

Development of a new 3D educational eye model to understand refractive errors, their detection, and correction

Desarrollo de un nuevo modelo 3D de ojo educativo para el conocimiento de los errores refractivos, su detección y corrección

N. Garcia-Porta^{1,2*}, S. Rendo-González^{1,2}, J. Arines^{1,2,S}

1. Applied Physics Department (Optometry area), Optics and Optometry Faculty. University of Santiago de Compostela, 15782 Spain.

2. Institute of Materials (iMATUS) of the University of Santiago de Compostela. Spain

(*) E-mail: nery.garcia.porta@usc.es

S: miembro de SEDOPTICA / SEDOPTICA member

Received: 26/05/2025

Accepted: 29/09/2025

DOI: 10.7149/OPA.58.3.51218

ABSTRACT:

This work introduces a three-dimensional (3D) model of the human eye, designed for educational and outreach purposes in the fields of optics and optometry. Created using the online software Tinkercad, the model aims to enhance the understanding of key concepts such as image formation, refractive errors, and their correction. The model is constructed with proportions similar to those of the human eye and includes the main optical elements: a lens simulating the cornea, another representing the crystalline lens (with options for spherical, cylindrical, or accommodative components), an interchangeable pupil, and a detection screen to visualize images formed on the retina. Unlike traditional two-dimensional demonstrators, this model allows for exploration in a three-dimensional environment, improving comprehension of phenomena such as astigmatism, retinal image inversion, and the impact of object position and corrective lenses. Additionally, it features an external support in the form of glasses, enabling the simulation of optical correction using real ophthalmic lenses. The model has been utilized in workshops with secondary and high school students, proving its effectiveness in sparking interest in optics, optometry, and vision. It has successfully demonstrated concepts such as retinal image inversion, accommodation, off-axis astigmatism, and the functioning of optometric tests like the clock dial test. Furthermore, it has been used to introduce advanced concepts such as the point spread function (PSF) and the Scheiner method. In summary, this 3D model offers an accessible, versatile, and effective tool for teaching the process of image formation in the human eye, benefiting both students of optics and optometry and the general public through scientific outreach. The 3D model can be downloaded from the following link <https://hdl.handle.net/10347/39758>

Key words: Retinal image, Refractive Error, Eye, Vision, Optometric tests

RESUMEN:

Este trabajo presenta un modelo tridimensional (3D) de ojo humano diseñado con fines educativos y divulgativos en el campo de la óptica y la optometría. Desarrollado mediante el software online Tinkercad, el modelo busca facilitar la comprensión de conceptos clave como la formación de imágenes, los errores refractivos y su corrección. Está construido con proporciones entre las diferentes partes de ojo similares a las del ojo humano e incluye los principales elementos ópticos: una lente que simula la córnea, otra que representa el cristalino (con posibilidad de introducir componentes esféricas, cilíndricas o acomodativas), una pupila intercambiable y una pantalla de detección para visualizar las imágenes formadas en la retina. A diferencia de los demostradores tradicionales en dos dimensiones, este modelo permite trabajar en un entorno tridimensional, lo que mejora la comprensión de fenómenos como el astigmatismo, la inversión de la imagen retiniana o el

impacto de la posición del objeto y las lentes correctoras. Además, incluye un soporte exterior en forma de gafa, que permite simular la corrección óptica mediante lentes oftálmicas reales. El modelo ha sido utilizado en talleres con estudiantes de secundaria y bachillerato, demostrando su utilidad para despertar el interés por la óptica, la optometría y la visión. Se ha comprobado que el modelo permite explicar con claridad la inversión de la imagen retiniana, la acomodación, el astigmatismo fuera de eje y el funcionamiento de pruebas optométricas como el test de la esfera horaria. También se ha empleado para introducir conceptos avanzados como la función de dispersión del punto (PSF) o el método de Scheiner. En resumen, este modelo 3D ofrece una herramienta accesible, versátil y eficaz para la enseñanza del proceso de formación de imágenes en el ojo humano, facilitando tanto el aprendizaje de estudiantes de óptica y optometría, como la divulgación científica para el público general. El modelo 3D se puede descargar del siguiente enlace <https://hdl.handle.net/10347/39758>.

Palabras clave: imagen retiniana, error de refracción, ojo, visión, test optométricos

REFERENCES AND LINKS / REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] Thibos, L. N. (2000). Formation and sampling of the retinal image. In Seeing (pp. 1-54). Academic Press.
- [2] A. Gargallo, J. Arines, "Webcams as a tool for teaching in Optometry training". Journal of Physics: Conference Series **605**(1), 012039 (2015).
- [3] M. Rodríguez López, "¿Cómo ve el paciente durante el proceso de refracción subjetiva?" Trabajo de fin de grado, Universidade de Santiago de Compostela, Curso 2021-2022.
- [4] Thibos, Larry N.*. The 2012 Charles Prentice Medal Lecture: Wavefront Measurement of Refractive State. Optometry and Vision Science 90(9):p 911-923, September 2013.

