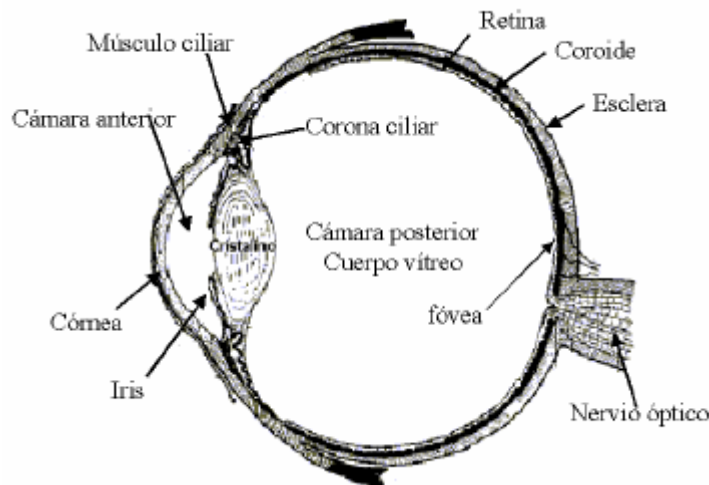


EVOCO (Evaluador de la Visión en Ojos con Córnea Operada) *

Se propone el desarrollo de un programa informático para la evaluación del efecto de corrección de la ametropía y de la calidad de la visión de un ojo con miopía corregida mediante cirugía de la córnea.

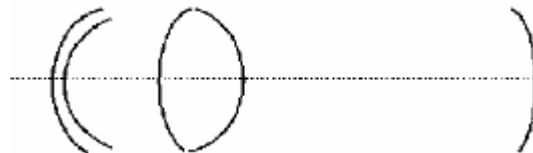
Aspectos que son relevantes en la aplicación que se desarrolla, son:

- La aplicación debe admitir un modelo realista del ojo emétrope, del ojo con una miopía baja, mediana o severa y del efecto de corrección que se produce con la cirugía de cornea.
- La aplicación debe evaluar de forma fiable la imagen que se obtiene para cualquiera de los tres casos anteriores, mediante el trazado exacto de un conjunto amplio de rayos ópticos que alcanzan el ojo dentro de la zona de visión.
- El programa debe tener capacidad de evaluar diferentes factores de calidad de la visión que contrasten el comportamiento de un ojo bajo los tres casos que se consideran.



Modelo del ojo

Se considera el modelo de ojo de Kooijman. Este considera al ojo formado por un conjunto de superficies cónicas (con forma esférica, pero muy próxima a formas esféricas) con simetría de revolución.



* Los datos de esta práctica han sido obtenidos del trabajo fin de Carrera en Físicas de Dña. Eva Rodríguez Vidal, titulada "Modelado de los efectos de tallado de la zona de transición en intervenciones de cirugía refractiva". Universidad de Cantabria, 2006.

La ecuación general de cualquiera de estas cónicas es

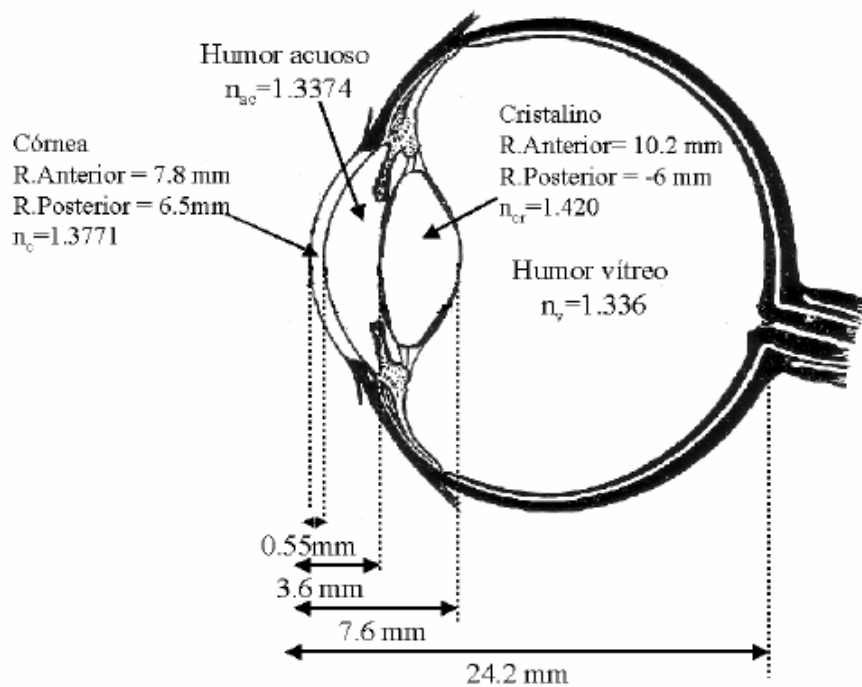
$$\left(x - \frac{R}{p}\right)^2 + \frac{y^2}{p^2} = \frac{R^2}{p^2}$$

