Image formation in the eye: video demonstration Formación de imagen en el ojo: video demostrativo

A. Gargallo^{1,S} and J. Arines^{1,S*}

1. Departamento de Física Aplicada (Área de Optometría), Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Óptica y Optometría (Campus Vida), 15782, Santiago de Compostela, Spain

(*) E-mail: justo.arines@usc.es

S: miembro de SEDOPTICA / SEDOPTICA member

Received / Recibido: 15/05/2015

Accepted/ Aceptado: 28/05/2015

DOI: 10.7149/OPA.48.2.175

ABSTRACT:

Geometrical optics predicts the formation of an inverted image of the world on the retina. In this video, we confirm that this affirmation is true. The movie shows a light on the left, and an eye from a death cow on the right. We removed the superior part of the sclera in order to see the eye fundus. It is possible to see a reflex of the light on the cornea and the image of the light on the retina. We move the light up and down, and the image of the lamp on the back of the eye moves in the contrary sense. So the eye inverts the image.

Key words: Physiological Optics, eye, retinal image, geometrical optics, educational resources.

RESUMEN:

La óptica geométrica predice que la imagen formada por el sistema óptico en la retina estará invertida con respecto al mundo real. En este vídeo, confirmamos que esta afirmación es cierta. La película muestra un foco de luz a la izquierda, y un ojo de vaca *ex vivo* a la derecha. Hemos eliminado la parte superior de la esclerótica con el fin de observar el fondo de ojo. Es posible ver un reflejo de la luz sobre la córnea y la imagen del foco en la retina. Al mover la luz de un lado a otro de arriba se observa como la imagen de la lámpara en la parte posterior del ojo se mueve en el sentido contrario. Así es como el ojo invierte la imagen.

Palabras clave: Óptica Fisiológica, ojo, imagen retiniana, óptica geométrica, recursos educativos.

[Video 1](#). Video demostración de la inversión de la imagen por el sistema óptico del ojo

REFERENCES AND LINKS / REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] H. Sarau, C. Lemasson, H. Offret, G. Renard, *Anatomía e histología del ojo*. Masson, (1985).
 - [2] P.L. Kaufman, A. Alm, *ADLER: Fisiología del ojo. Aplicación clínica*. 10ª. s.l. : Mosby Elsevier, (2004)
 - [3] Y. Le Grand, *Optique physiologique en 3 tomes*. Ed de la Revued'optique (1956-1964) puis Masson(1970)
 - [4] M. Aguilar, F. Mateos, *Óptica Fisiológica*. Tomo I. Servicio de Publicaciones U.P.V. Valencia (1993)
 - [5] W. Lotmar, "Theoretical Eye Model with Aspherics," J. Opt. Soc. Am. **61**, 1522-1529 (1971)
<http://dx.doi.org/10.1364/JOSA.61.001522>
 - [6] A. C. Kooijman, "Light distribution on the retina of a wide-angle theoretical eye," J. Opt. Soc. Am. **73**, 1544-1550 (1983)
<http://dx.doi.org/10.1364/JOSA.73.001544>
 - [7] R. Navarro, J. Santamaría, and J. Bescós, "Accommodation-dependent model of the human eye with aspherics," J. Opt. Soc. Am. A **2**, 1273-1280 (1985)
<http://dx.doi.org/10.1364/JOSAA.2.001273>
-

1. Introducción

El ojo es el órgano encargado de formar las imágenes del mundo exterior en la retina, donde se envían en forma de impulsos nerviosos al cerebro para ser interpretadas. Por tanto, la calidad visual está limitada por un lado por la óptica ocular y por el otro por el procesamiento neuronal de la imagen.

Como se muestra en la figura 1, la córnea, que es una estructura transparente, se sitúa en la parte anterior del ojo. Posteriormente a ésta, encontramos el iris que delimita una abertura, la pupila. Éste actúa como diafragma controlando la cantidad de luz que entra. Detrás se encuentra el cristalino que es una estructura transparente biconvexa y elástica. Esta elasticidad le permite, por la acción del músculo ciliar, cambiar su curvatura para enfocar objetos cercanos. La imagen se forma en la retina donde se encuentran los fotorreceptores. Estas células capturan la energía luminosa y la convierten en energía eléctrica que se transmite en forma de impulsos nerviosos por el nervio óptico hasta el encéfalo, donde entran en juego los procesos neurocognitivos y se completa la visión [1, 2].

