

Artículo de revisión

## Defectos refractivos y su corrección quirúrgica

Virgilio Galvis Ramírez\*  
Alejandro Tello Hernández\*

### RESUMEN

Los defectos refractivos son muy comunes en la población general, afectando de manera significativa la calidad de vida de los pacientes. Actualmente existen diversas alternativas de corrección quirúrgica de estas ametropías dentro del área de la oftalmología que se conoce como cirugía refractiva. Una de las opciones más empleadas en el mundo son los procedimientos fotorrefractivos con excimer láser. Sin embargo, cuando son defectos de magnitudes extremas se deben emplear otros abordajes, como el uso de lentes intraoculares fáquicos o la facoemulsificación más implantación de lente intraocular con fines refractivos. En este artículo, empleando MEDLINE y búsquedas en libros de texto, se realizó una revisión de los aspectos históricos, la óptica fisiológica, la probable etiología y la epidemiología de la miopía, la hipermetropía y el astigmatismo, así como de su corrección quirúrgica, mostrando un panorama general del estado actual, clínico e investigativo, de la cirugía refractiva. Además, se indican los criterios quirúrgicos vigentes del Centro Oftalmológico Virgilio Galvis para la corrección de los diferentes defectos visuales. (MÉD. UIS. 2009;22(2):146-59).

**Palabras clave:** Defectos refractivos. Ametropías. Miopía. Hipermetropía. Astigmatismo. Excimer. Láser. Cirugía refractiva. Lentes intraoculares fáquicos.

### INTRODUCCIÓN

Gran parte de la interacción con el medio externo depende del sentido de la visión, así que la salud visual se convierte en uno de los factores clave para el desempeño cotidiano del ser humano y de peso determinante en cuanto a su calidad de vida. Son los defectos refractivos una de las causas más comunes de mala visión, la actual comprensión de ellos y la posibilidad de que quienes los sufren puedan desempeñar sus actividades normalmente con la ayuda de gafas o lentes de contacto, o aún corregirlos de manera definitiva con cirugía, constituye sin duda uno de los grandes avances de la humanidad. En este artículo se realiza una revisión de los aspectos históricos, la óptica fisiológica, la probable etiología y la epidemiología de las ametropías, así como de su corrección quirúrgica, mostrando un panorama general del estado actual, clínico e investigativo, de la cirugía refractiva, en un lenguaje dirigido al médico de atención primaria, para reforzar sus conocimientos en esta área tan importante de la oftalmología.

Para ello se realizó una cuidadosa búsqueda en MEDLINE usando palabras clave específicas (refractive errors, ametropías, miopía, astigmatism, hyperopia, excimer, laser, refractive surgery, phakic intraocular lenses), así como en otras páginas relacionadas con el tema en la Internet y en el libro de texto Duane's Ophthalmology.

### CONTEXTO HISTÓRICO

El sentido de la visión en la antigüedad fue un motivo de intensos análisis por parte de los filósofos como Aristóteles, quien en el siglo IV a.c., ofreció una explicación bastante correcta sobre los objetos observados, los cuales alteraban un "medio" que ahora sabemos es el aire, y esta alteración de alguna manera se propagaba al ojo<sup>1</sup>. Cinco siglos más tarde el médico Galeno sugirió la hipótesis, contraria y errónea, que una energía se proyectaba desde los ojos y emitía rayos que hacían que los objetos fuesen visibles<sup>2</sup>.

Aunque instintivamente los miopes descubrieron que al entrecerrar los ojos veían mejor, situación explicada por que se crea una especie de agujero estenopeico en la pequeña hendidura que se deja entre los párpados, y que es de donde se originó el nombre de la enfermedad que proviene del griego *myein*: cerrar y *ops*:ojo<sup>3</sup>, las primeras menciones certeras de verdaderas ayudas ópticas de algún tipo corresponden al uso de globos de vidrio llenos de agua como magnificadores

\*MD Oftalmólogo. Centro Oftalmológico Virgilio Galvis. Profesor del departamento de Cirugía. Escuela de Medicina. Universidad Autónoma de Bucaramanga. Floridablanca. Santander. Colombia. Correspondencia: Dr. Galvis. Centro Oftalmológico Virgilio Galvis. Centro Médico Ardila Lülle. Torre A. Piso 3. Módulo 7. Floridablanca. Colombia. e-mail: preguntetealdrgalvis@gmail.com  
Artículo recibido el 11 de marzo de 2009 y aceptado para publicación el 12 de agosto de 2009.

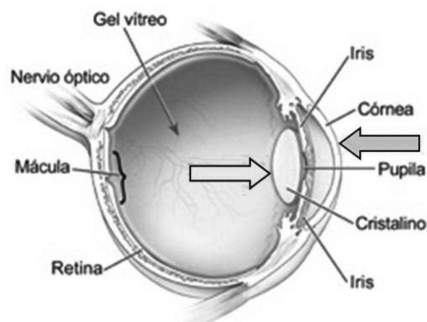
para corregir la presbicia, mencionado por Séneca el Joven tutor de Nerón, en el siglo I<sup>4</sup>. Sin embargo, sólo hasta los estudios del físico árabe Alhazen en el siglo X, considerado el Padre de la óptica moderna, se estableció que la luz se reflejaba en los objetos y así estos eran vistos por el ojo humano y se comprendieron los principios de la refracción. Alhazen describió además la fabricación de un lente convexo, básicamente una lupa, como ayuda para la lectura<sup>5</sup>. La traducción de su obra al latín, llevó estas lupas a Europa en el Siglo XIII<sup>6</sup>; en el siglo XV Nicolás de Cusa empezó a usar lentes cóncavas para la corrección de la miopía<sup>7</sup>. Sin embargo, no se avanzó significativamente en la comprensión de la óptica del ojo humano hasta la llegada del Renacimiento y la Ilustración, con trabajos como los de Kepler, quien interpretando correctamente el funcionamiento de la córnea y el cristalino, promulgó la teoría de una imagen invertida en la retina<sup>8,9</sup>. Al parecer de manera independiente tanto Descartes como Scheiner comprobaron las teorías de Kepler al retirar la parte posterior de ojos de animales y observar a través de ellos<sup>8</sup>.

En 1727 Scarlett en Londres diseñó unas gafas sostenidas con un marco sobre las orejas, como las que se usan hoy en día, y éstas se hicieron populares<sup>10</sup>. Benjamin Franklin inventó los lentes bifocales en 1784<sup>11</sup>. Helmholtz, Tscherning y Gullstrand en el siglo XIX y principios del siglo XX hicieron notables contribuciones a la comprensión de la función óptica del ojo humano, llegando a construir ojos esquemáticos cuyos principios aún son empleados<sup>12</sup>.

Con el advenimiento de los plásticos en el siglo XX otro tipo de ayuda óptica, los lentes de contacto, que se empezaron a construir de materiales sintéticos, se hicieron muy populares, tanto los rígidos como los blandos. Las ventajas de los lentes de contacto son tanto de tipo estético, pues al estar colocados sobre la córnea no son visibles, como funcional, pues ópticamente ofrecen una mejor calidad de visión, sobretodo en casos de ametropías altas. Los defectos sin astigmatismo o con poco astigmatismo, pueden ser corregidos con lentes blandos. Los defectos con astigmatismo altos requieren el empleo de lentes rígidos o de los blandos de tipo tórico. El uso de lentes de contacto, se asocia a riesgos de queratitis infecciosa, especialmente si se usan también al dormir, por lo que los pacientes deben ser instruidos sobre los cuidados que deben tener en cuenta<sup>13,14</sup>.

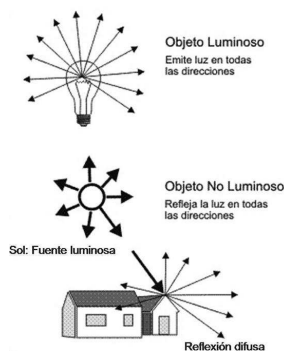
#### FUNCIONAMIENTO BÁSICO DEL OJO HUMANO

El ojo humano funciona fundamentalmente como una cámara fotográfica de enfoque automático, pues posee dos lentes convergentes, uno fijo (la córnea) y otro flexible (el cristalino); esto le permite variar su punto focal y poder obtener imágenes retinianas claras de objetos ubicados a diversas distancias<sup>15</sup> (Figura 1).



**Figura 1.** Los dos lentes convergentes del ojo son la córnea (que aporta aproximadamente +43.00 dioptrías) ubicada en la parte más anterior del globo ocular (flecha azul) y el cristalino (que aporta aproximadamente +20.00 dioptrías) que se encuentra suspendido por la zónula, detrás del iris (flecha amarilla). Ellos enfocan las imágenes en la porción más sensible de la retina, la mácula. Figura cortesía del Instituto Nacional del Ojo, Institutos Nacionales de la Salud, Estados Unidos.