donde x e y son las coordenadas cartesianas, R es el radio central y p es una constante que determina la forma de la cónica y que está relacionada con la asfericidad $Q=p-1$.

En la siguiente tabla se indican los valores típicos de los parámetros que determinan las superficies del sistema óptico.

Parámetro ocular	Córnea		Cristalino		Retina
	Cara anterior	Cara posterior	Cara anterior	Cara posterior	
Radio / mm	7.8	6.5	10.2	-6	-14.1
Asfericidad Q	-0.25	-0.25	-3.06	-1.0	1.346
Forma	Elipsoide	Elipsoide	Hiperboloide	Paraboloide	elipsoide
Distancia Vértice/ mm	0.0	0.55	3.6	7.6	24.2
Índice de refracción tras el dioptrio	1.3771	1.3374 (Humor acuoso)	1.420	1.336 (Humor vítreo)	-

Así mismo, en la siguiente figura se muestran las distancias y los índices de refracción de un ojo típico.



El modelo paraxial de un sistema como éste se caracteriza por las siguientes ecuaciones:

Distancias focales: $f = \frac{nR}{n - n'}$ $f' = \frac{n'R}{n' - n}$ (1)

donde R es el radio central del dioptrio, y n y n' los índices de refracción de los medios anterior y posterior del dioptrio.

Distancia focal del sistema total: $f' = \frac{-f_1' f_2'}{e - f_1' + f_2'}$ (2)

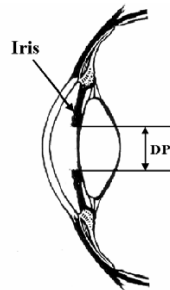
Poder refractor total del sistema: $P = \frac{n'}{f'}$ (3)

Aplicando estas ecuaciones a los dos dioptrios que constituyen la córnea y el cristalino, y designando por e el espesor entre las caras de las superficies refractoras, se pueden evaluar los parámetros básicos del sistema óptico bajo visión paraxial.

	Córnea	Cristalino	Ojo teórico total
e / mm	0.55	4	6.08
f / mm	-23.61	-61.4	-16.68
f' / mm	31.57	61.34	22.29
P / D	42.36	21.78	59.94

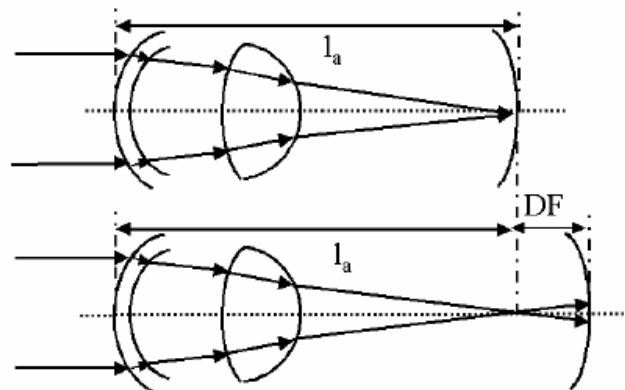
Los valores que aparecen en la cuarta columna corresponden al sistema óptico resultante de acoplar los sistemas córnea y cristalino, siendo f y f' las distancias focales objeto e imagen respectivamente del sistema óptico global, P el poder refractor y e la distancia entre el plano focal objeto e imagen del sistema total acoplado.

