura y la anterior, con escasas diferencias en la pendiente de la figura debido al carácter asférico de la córnea humana.

En el caso de la córnea de curvatura elevada (figura 4) se observa una pendiente mar-

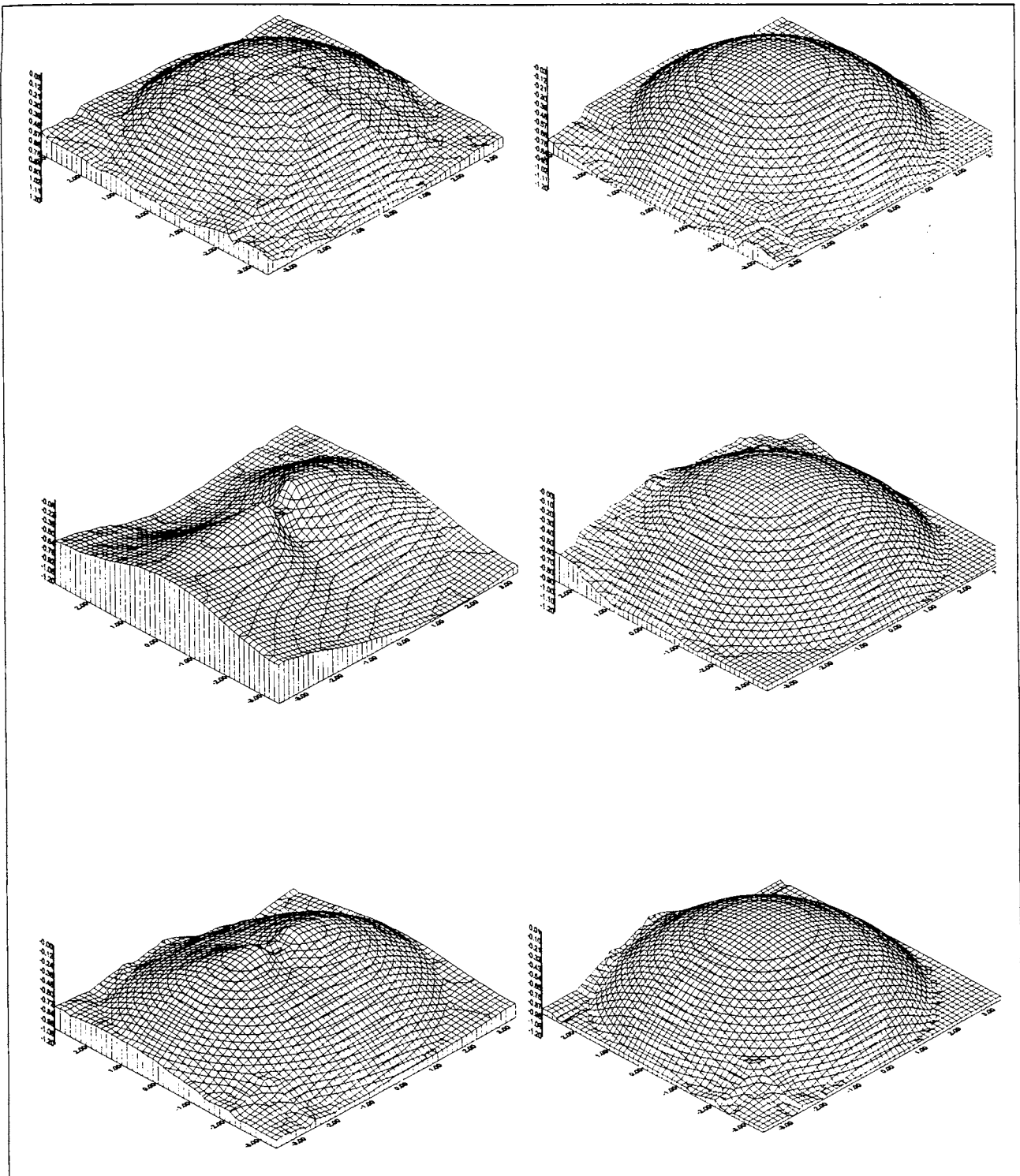


Figura 7: Representación comparativa de las córneas representadas en las figuras 3-5 con los mapas hallados para las mismas córneas considerando la córnea como una superficie esférica.

cadamente mayor respecto al caso anterior, con un mayor crecimiento de las sagitas.