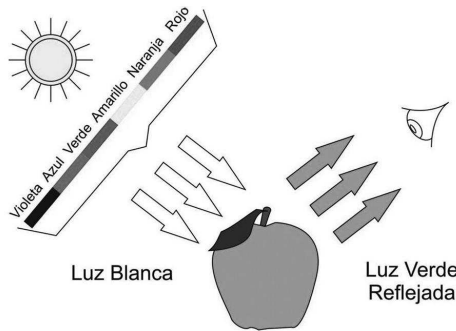
El ojo humano ve porque en la película fotosensible ubicada en el fondo del ojo (la retina) se forman imágenes luminosas, es decir llegan fotones; sin luz no hay imágenes y no hay visión. Todos los objetos se pueden dividir en dos tipos: luminosos y no luminosos. Un objeto luminoso produce luz y cada punto de él la irradia en todas las direcciones. Un objeto no luminoso no produce luz y solo es visible cuando es iluminado por una fuente luminosa, ya que presenta una reflexión difusa, es decir refleja en todas las direcciones cierta cantidad de la luz que recibe<sup>16</sup> (Figura 2).



**Figura 2.** Objetos luminosos (bombillo) y no luminosos (casa). Vemos los no luminosos (como la casa) por que al ser iluminados por una fuente de luz (en este caso el sol), la reflejan difusamente.

Dependiendo del tipo de interacción que la luz tenga con el objeto, este se percibirá de cierto color. La luz blanca está compuesta de una gama de frecuencias mezcladas dentro del espectro visible para el ojo humano, con longitudes de onda desde los 380 nm (violetas) hasta los 770 nm (rojos). Cuando la luz blanca llega a un objeto este selectivamente absorbe, refleja o transmite ciertas frecuencias, dependiendo de la naturaleza de sus átomos. Todos los electrones de átomos específicos tienen una frecuencia natural a la cual tienden a vibrar. Cuando la luz tiene la misma frecuencia que los electrones en vibración, entra en resonancia y será absorbida, convertida en energía térmica. Cuando la frecuencia de las ondas luminosas no concuerda con la de vibración de los electrones de ese específico átomo, la luz es reflejada o transmitida.

El color que percibimos de los objetos depende de la frecuencia de esta luz que es reflejada o transmitida hacia la retina. Si un objeto se ve negro, es porque absorbe todas las radiaciones del espectro visible y si se ve blanco es por que las refleja todas. Si se ve un objeto de color verde se debe a que absorbe todas las frecuencias del espectro luminoso, excepto la de 495 a 566 nm, las cuales al ser reflejadas hacen que lo percibamos como el color verde<sup>17</sup> (Figura 3).

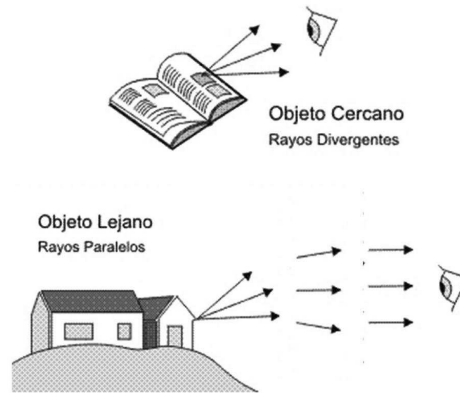


**Figura 3.** La luz blanca es una mezcla de todas las longitudes de onda del espectro visible, los objetos absorben un grupo de esas frecuencias y reflejan algunas, que al llegar a nuestros ojos hacen que los podamos ver. De acuerdo a la longitud de onda de la luz reflejada, percibimos el color del objeto.

### EMETROPÍA Y AMETROPÍA

El poder convergente total en el ojo en reposo, sin realizar esfuerzo acomodativo, es de aproximadamente +64,00 dioptrías, de estas aproximadamente +43,00 dioptrías (casi un 70%) es aportado por la córnea y +20,00 dioptrías por el cristalino (Figura 1). Los rayos luminosos emitidos o reflejados por un objeto lejano, que esté ubicado entre los 6 metros y el infinito, llegan

al ojo siendo paralelos. Por el contrario los rayos emitidos o reflejados por objetos cercanos llegan al ojo siendo divergentes, y entre más cercanos estén, mayor será su divergencia (Figura 4).



**Figura 4.** Los rayos luminosos reflejados por un objeto cercano llegan al ojo siendo divergentes, pero en los objetos lejanos (a más de seis metros de distancia) esa divergencia llega a ser tan insignificante, que se pueden considerar paralelos cuando llegan a la córnea.

El ojo emétrope es aquel en el cual los poderes convergentes de la córnea y el cristalino, y su longitud axial que es la distancia entre córnea y retina, están en una relación adecuada, de manera que cuando llegan los rayos paralelos a la córnea se forma una imagen nítida en la mácula porción de la retina con mayor sensibilidad a la luz, responsable de la visión de alta definición y de la visión de colores (Figura 5a). Para lograr una imagen clara en visión próxima, a la distancia de lectura de aproximadamente 30 a 35 cm, y debido a que los rayos de luz que llegan a la córnea son divergentes, el ojo debe incrementar su poder positivo en aproximadamente +3,00 dioptrías, cosa que logra al cambiar la forma del cristalino, volviéndose este más convexo, en el proceso llamado acomodación<sup>18</sup> (Figura 5b). Después de los 40 años de edad esta capacidad se pierde, presentándose la presbicia, con la consecuente dificultad para la lectura.

Un defecto refractivo (ametropía) es un desorden que ocurre cuando los rayos de luz paralelos, que ingresan al ojo en reposo (sin acomodación) no son enfocados sobre la retina. En la miopía estos rayos paralelos se van a enfocar en un plano anterior a la retina. Ello se relaciona con un ojo muy largo, con una córnea muy curva, o con una combinación de las dos condiciones (Figura 5c). El miope ve borroso los objetos lejanos pero ve claro los objetos cercanos ya que estos rayos al ser divergentes se enfocan más atrás, alcanzando la retina. Por ello es

que los miopes pueden seguir leyendo después de los 40 años, sin necesidad de emplear lentes positivas, pues no requieren de la acomodación para que los objetos cercanos se enfoquen en la retina.

Para la corrección óptica de la miopía se usan lentes esféricos cóncavos (negativos) que al ser colocados frente al ojo desplazan el punto focal hacia atrás, al hacer que diverjan los rayos de luz paralelos. De acuerdo al poder en dioptrías negativas del lente necesario para lograr una buena visión lejana, se mide la magnitud de la miopía. En la fórmula de las gafas su notación es la de un número negativo con dos decimales, por ejemplo -2,75 dioptrías.

En la hipermetropía los rayos paralelos, provenientes de un objeto lejano, tienen su punto focal en un punto posterior a la retina (Figura 5d). Ya que la acomodación hace que se desplace el punto focal hacia adelante, los hipermétropes al ejercer la acomodación pueden ver claramente los objetos lejanos. Por ello es que mantienen buena agudeza visual lejana, mientras que su amplitud de acomodación sea suficiente, es decir por debajo de los 35 o 40 años. En visión próxima el ojo hipermetrope debe ejercer una acomodación extrema, por un lado acomodar para compensar el defecto hipermetrópico y adicionalmente las tres dioptrías que normalmente se requieren para leer, por lo que el paciente joven puede referir sintomatología como cansancio visual y cefalea (astenopia), y en casos de hipermétropes mayores de 30 años empiezan a notar además visión próxima borrosa. Cuando el hipermetrope sobrepasa la edad de la presbicia percibe una significativa y rápida disminución de la visión cercana y adicionalmente disminución de su visión lejana, ya que al reducirse la acomodación no puede compensar su hipermetropía.

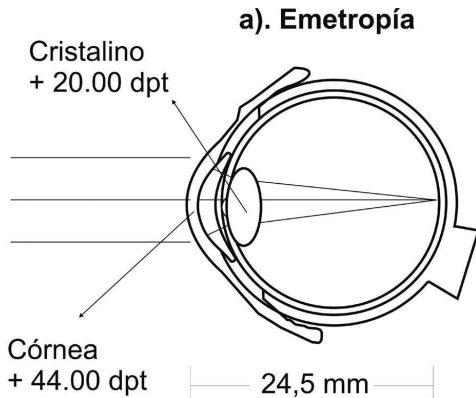


Figura 5a. Emetropía: los rayos de luz paralelos provenientes de un objeto lejano se enfocan en la mácula.

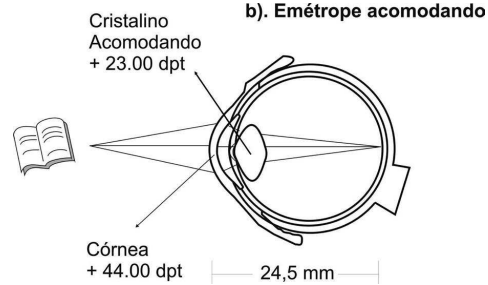


Figura 5b. Emétrope acomodando: los rayos de luz divergentes provenientes de un objeto cercano se enfocan en la mácula por que el cristalino aumenta su convexidad e incrementa su poder positivo en +3.00 dioptrías.