En el ojo teórico hay que tener en cuenta la influencia de la abertura pupilar que es regulada por el iris. El diámetro pupilar, DP, fluctúa entre 2 mm de diámetro para visión de alta luminosidad y 8 mm en visión nocturna.



Modelo de ojo miope.

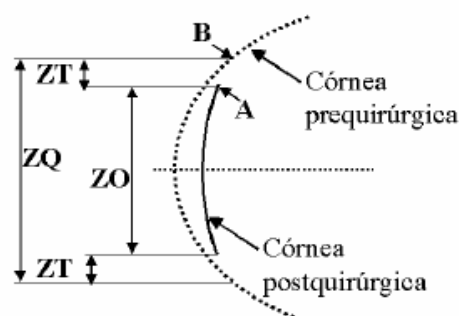
Un ojo miope es aquel que tiene un exceso de poder refractor, y por tanto su imagen se forma antes de la retina.



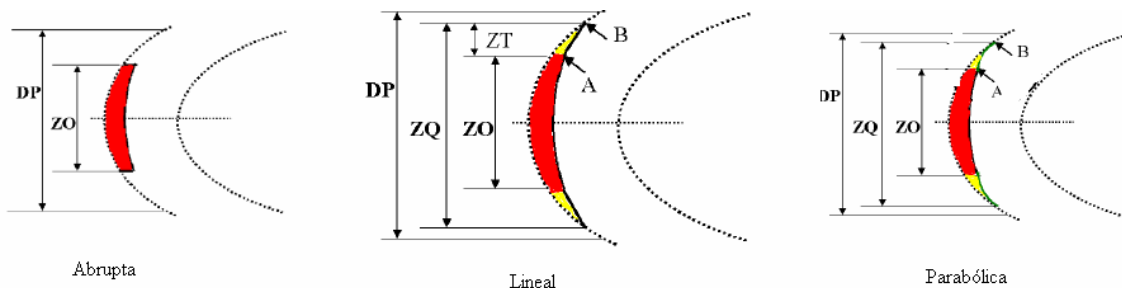
Para un ojo con un grado de miopía de $-nD$, el defecto de focalización DF puede obtenerse restando a la distancia focal imagen del ojo amétrope la distancia focal imagen del ojo emétrope.

Modelo del con corrección quirúrgica en la córnea.

En la figura se muestra la modificación de la geometría exterior de la córnea que se lleva a cabo para corregir una miopía. La asfericidad de la córnea prequirúrgica y tallada es la misma (valor típico $Q=-0.25$).

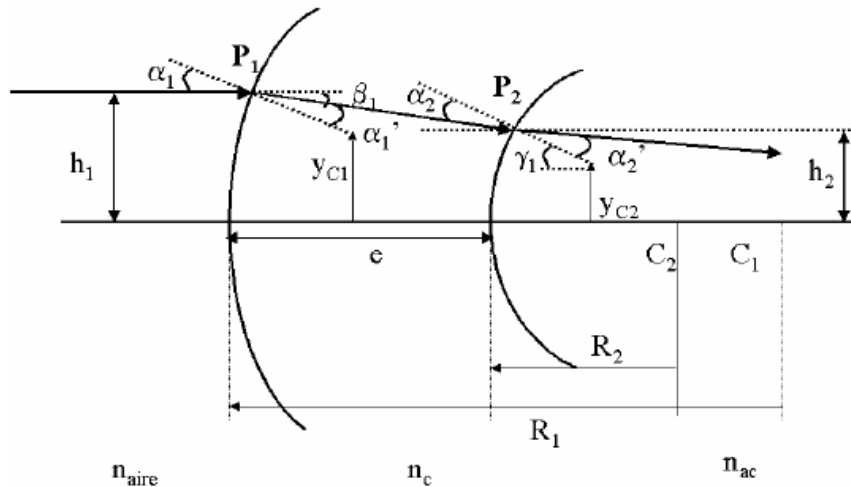


En esta figura, R_{pre} es el radio central prequirúrgico (típico 7.8 mm), R_{post} es el radio central postquirúrgico, e es el espesor corneal eliminado, ZO es la zona óptica cuyo radio de curvatura es corregido (diámetro típico 6 mm), ZQ es la zona quirúrgica afectada (diámetro típico 7.5 mm) y ZT es la zona de transición de la que se considera tres modelos: abrupta, lineal y parabólica.