Fig. 1 Partes del ojo

En los vertebrados terrestres, las lentes que realizan la tarea de focalizar la imagen en la retina son la córnea y el cristalino, que se comportan como un sistema de lentes convergentes. La córnea, al estar en

contacto con el aire y tener una curvatura pronunciada, es el elemento refractivo más importante del ojo, aporta unas 45 D en el humano. El cristalino, debido a sus curvaturas y el gradiente de índice que presenta, aporta unas 15 D. Teniendo en cuenta esto, los principios de formación de imagen del ojo son los mismos que en un sistema óptico convencional.

Los parámetros que definen las características ópticas y físicas del globo ocular han sido detallados por varios investigadores a lo largo de los años. Estos valores se utilizan para construir modelos esquemáticos de ojo que simplifican el estudio de su comportamiento óptico. Estos modelos pueden ser más simples centrándose en la óptica paraxial como el de Gullstrand, Le Grand y Emsley [3, 4], a modelos más sofisticados que introducen superficies asféricas como el de Lotmar [5], Kooijman [6] y Navarro [7].

Para el estudio de la formación de imagen retiniana asumiremos que los rayos formadores de la imagen se comportan como rayos paraxiales, aquellos que forman ángulos pequeños con el eje óptico de manera que el seno del ángulo se puede aproximar al ángulo. Emplearemos un ojo reducido en el que las 4 superficies refractivas del ojo se representan como una única superficie esférica. De esta manera, la imagen formada se puede hallar mediante la construcción de dos o más trayectorias de rayos desde un punto objeto dado [4]. Con el trazado de rayos podemos predecir que la imagen retiniana estará invertida en comparación al objeto observado (figura 2).

Fig. 2. Esquema de un ojo humano reducido. F, puntos focales, N, punto nodal, P, punto principal. [2]

2. Como se hizo

El experimento fue realizado antes de las 6h *post mortem* de la vaca, con el fin de que el cristalino no perdiera su transparencia. El ojo fue proporcionado por el matadero local. Tras identificar sus partes, se limpió la grasa orbitaria y se orientó en el espacio mediante la localización de los músculos extraoculares. En la parte superior de la esclerótica, se realizó una incisión con una hoja de bisturí y se retiró un rectángulo de tejido que permitía ver el interior del globo sin que perdiese su forma. Posteriormente se colocó en una plataforma a la misma altura que un foco de luz situado en frente.

La imagen se grabó con la cámara de una Tablet Samsung Galaxy 10.0 Durante la grabación del video, movimos el foco de luz hacia los lados con la luz dirigida hacia el ojo en todo momento.

3. Resultado: el vídeo

En el vídeo asociado al [Video 1](#), se puede apreciar el ojo de vaca a la derecha y el foco de luz a la izquierda. Si observamos con detalle el ojo, en la córnea podemos ver el reflejo de luz en su superficie, además, en la

parte posterior del globo ocular, se ve un punto luminoso que es la imagen formada por el sistema óptico del ojo en la retina.

Al mover el foco de un lado a otro, el reflejo corneal sigue el movimiento de éste, sin embargo, el punto imagen retiniano se mueve en sentido contrario. El vídeo nos permite visualizar la inversión de la imagen que producen las lentes del ojo.

No obstante, aunque la imagen que se forma en nuestras retinas está invertida con respecto al mundo real, nosotros no vemos los objetos al revés. Esto se debe a que nuestro cerebro vuelve a invertir la imagen cuando la interpreta para completar el proceso visual.

4. Conclusiones

Hemos empleado materiales cotidianos y un ojo de vaca *ex vivo*, proporcionado por un matadero local, para demostrar cómo el ojo forma las imágenes invertidas respecto al mundo real en la retina. El experimento fue grabado en vídeo para utilizarlo en clases y charlas divulgativas, aunque también puede ser realizado en directo cuando hacemos disecciones para enseñar la anatomía ocular. Este artículo, pretende ser una herramienta didáctica para que los estudiantes puedan visualizar el comportamiento de la luz al atravesar los medios refractivos oculares de una manera más realista.