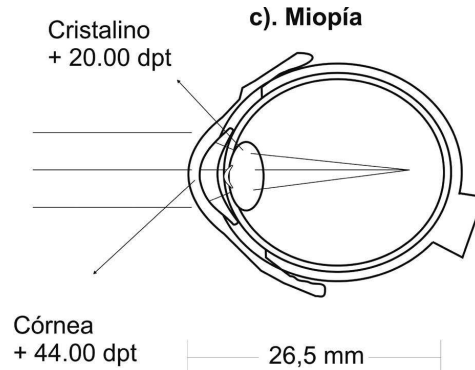


Figura 5c. Miopía: los rayos reflejados por un objeto lejano se enfocan antes de la retina.

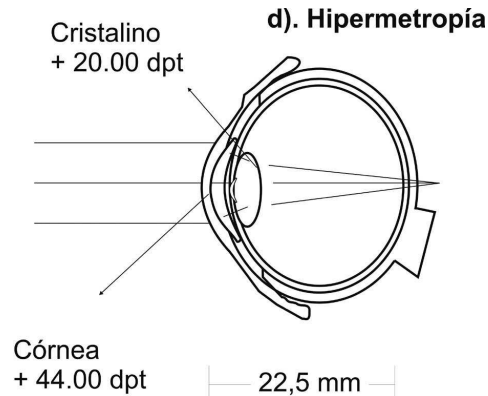


Figura 5d. Hipermetropía: los rayos reflejados por un objeto lejano se enfocan después de la retina.

## ETIOLOGÍA Y EPIDEMIOLOGÍA DE LOS DEFECTOS REFRACTIVOS

Para la corrección óptica de la hipermetropía se usan lentes esféricos convexos (positivos) que al ser colocados frente al ojo desplazan el punto focal hacia adelante, al hacer que converjan más los rayos de luz. De acuerdo al poder en dioptrías positivas del lente necesario para corregirla se mide la magnitud de la hipermetropía. En la fórmula de las gafas su notación es la de un número positivo con dos decimales, por ejemplo +2.75 dioptrías.

El astigmatismo ocurre cuando los rayos incidentes no convergen en un único punto focal, sino en una zona limitada por dos focos extremos. La mayoría de astigmatismos tiene su origen en la córnea, cuando esta en lugar de ser casi esférica (como un balón de basquetbol), tiende a ser "ovalada" (como un balón de futbol americano), teniendo un meridiano más curvo que el ortogonal (Figura 6). El cristalino también tiene astigmatismo, el cual en los jóvenes tiende a compensar el corneal, pero con los cambios, principalmente corneales, que ocurren con la edad, se tiende a disminuir esa compensación<sup>42</sup>.



**Figura 6.** La córnea del ojo astigmático no es esférica, como un balón de basquetbol, donde todos los meridianos tienen la misma curvatura, sino es ovalada, como un balón de futbol americano, con un meridiano más curvo (Línea continua) y uno más plano (línea discontinua).

Dependiendo de la relación de los dos focos extremos de la zona de enfoque con la retina del ojo astigmático, el astigmatismo puede ser de tipo miópico, hipermetrópico o mixto. En general los de tipo miópico afectan más la visión lejana, lo de tipo hipermetrópico más la visión cercana y los de tipo mixto comprometen tanto la visión lejana como la cercana. Para corregir los astigmatismos no sirven los lentes esféricos, se deben usar lentes esfero-cilíndricos. En la fórmula de las gafas su notación incluye tres datos: un número positivo o negativo, dependiendo del tipo de astigmatismo, con dos decimales (valor de la esfera), seguido de un número negativo con dos decimales (el valor del cilindro) y por último de otro número dado en grados de 0 a 180, que indica la posición del meridiano más plano (por ejemplo, -1.50 - 2.50 x 180°).

Tanto factores hereditarios como ambientales juegan un papel importante en el desarrollo de los defectos refractivos, aunque el mayor peso, de aproximadamente un 70%, parece corresponder a la genética<sup>19-21</sup>. Un estudio encontró una concordancia mayor de miopía entre gemelos monocigóticos que dicigóticos<sup>22</sup> y otro estudio, también en gemelos, determinó que el peso de la herencia en la presencia de miopía e hipermetropía en ellos correspondió a más del 80% y que el astigmatismo tuvo una herencia dominante<sup>23</sup>. Ya se han identificado algunos cromosomas relacionados con los defectos refractivos<sup>24,25</sup>. Sin embargo, en cuanto a factores ambientales, se ha encontrado que más años de educación formal se relaciona con mayor prevalencia de miopía. En un estudio en Singapur la prevalencia de miopía fue de 64.1% entre quienes tenían educación primaria y de 85% entre quienes tenían educación superior. La miopía severa fue casi cinco veces más prevalente entre quienes tenían educación superior y este grupo tuvo la menor prevalencia de hipermetropía<sup>26,27</sup>; diversos estudios en Asia, Europa y Australia han reportado que mientras el trabajo en visión próxima se asocia con la progresión de la miopía, las actividades al aire libre parecerían proteger contra la aparición de ella<sup>28-31</sup>. Adicionalmente, estudios en Taiwán han documentado un incremento en la prevalencia y severidad de la miopía en el transcurso de dos generaciones. En estudiantes entre los 16 y 18 años de edad la prevalencia de miopía pasó del 74% en 1983 al 84% en 2000 y adicionalmente la prevalencia de miopía mayor de -6.00 dioptrías pasó de 10.9% al 21%<sup>32</sup>, lo cual es muy poco probable que sea explicado sólo por la genética<sup>33</sup>.

Existen importantes diferencias geográficas en la prevalencia de las ametropías. En los Estados Unidos la prevalencia de miopía (de -0.75 dioptrías o mayor) ha sido estimada en un 9% en niños entre la edad de los 5 a 17 años<sup>34</sup>, mientras que en Hong Kong en este grupo de edad se ha reportado un 37% de miopía de 0.50 dioptrías o mayor<sup>35</sup>, y en promedio de diversos estudios en Taiwán se reporta un 54% de miopes en niños de 7 a 16 años<sup>32</sup>. En contraste en un grupo de escolares melanesios de entre 6 y 19 años solo el 2.9% presentaron miopía de 0.25 dioptrías o mayor<sup>36</sup>.

Un meta-análisis de estudios poblacionales encontró que en adultos mayores de 40 años la prevalencia de miopía mayor de 1 dioptría fue de aproximadamente 25% y de hipermetropía mayor de 3 dioptrías fue de aproximadamente 10% en Estados Unidos. En Australia los valores fueron 16 y 6%, respectivamente<sup>37</sup>. En Singapur se encontró que la prevalencia de miopía

mayor de 0.50 dioptrías en mayores de 40 años es de aproximadamente 38% y de hipermetropía mayor de 0.5 dioptrías es de aproximadamente 28%<sup>38</sup>.

En general las ametropías parecen tener una etiología multifactorial, con interrelaciones complejas entre factores genéticos (al parecer los más determinantes) y ambientales. Se requieren mayores estudios epidemiológicos y genéticos para identificarlos plenamente y determinar el peso de su papel en el desarrollo de los defectos refractivos.

### HISTORIA NATURAL

La distribución de los errores refractivos cambia con la edad. Los recién nacidos tienen en promedio una hipermetropía de 3 dioptrías, pero menos del 5% de los niños tienen una hipermetropía mayor a 3 dioptrías a la edad de un año<sup>39</sup>. La miopía típicamente aparece entre los 6 y 12 años de edad y su tasa de progresión es aproximadamente de 0,30 a 0,50 dioptrías por año hasta el final de la adolescencia o la adultez temprana<sup>40,41</sup>.

En los hipermétropes aunque su defecto no progresa, si se manifiesta cada vez más con el paso del tiempo, ya que deja de ser compensado por la acomodación. Por ello van notando problemas de visión próxima, y luego de la presbicia, tanto de visión próxima como de visión lejana. El astigmatismo en niños y jóvenes es comúnmente "con la regla" es decir con el meridiano más plano a 180 grados; en los adultos mayores el astigmatismo tiende a cambiar y volverse "contra la regla", con el meridiano más plano a 90 grados<sup>42</sup>. Los individuos con errores refractivos altos tienen más riesgo de desarrollar otras patologías oculares. En miopes: adelgazamiento de la retina, degeneraciones retinales, desgarros retinianos, desprendimientos de retina<sup>43</sup> y glaucoma de ángulo abierto<sup>44</sup>. Los hipermétropes, por su parte, tienen mayor riesgo de presentar glaucoma de ángulo estrecho, especialmente por encima de los 40 años, ya que como el cristalino crece durante toda la vida, después de esa edad por su tamaño tiende a presionar el iris y a estrechar el ángulo irido-corneal<sup>18,45</sup>.