Se observan en la figura 5 las lógicas variaciones de pendiente entre las diferentes zonas de la superficie corneal debido a las variaciones de curvatura dentro de una córnea astigmática.

La figura 6 supone una pequeña muestra de las posibilidades del sistema Sagitex-PFPMC. La presentación de la imagen en diversas perspectivas puede ir además acompañada de cambios en la escala utilizada para representar las sagitas (valores máximo y míni-

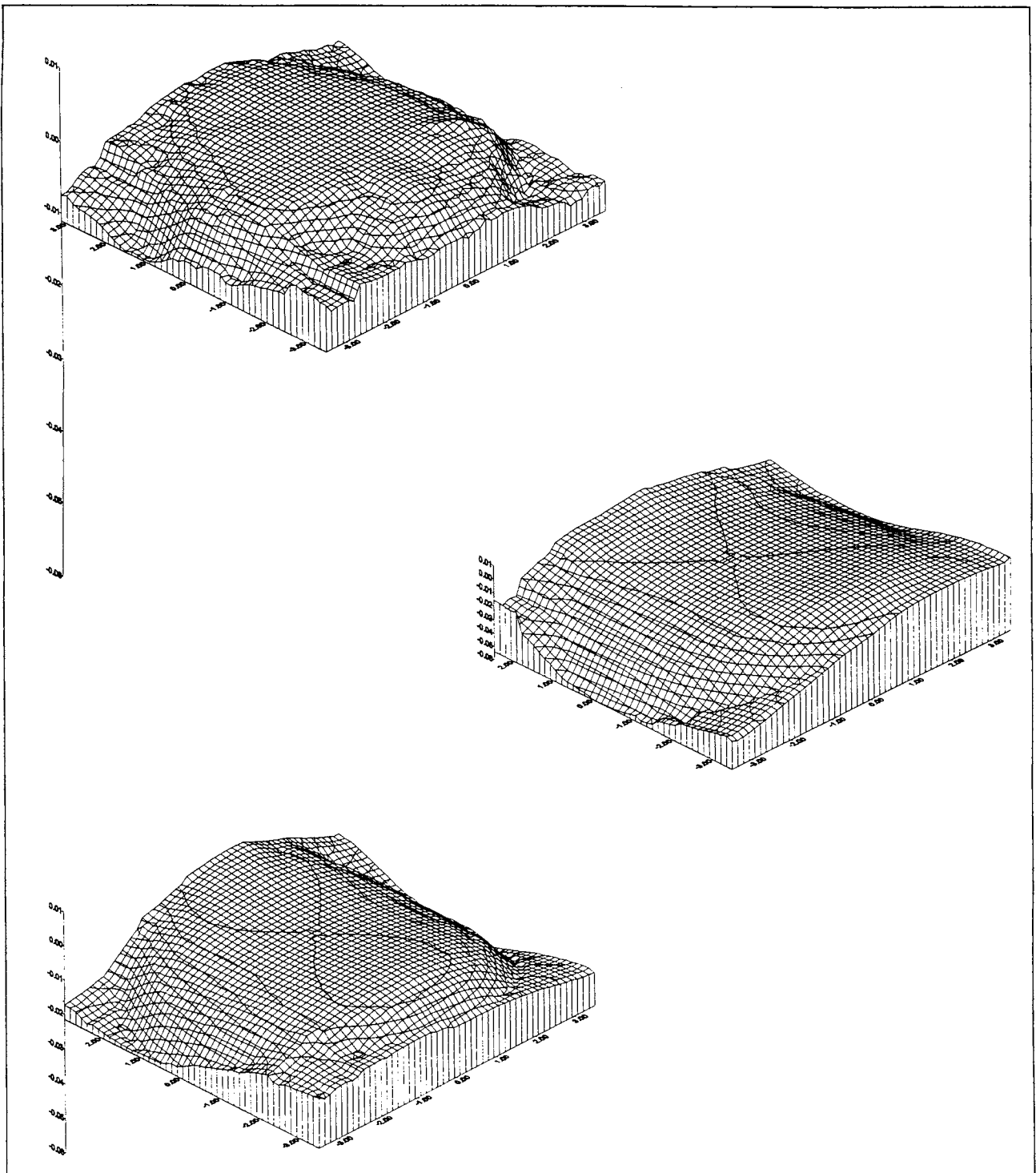


Figura 8: Representación de las diferencias entre las córneas representadas en las figuras 3-5 con esferas de referencia. De arriba abajo: córnea no astigmática de curvatura estadísticamente normal, córnea altamente astigmática y córnea de elevada curvatura.

mo considerados, intervalo entre marcas, etc.), con lo que se puede enfatizar diversas zonas de la córnea estudiada de manera selectiva.

La figura 7 es un ejemplo del error inducido por la aproximación realizada al considerar la córnea humana como una superficie esférica. Se observan fuertes irregularidades de su-

perficie que no son coherentes con córneas pertenecientes a ojos sanos, como las utilizadas para el presente estudio. Estas irregularidades toman la forma de "silla de montar" en el caso de la córnea altamente astigmática, y una pendiente mucho mayor en el caso de la córnea de elevada curvatura, siendo menos evidentes



en el caso de la córnea no astigmática de radio de curvatura estadísticamente normal.

La *figura 8* muestra de nuevo el claro carácter esférico de la córnea. Dicho carácter se hace más marcado, como cabría suponer, en las córneas que presentan variaciones de tipo astigmático o con curvaturas fuera de los estadísticamente normal. La córnea superior, correspondiente a una córnea de radio de curvatura estadísticamente normal y sin astigmatismo, presenta una clara meseta en la zona central, donde el carácter esférico es mucho menos marcado.

## CONCLUSIONES

El Sagitex-PFPMC es un sistema que utiliza los ficheros ASCII de datos extraídos de un topógrafo CM-1000 para representar tridimensionalmente la topografía corneal en forma de mapa de sagitas.