1. Introducción

La mayor parte de la información que el ser humano percibe proviene de su sistema visual, y para que éste funcione correctamente, es necesario que las imágenes de los objetos circundantes se proyecten adecuadamente en la retina [1]. El proceso visual comienza cuando la luz entra al ojo, atraviesa la córnea y el cristalino, y se enfoca con precisión en la retina. Esta fina capa de tejido, ubicada en la parte posterior del ojo, transforma la luz en señales eléctricas gracias a sus fotorreceptores. Luego, esas señales viajan por el nervio óptico hasta el cerebro, donde finalmente se interpretan como imágenes. De esta manera, cualquier alteración en el sistema óptico del ojo, o en su posterior procesamiento, puede afectar a la percepción visual e incluso al crecimiento ocular. Además, en personas con errores refractivos, la luz que llega a la retina no se enfoca correctamente, lo que provoca visión borrosa; el grado de borrosidad o distorsión varía según el tipo y la magnitud del error refractivo presente en cada individuo. Comúnmente al hablar de errores refractivos nos referimos a miopía, hipermetropía y astigmatismo.

Las personas con miopía ven los objetos lejanos desenfocados porque su ojo presenta un exceso de poder refractivo en relación con la longitud axial del globo ocular, lo que provoca que las imágenes se formen por delante de la retina. En cambio, en la hipermetropía, el poder refractivo es insuficiente en relación con la longitud axial del ojo, y como resultado, las imágenes de los objetos distantes se forman por detrás de la retina. No obstante, a diferencia de los miopes, los hipermétropes pueden compensar parcialmente este defecto mediante la acomodación, un mecanismo que incrementa el poder refractivo del ojo y permite que las imágenes se enfoquen correctamente sobre la retina.

Tanto en el caso de la miopía como de la hipermetropía, el exceso o defecto de poder refractivo que presenta el ojo es de igual magnitud en todos los meridianos oculares. En el caso del astigmatismo, nos encontramos con que la potencia refractiva ya no es igual en todos estos meridianos. Sus valores cambian progresivamente entre un valor máximo y un valor mínimo (correspondientes a las potencias de los meridianos principales). Como resultado, la luz que atraviesa los distintos meridianos no converge en un único punto focal, haciendo que la imagen de un punto no se perciba como tal, sino como una línea o una elipse cuya orientación depende del eje del astigmatismo.

Comprender cómo se forman las imágenes en la retina resulta fundamental para interpretar adecuadamente los distintos errores refractivos del ojo. Esta visualización, ya sea mediante modelos o simulaciones, facilita a estudiantes y profesionales de las ciencias de la visión, como optometristas y oftalmólogos, una mejor comprensión de las bases ópticas de la refracción y del modo en que estos defectos afectan la percepción visual. Además, la posibilidad de representar gráficamente cómo se proyectan las imágenes en presencia de errores refractivos permite que cualquier persona, independientemente de su formación, pueda entender por qué ve el mundo nítido o borroso.

En este sentido, en la literatura se han descrito distintos recursos didácticos que permiten enseñar cómo se formarían las imágenes en la retina en presencia de los diferentes errores refractivos, e incluso mostrar cómo los pacientes percibirían los optotipos durante el proceso de refracción subjetiva [2, 3]. Estos recursos se basan en ojos esquemáticos montados en bancos ópticos, los cuales representan al ojo humano con un solo elemento refractivo sin tener en cuenta que en realidad intervienen dos: la córnea y el cristalino. Esta simplificación constituye una limitación importante, ya que no refleja con precisión el comportamiento óptico real del ojo. En la Figura 1 se expone uno de los demostradores más utilizados para explicar la corrección de errores refractivos, mediante el trazado de rayos y el uso de una plantilla con un ojo dibujado. Este demostrador utiliza el modelo de ojo reducido, en el que los elementos dióptricos del ojo (córnea y cristalino) se sustituyen por única lente de focal equivalente (lente 2). En la parte superior de la figura puede observarse un ojo miope (exceso de potencia), donde la imagen de un objeto situado en el infinito (los rayos que inciden en el ojo llegan paralelos) se forma delante de la retina. En la parte inferior de la figura se muestra el mismo ojo miope corregido con la lente 5, una lente divergente, que reduce la potencia del sistema óptico compuesto por la lente correctora y el ojo.