### LA CIRUGÍA REFRACTIVA

El nacimiento de la cirugía refractiva se dio en 1869, cuando el oftalmólogo holandés Snellen (quien también estandarizó y perfeccionó las tablas de medidas de la agudeza visual que aun se usan) publicó un artículo proponiendo el uso de incisiones corneanas a través del meridiano más curvo para corregir astigmatismo<sup>46</sup>. Otros autores europeos describieron a finales del siglo XIX algunas series de casos de corrección de astigmatismo con este tipo de incisiones, pero estas técnicas no se popularizaron. Entre 1930 y 1950, Sato en Japón por sus observaciones

en queratocono, decidió realizar incisiones radiales en las superficies anterior y posterior de la córnea, obteniendo aplanamiento y disminución de la miopía<sup>47</sup>, pero al lesionar el endotelio, la capa más interna de la córnea, cuya función crítica en la transparencia de la córnea no se conocía en ese momento, sus pacientes desarrollaron edema corneal y por obvias razones sus técnicas se abandonaron<sup>48</sup>.

En la década de 1970 Yenaleyev y Fyodorov en Rusia desarrollaron un abordaje anterior para la queratotomía radial que se hizo popular en todo el mundo<sup>49,50</sup>. Las incisiones radiales hacían que la córnea periférica se volviera más curva, aplanando la córnea central (Figuras 7a y 7b). Sin embargo, la queratotomía radial ha mostrado inestabilidad a largo plazo y un grado más bajo de predictibilidad que la cirugía con excimer láser y por ello hoy en día se considera un procedimiento obsoleto<sup>51,52</sup>.

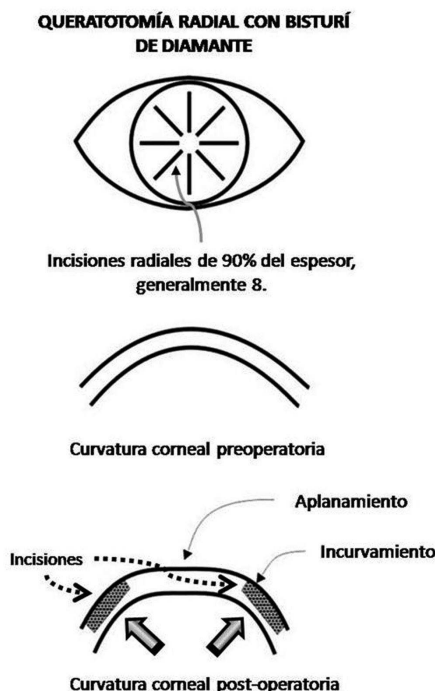


Figura 7a. En la queratotomía radial se practicaban incisiones radiales en la periferia de la córnea, que aumentaban la curvatura de la córnea periférica y disminuían la curvatura (y por ende el poder dióptrico) de la córnea central. Hoy se considera un procedimiento obsoleto. Figura tomada y modificada de: Galvis V, Tello A, Aparicio JP. Excimer laser Refractive Surgery: A Review. MedUNAB 2007;10:99-105.

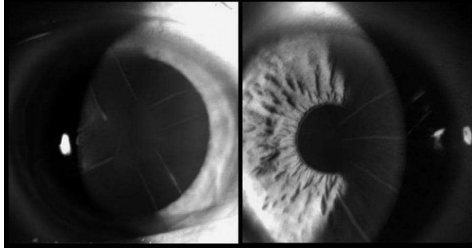


Figura 7b. Aspecto clínico de dos tipos de incisiones de queratotomía radial.

### CIRUGÍA REFRACTIVA CON EXCIMER LÁSER

De manera paralela al desarrollo de las técnicas incisionales en Rusia, desde los 1950s, Barraquer había estado trabajando en Colombia en técnicas basadas en su "Ley de Espesores", consistente en los principios que para aplanar la córnea, debe researse tejido de la córnea central o añadirse a la córnea periférica, y para hacer la córnea más curva, el tejido debe ser sustraído de la periferia o añadido al centro<sup>53</sup>. Siguiendo esos principios él desarrolló la queratomileusis miópica (sustrayendo tejido) y la queratofaquia para hipermetropía (añadiendo tejido), dando nacimiento a una nueva era en cirugía refractiva: la cirugía refractiva lamelar<sup>54</sup>. Barraquer desarrolló inicialmente un micro-querátomo manual para cortar un colgajo libre corneal, que congelaba y tallaba usando un torno de lentes de contacto y luego lo suturaba en el lecho estromal. Más tarde, en 1987, Ruiz de Bogotá, desarrolló el microquerátomo automatizado y diseñó la queratectomía lamelar automatizada (ALK, por su sigla en inglés)<sup>55</sup>. El uso del microquerátomo automatizado proporcionó una forma de obtener colgajos corneanos más reproducibles, evitando la necesidad de congelar el tejido corneano e incrementó la popularidad de esas técnicas.

En ese momento ya otros investigadores habían empezado a emplear el excimer láser en cirugía corneal. Este láser fue usado originalmente para el grabado de chips de silicón para computadores en los 1970s. Cada una de las palabras del nombre excimer láser tienen un origen diferente. La palabra láser se formó con el acrónimo de las palabras inglesas "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation", que significan amplificación de la luz por la emisión estimulada por radiación. Cuando una radiación de energía incide sobre un electrón en estado excitado, el átomo emite un fotón. Este proceso se conoce como emisión estimulada. Al llegar este fotón a otro átomo, hace que este segundo átomo libere otro fotón con fase, energía y dirección similares al primero. Como finalmente se emiten dos fotones, tanto el incidente como el emitido, ocurre una amplificación. La luz generada es coherente y monocroma, lo que constituye un láser<sup>56</sup>. Para que

esto suceda de manera masiva se necesita que haya mayor cantidad de átomos en estado excitado que en estado basal, situación conocida como "inversión de la población", lo cual es contrario a lo que normalmente ocurre y requiere un suministro de energía externa.

La palabra "excimer", por otro lado, es una contracción de "Excited Dimer" o dímero excitado, y en realidad es un nombre inapropiado para este láser ultravioleta. En principio los términos "dímero" y "excimer" se referían a una molécula compuesta por dos átomos idénticos y a su estado excitado, respectivamente. Para una molécula en estado excitado formada por dos átomos diferentes, como es el caso del excimer láser de argón y flúor utilizado en cirugía refractiva, se empleaba el término "exciplex" (contrayendo "excited" y "complex"). Sin embargo, por fuerza de su uso común se le llama excimer láser. Al aplicársele una alta energía a una mezcla de argón (llamado gas noble por que no se combina con otros átomos en estado basal, ni siquiera con los de su mismo tipo) y flúor, se combinan transitoriamente, alcanzando el átomo de argón rápidamente un estado de excitación y llegando así a una "inversión de la población" de los átomos de argón. Al regresar al estado basal los dos átomos se repelen, se rompe su enlace y liberan la energía en forma de luz ultravioleta, originando el láser<sup>57-59</sup> (Figura 8).

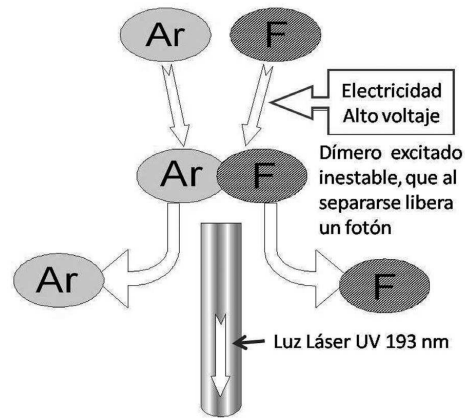


Figura 8. Al aplicársele una alta energía a una mezcla de Argón y Flúor, se combinan transitoriamente y al romperse ese enlace liberan luz ultravioleta, originando el Excimer láser. Figura tomada y modificada de: Galvis V, Tello A, Aparicio JP. Excimer laser Refractive Surgery: A Review. MedUNAB 2007;10:99-105.

Inicialmente dos físicos (Taboada en 1979<sup>60</sup> y luego Srinivasan en 1982<sup>61</sup>) vieron el potencial de la interacción del Excimer láser con los tejidos biológicos. Este último junto con un oftalmólogo (Trokel) reportaron

el uso experimental del proceso de fotodescomposición ablativa con el excimer láser de argón-flúor (ArF) ultravioleta (longitud de onda 193 nm) para remover tejido corneano en una serie de ojos vacunos recién enucleados, mostrando que el tejido adyacente no sufrió daño térmico<sup>61</sup>.