Igualmente se observan irregularidades periféricas en las topografías (*figuras 3-8*) que no son de esperar en ojos sanos. Dichas irregularidades se deberían muy probablemente a datos erróneos debido a la acumulación de lágrima en la zona del menisco o a la proximidad del borde de la abertura palpebral, lo que proporciona lecturas incompletas y/o inexactas, como ya ha sido anteriormente referido<sup>10</sup>. La representación de los datos en forma de mapa tridimensional de sagitas permitiría al especialista una aproximación más exacta a una intervención a nivel corneal. De la misma manera, la capacidad del sistema de mostrar los mapas desde diferentes perspectivas supone una poderosa herramienta potencial para aislar o realzar determinados sectores de la córnea y permitir un mejor visionado de éstos, lo cual podría resultar de especial interés en afecciones que alteren morfológicamente la córnea de manera sustancial, como el queratocono. Dicho aumento parcial de la imagen no mejorará la precisión del sistema, pero sí que nos proporcionará un mayor detalle de la imagen.

La aproximación consistente en considerar la córnea humana como una superficie esférica, que ya fue reconocida como incorrecta por Young, Talamo y Siegel<sup>9</sup> al realizar su trabajo, se muestra claramente en la *figura 7*. Dicho error resultó claramente mayor en los casos de córneas astigmáticas, donde la asfericidad propia de la córnea humana se une a la toricidad dada por el astigmatismo corneal. Dicho error debería ser tenido muy en cuenta ya que no supone un error sólo cuantitativo, sino también cualitativo, ya que proporciona una imagen falsa de la forma de la superficie de la cara anterior de la córnea. Este error, tal como indican los autores, se debe asumir cuando consideramos como buena la precisión de un videoqueratógrafo para la práctica diaria cuando medimos dicha precisión sobre superficies esféricas, lo que es bastante común en la bibliografía<sup>2,9,11-12</sup>.