Trazado de los rayos ópticos.

Como se muestra en la figura, cada rayo óptico se calcula utilizando la ley de Snell en cada superficie que encuentre el rayo.



Para cada superficie esférica se conocen los radios centrales, su asfericidad, la posición de corte de estas con el eje óptico y los índices de refracción de los medios que se encuentran entre las superficies n_{aire} , n_c y n_{ac} .

El programa debe evaluar la trayectoria quebrada exacta que sigue un rayo que incide paralelamente al eje X y a una distancia h del eje óptico. Para ello habrá que aplicar la ley de Snell a cada incidencia del rayo en cada superficie del sistema. El resultado final será la distancia con el eje óptico en que el rayo impacta sobre la retina.

Evaluación de la calidad óptica

Los criterios de valoración de la calidad de visión comparan el comportamiento del ojo con el del ojo emétrepe ideal que focaliza una imagen del infinito en un punto de la retina. Se basa en evaluar la trayectoria de un gran número de rayos paralelos al eje óptico y separados a diferentes distancias de él, que representan un objeto en el infinito, y del análisis de la dispersión de la mancha de los impactos en la retina, que es un reflejo de la aberración esférica del sistema, de su desenfoque y de la no uniformidad radial del sistema por el tallado de la cornea.

Específicamente se utilizan dos criterios de valoración:

- El diámetro de la mancha de impactos en la retina, que evalúa la desviación respecto del caso emétrepe ideal (emétrepe para rayos paraxiales) que sería un punto de diámetro nulo,
- El diámetro de la mancha de impactos constituida por el 60% de los rayos que impactan mas cerca del eje óptico. Que evalúa la desviación respecto del caso emétrepe, excluidos los rayos desviados por las heterogeneidades que generan un halo más amplio.
- La razón de energía ER que se evalúa como

$$ER = \frac{I_{real}(100\mu m)}{I_{emétrepe}(100\mu m)}$$

siendo

$I_{real}(100\mu m)$ el número de rayos que inciden en la retina a una distancia menor de $100\mu m$ del eje óptico.

$I_{\text{emétrope}}(100\mu\text{m})$ el número de rayos que en el caso emétrope inciden a una distancia menor de $100\mu\text{m}$ del eje óptico.

Este parámetro representa la relación entre la intensidad luminosa que incide en la foveola para un ojo amétrope y un ojo emétrope.

Ambas magnitudes, se evalúan para diferente valores de abertura pupilar de visión de alta intensidad DP=3 mm, visión normal DP=5 mm y visión nocturna DP=8 mm.

También se evaluará para los tres perfiles (abrupto, lineal y parabólico) de la zona de transición en el ojo tallado mediante cirugía de córnea.

Funcionalidad de la aplicación informática.

La aplicación deberá basarse en una interfaz gráfica de usuario (GUI), que permita amigablemente realizar las siguientes interacciones:

- Introducción de los modelos:
 - Debe visualizar los parámetros que caracterizan al ojo emétrope, con una determinada miopía, con un determinado perfil de tallado y para un determinado diámetro de la pupila.
 - Establecer automáticamente los parámetros que corresponden a los casos típicos de visión emétrope, a los casos típicos de miopía y a los valores típicos de tallado de la corrección quirúrgica.
 - Y en último término, establecer el valor de cualquier parámetro del modelo
- Visualizar el proceso de análisis del sistema óptico. Debe visualizar el trazado de un conjunto predeterminado de rayos incidentes para los tres casos de ojo (emétrope, miope y tallado).
- Representar los valores de los parámetros de calidad de visión: Representar en forma tabular los tres parámetros de calidad de visión y para los tres casos de ojo (emétrope, miope y tallado).
- Salvar y recuperar del disco los casos que se estudien, conteniendo los ficheros los parámetros que se han establecido y los resultados que se han obtenido del análisis. También deberá desarrollarse un visor que visualice de forma tabular y ordenada los casos analizados y registrados en el sistema.

Propuesta de interfaz de Usuario (GUI)

Los elementos que ve y maneja el operador de la aplicación son los que se muestran en la interfaz que ofrece la aplicación. En las siguientes figuras se propone una posible configuración de dicha interfaz.