Posteriormente un ingeniero, Munnerlyn, acuñó el término "*Photorefractive Keratectomy*", o queratectomía foto-refractiva, conocida como PRK, que incluía el raspado del epitelio corneano y la aplicación del láser sobre la membrana de Bowman, y publicó en 1988 un artículo mostrando su fórmula, basada en ecuaciones geométricas para cambiar la curvatura de la superficie corneal<sup>62</sup>. Se dio un paso adelante cuando ocurrió la combinación de las tecnologías de láser y los procedimientos lamelares, la primera desarrollada en los Estados Unidos y los segundos desarrollados en Colombia, dando nacimiento a una nueva era de cirugía refractiva y al *boom* del procedimiento conocido como queratomileusis in situ asistida por excimer láser, o LASIK por su acrónimo en inglés. La fusión de estos dos abordajes fue hecha por Pallikaris en Grecia, en 1990<sup>63</sup>. La técnica consiste básicamente en construir primero con el microquerátomo un colgajo corneal que incluye epitelio y estroma superficial, de entre 130 y 160 micras de espesor. Luego se realiza la fotoablación estromal con el láser y se recoloca el colgajo. Esto llevó a que el proceso de cicatrización fuese más rápido y más predecible que en la queratectomía foto-refractiva<sup>64</sup>.

La técnica básica del LASIK se ha mantenido fundamentalmente sin cambios durante los últimos 19 años, pero las tecnologías del láser y los perfiles de ablación han evolucionado mucho. Inicialmente, los excimer láseres usaban un haz amplio. Un láser de cerca de 6 mm de diámetro pasaba a través de un diafragma que controlaba con su apertura el diámetro de la luz coherente que llegaba al estroma durante cualquier pulso único. Este abordaje tenía complicaciones relacionadas que incluía las islas centrales (en las cuales el área central presenta menor ablación de la esperada), relacionadas con corrientes en vórtice en el centro de la ablación del haz amplio y a la acumulación central de líquido o residuos durante la ablación<sup>65</sup>. El paso siguiente en tecnología de aplicación del láser fue el abordaje de "*flying spot*" o disparo flotante. Un haz de mucho menor diámetro se aplica con una frecuencia de repetición muy alta, de hasta 500 Hz, en un patrón que permite que los residuos se despejen en un lugar determinado antes de que el láser llegue a esa área nuevamente, evitando además el sobreca-lentamiento del tejido corneano. De ésta forma se logra una superficie estromal más regular lo que ayuda a incrementar la precisión y eficacia de la cirugía. Adicionalmente este disparo flotante permite la realización de patrones de ablación complejos, para corregir miopía, hipermetropía o astigmatismo<sup>66</sup>. Para corregir miopía el láser retira tejido del centro de la

córnea, aplanándola, y de esta manera reduce su poder de convergencia y hace que el punto focal se desplace posteriormente (Figura 9). Para corregir hipermetropía, la ablación se hace en una franja circular en la media periferia de la córnea, haciendo que el centro aumente su curvatura y por ende su poder de convergencia (Figura 10). Para corregir los astigmatismos se realiza un patrón de ablación en forma oval, para tallar un cilindro negativo, o en forma de grano de café cuando talla un cilindro positivo.

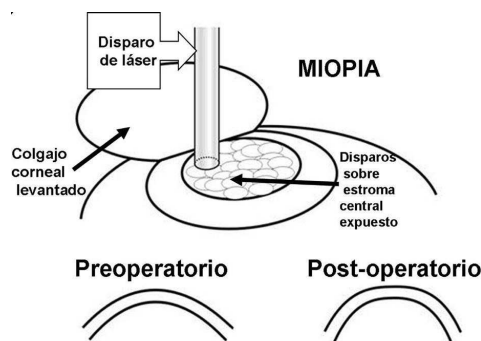


Figura 9. Para corregir miopía los disparos de láser retiran tejido del centro de la córnea, aplanándola, y de esta manera reduce su poder refractivo. Figura tomada y modificada de: Galvis V, Tello A, Aparicio JP. Excimer laser Refractive Surgery: A Review. MedUNAB 2007;10:99-105.

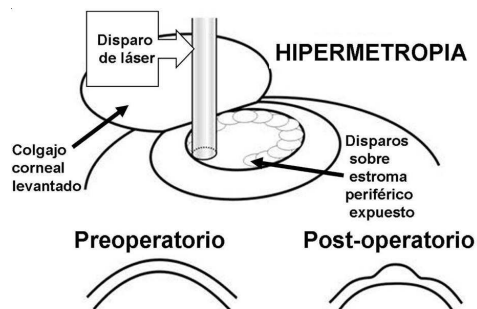


Figura 10. Para corregir hipermetropía los disparos de láser retiran tejido de la periferia de la córnea, haciendo más curvo el centro, y de esta manera incrementando su poder refractivo. Figura tomada y modificada de: Galvis V, Tello A, Aparicio JP. Excimer laser Refractive Surgery: A Review. MedUNAB 2007;10:99-105.

Entre los últimos desarrollos se encuentra el de los perfiles asféricos de ablación optimizados, como el Aberration-Free del equipo Schwind Amaris®



(Figura 11). Estos perfiles mediante la modulación de los radios de curvatura corneana de acuerdo a la corrección refractiva planeada, evitan introducir aberraciones ópticas, particularmente aberración esférica, proporcionando una mejor calidad visual en el postoperatorio. De esta forma, los perfiles esféricos van más allá de los perfiles inicialmente propuestos por Munnerlyn, que tenían el problema de la inducción de aberración esférica, lo que disminuía la calidad visual, sobre todo al presentarse la midriasis en la noche, y el paciente se quejaba de visión de halos o deslumbramientos<sup>66</sup>.



**Figura 11.** El excimer láser *Schwind Amaris* incluye una serie de avances significativos en la velocidad de disparo y los equipos de seguimiento de los movimientos oculares. Además posee un diseño ergonómico, que permite la fácil manipulación de los microquerátomos o del láser de femtosegundos.

Otra nueva alternativa es el empleo de ablaciones personalizadas por frente de onda; esto quiere decir que se miden las aberraciones específicas de un ojo, incluyendo sus defectos de bajo orden, que son la miopía, la hipermetropía y el astigmatismo, junto con las aberraciones de alto orden, que son todas las demás como la aberración esférica, el coma y el trefoil, y se diseña con esos datos una ablación con el láser "hecha a la medida" para ese ojo. Estos datos se pueden tomar de un estudio de la córnea con equipos como el SCHWIND *Corneal Wavefront Analyzer* (Optikon Keratron Scout)<sup>®</sup>, dispositivo topográfico corneal de 28 anillos que analiza más de 80 000 puntos, o medidos por medio de un aberrómetro ocular total como el Ocular Wavefront Analyzer IRx3 (Imagine Eyes)<sup>®</sup>, equipo de tipo Hartmann-Shack de alta resolución, con 1024 puntos reales de medida óptica que evalúa más de 700 puntos sobre una pupila de 7 mm<sup>66</sup>.

Además para incrementar la precisión, estos nuevos equipos de excimer láser cuentan con complejos sistemas de seguimiento de los movimientos oculares, de manera que los espejos que dirigen el haz del láser

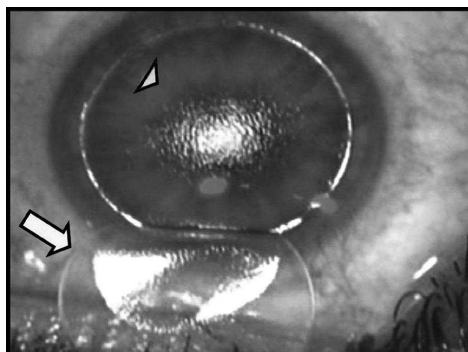
a su posición de disparo adecuada pueden compensar los movimientos oculares en las tres dimensiones 1050 veces por segundo<sup>66</sup>.

### SELECCIÓN DEL PACIENTE Y TÉCNICA QUIRÚRGICA

La cirugía con excimer láser ha demostrado muy buena seguridad y eficacia para la corrección de defectos de miopías hasta aproximadamente -8.00 dioptrías, hipermetropías hasta aproximadamente +5.00 dioptrías, y astigmatismos hasta aproximadamente -6.00 dioptrías.

Es fundamental descartar patologías concurrentes como queratocono, catarata o glaucoma. Por ello se debe practicar un examen oftalmológico completo. Adicionalmente, el defecto debe estar estable, por lo que en general el paciente debe ser mayor de 20 años para la corrección de la miopía. Los pacientes usuarios de lentes de contacto deben suspenderlos antes de la cirugía, para evitar que alteren los exámenes de medición del defecto visual (refracción) y el mapa de curvatura de la córnea (topografía corneal). Si son lentes duros deben suspenderse por tres semanas y si son blandos por dos semanas<sup>67</sup>.