En la *figura 8*, además de remarcarse de nuevo el carácter marcadamente esférico de la córnea, hecho especialmente evidente en las córneas astigmática y de elevada curvatura, se pone de manifiesto la capacidad comparativa del Sagitex-PFPMC. Dicha capacidad podría ser utilizada para comparar córneas reales con diferentes superficies experimentales, pudiendo llegar a ser de gran interés de esta manera en el proceso de planteamiento de una intervención quirúrgica ocular. Dentro de dichas superficies, resultaría especialmente interesante el estudio de la adaptación de lentes de contacto sin caja de pruebas. Dicho sistema, ya incluido en el Topcon CM-1000, se muestra especialmente interesante para el profesional de la Visión. El software utilizado en el CM-1000 muestra, a falta de un mayor y más profundo estudio, errores aparentes concernientes a la adaptación de la lente virtual sin tener en cuenta la posición del borde palpebral, entre otros. Mediante el sistema Sagitex podría representarse fácilmente y de manera tridimensional el perfil topográfico del menisco lagrimal introduciendo los ficheros de sagitas de la córnea y de la cara poste-

rior de una lente de contacto dada. Igualmente se visualizaría el perfil de los cambios morfológicos a realizar en una intervención de cirugía refractiva introduciendo los ficheros de sagitas de una córnea a intervenir y otro fichero con las ságitas de la superficie que se desea obtener tras la intervención. En resumen, y aunque todavía en fase de perfeccionamiento al escribir ésto, el sistema Sagitex-PFPMC puede resultar una herramienta de especial utilidad para todos los profesionales de la visión.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) por el apoyo financiero (Proyecto MAT93-0369). Elías Pérez-Yern agradece la beca del Ministerio de Educación y Ciencia.

#### BIBLIOGRAFIA.

1. Bores LD. Corneal Topography: The Dark side of the Moon. SPIE 1991; 1423: 28-39.
2. Belin M W, Litoff D, Strods S J, Winn S S, Smith R S. The PAR Technology Corneal Topography System. Refractive & Corneal Surgery 1992 January-February; 8: 88-96.
3. Friedlander MH, Mulet M, Buzard K, Granet N, Baker P. Holographic Interferometry of the Corneal Surface. SPIE 1991; 1423: 62-9.
4. Corbett MC, OíBart DPS, Saunders DC, Rosen ES. The interpretation of Corneal Topographic Maps. Eur J Implant Ref Surg 1994 June; 6: 153-9.
5. Young JA, Siegel IM. Isomorphic Corneal Topography: A Clinical Approach to 3.D Representation of the Corneal Surface. Refractive & Corneal Surgery 1993 January-February; 9: 74-8.
6. Pérez Yern E, Fimia A, Mateos F, Carretero L. Accuracy of Topcon CM-1000 keratoscope on spherical test surfaces. Aceptado para su publicación en el Journal of Refractive Surgery 1997.
7. Klein SA, Mandell RB. Shape and refractive powers in corneal topography. Invest. Ophth. Vis. Sci. 1995 36:2096-2109.
8. Klein SA, Mandell RB. Axial and instantaneous power conversion in corneal topography. Invest. Ophth. Vis. Sci. 1995 36:2155-2159.
9. Young J A, Talamo J H, Siegel I M. Contour resolution of the EyeSys Corneal Analysis System. J Cataract Refract Surg 1995 July; 21: 404-6.
10. Pérez Yern E, Martínez Martínez LE. Variación morfológica corneal diaria. Gaceta "ptica 1996 Enero; 1: 18-22.
11. Potvin R J, Fonn D, Sorbara L. Comparison of Polycarbonate and Steel Test Surfaces for Videokeratography. Journal of Refractive Surgery 1995 March-April; 11: 89-91.
12. Legeais J.M, Ren Q, Simon G, Parel J.M. Computer-Assisted Corneal Topography: Accuracy and Reproducibility of the Topographic Modeling System. Refractive & Corneal Surgery 1993 September-October; 9: 347-57.

Correspondencia:  
Elías Pérez Yern  
Departamento Interuniversitario de Óptica  
Universidad de Alicante  
03080 Alicante