La técnica quirúrgica incluye un primer paso de la creación del colgajo corneal, de entre 130 y 160 micras, pasando el microquerátomo. Luego se levanta este colgajo, el cirujano se asegura de la homogeneidad de la humedad en el lecho estromal, y aplican los disparos de láser. Posteriormente se realiza un lavado de la entrecara, para asegurarse que no queden cuerpos extraños, se recoloca el colgajo y se seca con aire. No es necesario el uso de suturas (Figura 12).



**Figura 12.** La queratomileusis in situ asistida por excimer láser (LASIK) incluye la creación de un colgajo corneal con un microquerátomo, el cual se levanta (flecha), para exponer el estroma de la córnea (cabeza de flecha), donde se aplica el tratamiento con láser. Fotografía cortesía del Dr. Virgilio Galvis, publicada en: Galvis V, Tello A, Aparicio JP. Excimer laser Refractive Surgery: A Review. MedUNAB 2007; 10:99-105

Una nueva alternativa para la construcción del colgajo corneal es el empleo de un láser de femtosegundos, que tiene menores riesgos de complicaciones.

## RESULTADOS

Múltiples estudios de LASIK han reportado que en promedio un 92% de los ojos con miopía o astigmatismo miópico quedan con defectos menores de 1.0 dioptría. En promedio un 94% de los ojos alcanzaron una visión sin corrección de 20/40 o mejor.

En hipermetropía en promedio el 88% de los ojos tuvieron un defecto postoperatorio menor a 1.00 dioptría, y un 94 a 100 % de los ojos alcanzaron una visión sin corrección de 20/40<sup>68</sup>. Sin embargo, se han reportado mayores índices de regresión en hipermetropía que en miopía<sup>69</sup>.

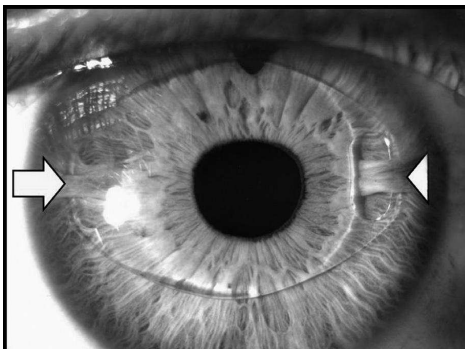
En cuanto a complicaciones puede presentarse problemas con la creación del colgajo corneal o pueden presentarse infecciones o inflamaciones corneales. Tardíamente se han presentado casos de ectasias corneales, situación en la cual la córnea se “abomba” generando miopía y astigmatismo irregular similar al causado por la enfermedad del queratocono. Esto se ha relacionado con ablaciones muy profundas en córneas delgadas, por lo que siempre se hacen cálculos para que el estroma posterior respetado luego de aplicar el láser sea de al menos 270 micras<sup>70</sup>. Afortunadamente la incidencia de complicaciones post-LASIK es muy baja<sup>71</sup>.

## CIRUGÍA DE DEFECTOS REFRACTIVOS EXTREMOS

### Lentes intraoculares fáquicos

El LASIK tiene limitaciones para la corrección de errores refractivos muy altos (aproximadamente por encima de 8,00 D de miopía y de 5,00 D de hipermetropía), ya que se pueden presentar efectos indeseables considerables del procedimiento fotoablativo, tales como pérdida de líneas de visión, disminución de la sensibilidad del contraste y molestias de visión nocturna. Además, la ablación excesiva del tejido corneal necesaria para estas altas correcciones, es un factor de riesgo para una ectasia corneal iatrogénica. Como una alternativa en estos casos se han diseñado diversos lentes intraoculares para ser implantados en estos pacientes sin retirar el cristalino, conocidos como lentes fáquicos.

Estos lentes pueden corregir miopías hasta de -23.50 dioptrías, hipermetropías hasta de +12.00 dioptrías y astigmatismos hasta de -7.50 Dioptrías. A su vez tienen en los extremos una especie de pinza con la que se fija al tejido del iris, para mantenerse en su posición frente a la pupila (Figura 13).



**Figura 13. El lente fáquico Artisan se fija al iris con unas pinzas especiales que posee en sus extremos (flechas). Permite corregir defectos muy altos.**

El Dr. Virgilio Galvis fue el pionero en implantación de este tipo de lentes en Colombia en 1998. Los resultados con estos lentes han sido muy favorables, y son la alternativa de elección para los defectos que no pueden ser corregidos con el excimer láser<sup>72</sup>.

### Facoemulsificación mas implantación de lente intraocular con fines refractivos

Otra alternativa que se emplea en la actualidad específicamente en casos de pacientes mayores de 45 o 50 años es la facoemulsificación del cristalino más implantación de lente intraocular en el saco capsular<sup>18,73,74</sup>. Esta cirugía tiene una indicación indudable si el paciente con el defecto refractivo presenta ya algún grado de catarata. En presencia de cristalino transparente la realización de la cirugía debe sopesar cuidadosamente el riesgo/beneficio. Ya que se trata de una cirugía intraocular que puede tener complicaciones relacionadas con la retina, el paciente debe conocerlos. Con las técnicas modernas la posibilidad de complicaciones serias es muy baja, y cada vez se está realizando más en mayores de 45 años que deseen corrección refractiva. El principio es extraer el cristalino por una incisión menor de 3 mm, utilizando una punta con vibración ultrasónica que desintegra y aspira el cristalino<sup>18</sup> (Figura 14) y posteriormente se implanta un lente intraocular de un poder determinado de acuerdo a los datos de la curvatura corneal y la longitud del ojo, usando una serie de fórmulas, de manera que se deje al ojo lo más cerca posible de la emetropía. Mientras que a un ojo emétrope se le implantaría un lente intraocular de aproximadamente +20,00 dioptrías, en el caso de un miope de -10,00 dioptrías, se le implantaría un lente de menor poder (aproximadamente +10,00 a +12,00 dioptrías) para que

la imagen se desplace posteriormente, corrigiendo el defecto. A un hipermetrope se le implantará un lente con más poder dióptrico (para una hipermetropía de +5.00 dioptrías, un lente intraocular de aproximadamente

+27.00 o +28.00 dioptrías). Actualmente, existen además lentes multifocales intraoculares que permiten que el paciente pueda tener simultáneamente visión lejana y visión próxima.

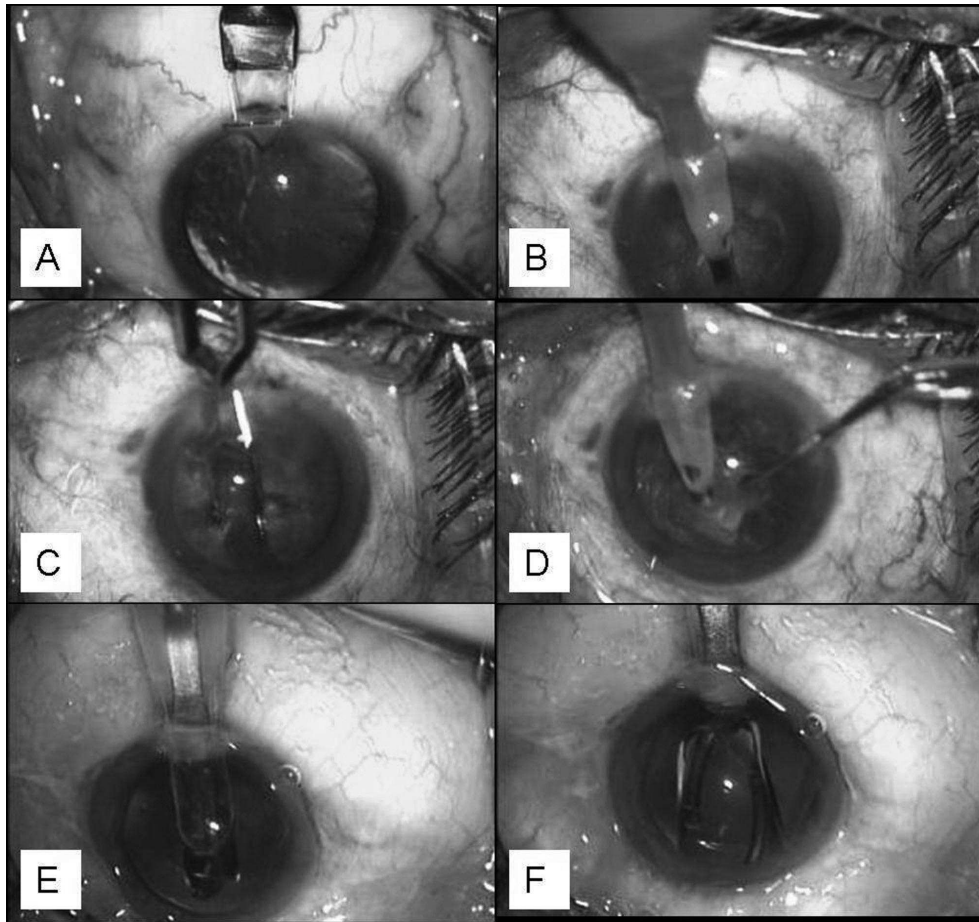


Figura 14. La facoemulsificación moderna permite extraer el cristalino por una incisión menor de 3 mm (A), utilizando una punta con vibración ultrasónica que desintegra y aspira el cristalino (B, C y D). Posteriormente se inyecta un lente intraocular plegable que se desdobla dentro del ojo (E y F). Fotografía publicada en Galvis V, Tello A, Carreño N. El cristalino para el médico general. MedUNAB 2008;11(3):225-30.

### CONCLUSIÓN

Para los defectos refractivos en la actualidad existen las alternativas del uso de gafas, lentes de contacto o su corrección con un procedimiento de cirugía refractiva (cirugía con excimer láser, lentes

fáquicos o facoemulsificación con fines refractivos). Realizando una buena selección del paciente los resultados quirúrgicos son muy buenos, teniendo un impacto positivo en la calidad de vida del paciente. Procedimientos incisionales del tipo de la queratotomía radial no se deben realizar en la actualidad, pues

tienen mayores riesgos y menor eficacia que las nuevas alternativas. En el futuro el desarrollo en el área de la corrección de aberraciones de alto orden con el excimer láser permitirá obtener resultados con mejor calidad visual para los pacientes.

### SUMMARY

#### Refractive defects and surgical correction.

Refractive errors are very common on general population, significantly affecting quality of life of patients. Currently there are several surgical alternatives for correction of these ametropias in the area of ophthalmology known as refractive surgery. One of the most used are photorefractive procedures with excimer laser. However when those errors have extreme magnitude, others approaches must be used like phakic intraocular lenses or phacoemulsification and intraocular lens implantation with refractive purposes. In this paper, using MEDLINE and searching in textbooks, a review was performed about historical issues, physiological optics, presumed ethiology and epidemiology of myopia, hyperopia and astigmatism and their surgical correction, and an overview of the current clinical and research status of the refractive surgery is provided. Moreover the current surgical criteria of Centro Oftalmológico Virgilio Galvis in refractive surgery are shown. (MÉD. UIS. 2009;22(2):146-59).

**Key words:** Refractive errors. Ametropias. Myopia. Hyperopia. Astigmatism. Excimer. Laser. Refractive surgery. Phakic intraocular lenses.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Szaflarski DM. How We See: The First Steps of Human Vision. Disponible en: [http://www.accessexcellence.org/AE/AEC/CC/vision\\_background.php](http://www.accessexcellence.org/AE/AEC/CC/vision_background.php), consultado el 22 de Febrero de 2009.
- Polyak SL: Historical Appendix to the Human Eye in Anatomical Transparencies. Rochester, NY: Bausch & Lomb, 1943.
- <http://www.medword.com/verbs.html>, consultado Feb 25 2009.
- Kriss TC, Kriss VM. History of the operating microscope: from magnifying glass to microneurosurgery. *Neurosurgery*. 1998 Apr;42(4):899-907; discussion 907-8.
- Verma RL. Al-Arabi. 1969 Aug;3:12-3. Al-Hazen: father of modern optics. [http://en.wikipedia.org/wiki/Glasses#cite\\_note-Kriss-2](http://en.wikipedia.org/wiki/Glasses#cite_note-Kriss-2), accedida Febrero 22 de 2009.
- Kalderon AE. The evolution of microscope design from its invention to the present days. *Am J Surg Pathol* 7:95-102, 1983.
- Wikipedia. Nicholas of Kues, disponible en: [http://en.wikipedia.org/wiki/Nicholas\\_of\\_Cusa](http://en.wikipedia.org/wiki/Nicholas_of_Cusa), consultado Febrero 23 de 2009.
- Prins J. Kepler, Hobbes and medieval optics. *Philos Nat*. 1987;24(3):287-310.
- Lindberg DC. The Genesis of Kepler's Theory of Light: Light Metaphysics from Plotinus to Kepler. *Osiris*. 2nd Series, Vol. 2, 1986.
- Wikipedia. Glasses. Disponible en: [http://en.wikipedia.org/wiki/Glasses#cite\\_note-Kriss-2](http://en.wikipedia.org/wiki/Glasses#cite_note-Kriss-2), consultada febrero 22 de 2009.
- Bellis M. The Inventions and Scientific Achievements of Benjamin Franklin. Disponible en: [http://inventors.about.com/od/fstartinventors/ss/Franklin\\_invent\\_4.htm](http://inventors.about.com/od/fstartinventors/ss/Franklin_invent_4.htm), consultada el 23 Febrero 2009.
- Katz M, Kruger PB. The Human Eye as an Optical System. En: Duane's Ophthalmology. Editor: Tasman, William; Jaeger, Edward A. Publisher: Lippincott Williams & Wilkins. Edition: 2009 Edition. ISBN: 978-0-7817-6855-9, Philadelphia, Estados Unidos.
- Kastl PR. Rigid Contact Lens Fitting. En: Duane's Ophthalmology. Editor: Tasman, William; Jaeger, Edward A. Publisher: Lippincott Williams & Wilkins. Edition: 2009 Edition. ISBN: 978-0-7817-6855-9, Philadelphia, Estados Unidos.
- Kastl PR, Lamberts DW. Basics of Soft Contact Lens Fitting. En: Duane's Ophthalmology. Editor: Tasman, William; Jaeger, Edward A. Publisher: Lippincott Williams & Wilkins. Edition: 2009 Edition. ISBN: 978-0-7817-6855-9, Philadelphia, Estados Unidos.
- Katz M, Kruger PB. The Human Eye as an Optical System. En: Duane's Ophthalmology. Editor: Tasman, William; Jaeger, Edward A. Publisher: Lippincott Williams & Wilkins. Edition: 2009 Edition. ISBN: 978-0-7817-6855-9, Philadelphia, Estados Unidos.
- Thall EH. Geometrical Optics. En: Duane's Ophthalmology. Editor: Tasman, William; Jaeger, Edward A. Publisher: Lippincott Williams & Wilkins. Edition: 2009 Edition. ISBN: 978-0-7817-6855-9, Philadelphia, Estados Unidos.
- Henderson T. Color and Vision. Disponible en: <http://www.physicsclassroom.com/Class/light/u12l2c.cfm>, consultada el 15 de Febrero 2009;13:24 H.
- Galvis V, Tello A, Carreño N. El cristalino para el médico general. *MedUNAB* 2008;11(3): 225-230.
- Lee KE, Klein BE, Klein R, Fine JP. Aggregation of refractive error and 5-year changes in refractive error among families in the Beaver Dam Eye Study. *Arch Ophthalmol* 2001;119:1679-85.
- Peet JA, Cotch MF, Wojciechowski R, Bailey-Wilson JE, Stambolian D. Heritability and familial aggregation of refractive error in the Old Order Amish. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007;48(9):4002-6.
- McBrien NA, Young TL, Pang CP. Myopia: Recent Advances in Molecular Studies; Prevalence, Progression and Risk Factors; Emmetropization; Therapies; Optical Links; Peripheral Refraction; Sclera and Ocular Growth; Signalling Cascades; and Animal Models. *Optom Vis Sci* 2008 19. [Epub ahead of print].
- Chen CJ, Cohen BH, Diamond EL. Genetic and environmental effects on the development of myopia in Chinese twin children. *Ophthalmic Paediatr Genet* 1985;6:353-9.
- Hammond CJ, Snieder H, Gilbert CE, Spector TD. Genes and environment in refractive error: the twin eye study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001;42:1232-6.
- Mak W, Kwan MW, Cheng TS. Myopia as a latent phenotype of a pleiotropic gene positively selected for facilitating neurocognitive development, and the effects of environmental factors in its expression. *Med Hypotheses* 2006;66:1209-15.
- Association of PAX6 polymorphisms with high myopia in Han Chinese nuclear families. Han W, Leung KH, Fung WY, Mak JY, Li YM, Yap MK, Yip SP. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009;50(1):47-56.
- Wu HM, Seet B, Yap EP. Does education explain ethnic differences

- in myopia prevalence? A population-based study of young adult males in Singapore. *Optom Vis Sci* 2001;78:234-9.
27. Tan NW, Saw SM, Lam DS. Temporal variations in myopia progression in Singaporean children within an academic year. *Optom Vis Sci* 2000;77:465-72.
  28. Saw SM, Chua WH, Hong CY. Nearwork in early-onset myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43:332-9.
  29. Ip JM, Saw SM, Rose KA, Morgan IG, Kifley A, Wang JJ, Mitchell P. Role of near work in myopia: findings in a sample of Australian school children. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49(7):2903-10.
  30. Dirani M, Tong L, Gazzard G, Zhang X, Chia A, Young TL, et al. Outdoor Activity and Myopia in Singapore Teenage Children. *Br J Ophthalmol* 2009;93(8):997-1000.
  31. Rose KA, Morgan IG, Ip J, Kifley A, Huynh S, Smith W, Mitchell P. Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. *Ophthalmology* 2008;115(8):1279-85.
  32. Lin LL, Shih YF, Hsiao CK, Chen CJ. Prevalence of myopia in Taiwanese schoolchildren: 1983 to 2000. *Ann Acad Med Singapore* 2004;33:27-33.
  33. Rose KA, Morgan IG, Smith W, Mitchell P. High heritability of myopia does not preclude rapid changes in prevalence. *Clin Experiment Ophthalmol* 2002;30:168-72.
  34. Kleinstejn RN, Jones LA, Hullett S. Refractive error and ethnicity in children. *Arch Ophthalmol* 2003;121:1141-7.
  35. Fan DS, Lam DS, Lam RF. Prevalence, incidence, and progression of myopia of school children in Hong Kong. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004;45:1071-5.
  36. Gerner LF, Kinneer RF, McKellar M, Klinger J, Hovander MS, Grosvenor T. Refraction and its components in Melanesian schoolchildren in Vanuatu. *Am J Optom Physiol Opt* 1988;65(3):182-9.
  37. Kempen JH, Mitchell P, Lee KE. The prevalence of refractive errors among adults in the United States, Western Europe, and Australia. *Arch Ophthalmol* 2004;122:495-505.
  38. Wong TY, Foster PJ, Hee J, Ng TP, Tielsch JM, Chew SJ, et al. Prevalence and risk factors for refractive errors in adult Chinese in Singapore. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;41(9):2486-94.
  39. Saunders KJ. Early refractive development in humans. *Surv Ophthalmol* 1995;40:207-16.
  40. Parssinen O, Hemminki E, Klemetti A. Effect of spectacle use and accommodation on myopic progression: final results of a three-year randomised clinical trial among schoolchildren. *Br J Ophthalmol* 1989;73:547-51.
  41. Tong L, Huang XL, Koh AL, Zhang X, Tan DT, Chua WH. Atropine for the Treatment of Childhood Myopia: Effect on Myopia Progression after Cessation of Atropine. *Ophthalmology* 2009;116(3):572-9.
  42. Topuz H, Ozdemir M, Cinal A, Gumusalan Y. Age-related differences in normal corneal topography. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2004;35(4):298-303.
  43. The Eye Disease Case-Control Study Group. Risk factors for idiopathic rhegmatogenous retinal detachment. *Am J Epidemiol* 1993;137:749-57.
  44. Grodum K, Heijl A, Bengtsson B. Refractive error and glaucoma. *Acta Ophthalmol Scand* 2001;79:560-6.
  45. Lowe RF. Causes of shallow anterior chamber in primary angle-closure glaucoma. Ultrasonic biometry of normal and angle-closure glaucoma eyes. *Am J Ophthalmol* 1969;67:87-93.
  46. Snellen HA. Die richtung des hauptmeridiane des astigmatischen auges. *Albrecht von Graefe's Arch. Klin. Exp. Ophthalmol.* 1869;15:199-207.
  47. Sato T, Akiyama K, Schibata H. A new surgical approach to myopia. *Am J Ophthalmol* 1953;36:823-9.
  48. Tanaka M, Ishii R, Yamaguchi T, Kanai A, Nakajima A. [Bullous keratopathy after the operation for myopia (author's transl)] *Nippon Ganka Gakkai Zasshi.* 1980;84(12):2068-74.
  49. Yenaleyev FS. Experience of surgical treatment of myopia. *Ann Ophthalmol USSR* 1979;3:52-5.
  50. Fyodorov SN, Durnev VV. Operation of dosaged dissection of corneal circular ligament in cases of myopia of mild degree. *Ann Ophthalmol* 1979;11:1885-90.
  51. Waring G, Lynn M, Azhar M, Kuiner M, Cowden J, the PERK study group. Results of the prospective evaluation of radial keratotomy (PERK) study. Five years after surgery. *Ophthalmology* 1991;98:1164-76.
  52. Choi DM, Thompson RW Jr, Price FW Jr. Incisional refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2002;13(4):237-41.
  53. Barraquer JL. Conducta de la cornea frente a los cambios de espesor. Contribución a la cirugía refractiva. *Arch Soc Amer Oftal Optom* 1964;5:81.
  54. Barraquer, J.I. Method for cutting lamellar grafts in frozen corneas. New orientations for refractive surgery. *Arch. Soc. Am. Ophthalmol* 1958;1:237.
  55. Ruiz LA. Cheratomileusi automatizzata in situ. En: Burato L, Ferrari M (eds): *Chirurgia Della Miopia Assile mediante Cheratomileusi.* CAMO, Milan (Italia), 1993, pp 137-42.
  56. Wikipedia. Láser. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1ser>, consultada el 15 de Febrero 2009.
  57. Hecht J. The Laser Guidebook, Optical and Electro-Optical Engineering Series. Disponible en: <http://www.digitalengineeringlibrary.com/spider/XQASP/xq/ASP/chapterid.p2000aed39970211001/bookid.2000aed3/qx/tempframepage.htm>, consultada el 15 de Febrero 2009.
  58. Laser Machining Processes. Types of Lasers — Excimer Lasers. <http://www.mrl.columbia.edu/ntm/level2/ch02/html/12c02s11.html>, consultada el 15 de Febrero de 2009
  59. Khan AU, Kasha M. Mechanism of four-level laser action in solution excimer and excited-state proton-transfer cases. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1983;80(6):1767-70.
  60. Taboada J, Mikesell GW, Reed JR, "Response of the Corneal Epithelium to KrF Excimer Laser Pulses," *Health Physics* 1981;40:677.
  61. Trokel SL, Srinivasan R, Braren B. Excimer laser surgery of the cornea. *Am J Ophthalmol* 1983;96:710-5.
  62. Munnerlyn CR, Koons SJ, Marshall J. J Cataract Refract Surg. Photorefractive keratectomy: a technique for laser refractive surgery 1988;14(1):46-52.

63. Pallikaris IG, Papatzanaki ME, Stathi EZ, Frenschok O, Georgiadis A. Laser in situ Keratomileusis. *Lasers Surg Med* 1990;10:463-8.
64. Latvala T, Barraquer-Coll C, Tervo K. Corneal wound healing and nerve morphology after excimer laser in situ keratomileusis in human eyes. *J Refract Surg* 1996;12:677-83.
65. Noack J, Tonnies R, Hohla K, Birngruber R, Vogel A: Influence of ablation plume dynamics on the formation of central islands in excimer laser photorefractive keratectomy. *Ophthalmology* 1997;104:823.
66. Galvis V, Tello A, Carreño N, Irrazabal V, Arba S. Sistema Amaris de Excimer Láser: El Último Desarrollo en Cirugía Refractiva. *Highlights of Ophthalmology*, 2008;36(3):2-7.
67. Wilson SE, Lin DT, Klyce SD, Reidy JJ, Insler MS. Topographic changes in contact lens-induced corneal warpage. *Ophthalmology* 1990;97:734-44.
68. Murray A, Jones L, Milne A. A Systemic Review of the Safety and Efficacy of Elective Photorefractive Surgery for the Correction of Refractive Error. Aberdeen, Scotland: Health Services Research Unit, University of Aberdeen; 2005. Disponible en: <http://www.nice.org.uk/page.aspx?o=ip320review>. Consultado 20 Febrero 2009.
69. Jaycock PD, O'Brart DF, Rajan MS, Marshall J. 5-year follow-up of LASIK for hyperopia. *Ophthalmology* 2005;112:191-9.
70. Randleman JB, Russell B, Ward MA, Thompson KP, Stulting RD. Risk factors and prognosis for corneal ectasia after LASIK. *Ophthalmology* 2003;110:267-75.
71. Management of Complications in Refractive Surgery. Alió y Sanz, Jorge L.; Azar, Dimitri T. (Eds.) 2008, Springer.
72. Güell JL, Morral M, Gris O, Gaytan J, Sisquella M, Manero F. Five-year follow-up of 399 phakic Artisan-Verisyse implantation for myopia, hyperopia, and/or astigmatism. *Ophthalmology* 2008;115(6):1002-12.
73. Packard R. Refractive lens exchange for myopia: a new perspective? *Curr Opin Ophthalmol* 2005;16(1):53-6.
74. Ferrer-Blasco T, Montés-Micó R, Cerviño A, Alfonso JF, Fernández-Vega L. Contrast sensitivity after refractive lens exchange with diffractive multifocal intraocular lens implantation in hyperopic eyes. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(12):2043-8.