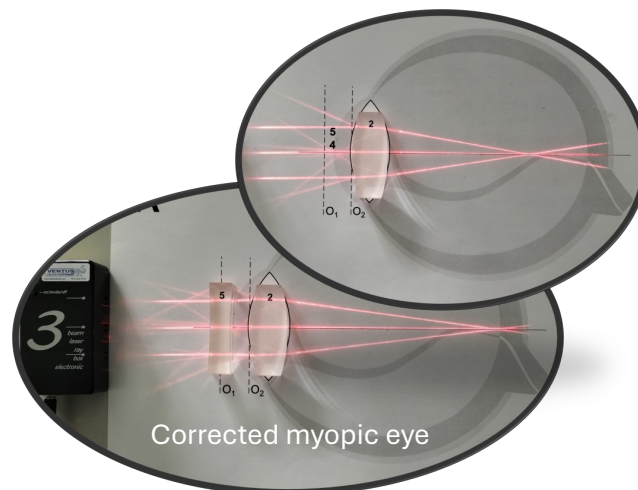


Fig. 1: Kit educativo con un ojo miópico simulado y corregido. Lente 2 – representa el conjunto cornea-cristalino del ojo; Lente 5 – lente correctora de miopía.

Si bien es cierto que este demostrador es útil para entender ciertos aspectos de la visión, presenta varias limitaciones. Primero, el generador de rayos normalmente solo emite rayos paralelos, lo que limita su uso en diferentes situaciones. Además, al trabajar sobre un plano bidimensional, no se puede mostrar cómo funcionan los procesos ópticos en el espacio tridimensional. Por ejemplo, es difícil demostrar cómo el astigmatismo afecta a las imágenes en la retina. Otra limitación importante es que no permite mostrar la inversión de las imágenes en la retina. Aunque muestran cómo los rayos se desvían, no se puede ver la imagen real invertida. Si esto fuera posible, sería mucho más sencillo entender cómo funciona la visión, ya que, además de la óptica, el cerebro también juega un papel fundamental en la orientación e interpretación de las imágenes.

Dadas las limitaciones expuestas, se ha diseñado un nuevo demostrador que permite observar el proceso de formación de imágenes en el ojo en 3D, utilizando un sistema óptico que simula el ojo humano e incluyendo los dos principales elementos refractivos: la córnea y el cristalino. Este método permite ver cómo afecta el cambio de potencia en los diferentes elementos ópticos a la imagen retiniana, así como el impacto del astigmatismo. Además, el sistema incluye gafas para colocar lentes y mostrar cómo puede

mejorar la imagen retiniana tras la corrección óptica. El método también permite visualizar imágenes retinianas de diferentes optotipos y ver en tiempo real cómo cambia la imagen al colocar distintas lentes durante el proceso de refracción subjetiva o al realizar otras pruebas optométricas.

2. Métodos: desarrollo del modelo de ojo educativo

El demostrador se diseñó con el programa online Tinkercad, elegido por ser fácil de usar, accesible y muy común en el entorno educativo. El modelo de ojo se hizo manteniendo las proporciones de las diferentes partes de ojo similares a las del ojo humano, y fue pensado para utilizar lentes oftálmicas de caja de prueba (probines) de 37 mm de diámetro.

A continuación, en la Figura 2, se muestra la simulación del modelo del ojo (izquierda) junto a una foto de las diferentes partes del demostrador impresas en nuestra impresora 3D (derecha). Como se puede ver en la Figura 2, el sistema consta de un soporte a modo de esclera, con un orificio central para un tornillo M6 que permite su sujeción. Incluye un soporte para la lente córnea de 65 mm de diámetro, así como un soporte con tres ranuras para sujetar la pupila del ojo o incluir otras aperturas. Además, cuenta con una lente que simula el cristalino y otras lentes adicionales que se pueden utilizar para simular el proceso acomodativo e inducir astigmatismo, entre otros efectos. En la parte posterior, se encuentra un soporte móvil para la pantalla de detección, que sirve para simular distintos errores refractivos de origen axial. El modelo de ojo tiene las siguientes dimensiones: 55 mm de largo, 45 mm de ancho y 30 mm de alto. También se incluye un soporte externo, similar a unas gafas, para reproducir el efecto corrector de lentes oftálmicas, y otro soporte para lentes de prueba de 37 mm de diámetro. Finalmente, se dispone de un conjunto de aperturas de formas variadas. En la Figura 2 se muestran dos imágenes del demostrador, extraídas del interfaz de Tinkercad. Los archivos pueden ser descargados a través de este enlace <https://hdl.handle.net/10347/39758>. También se puede ver como quedan las diferentes piezas impresas en una impresora 3D.

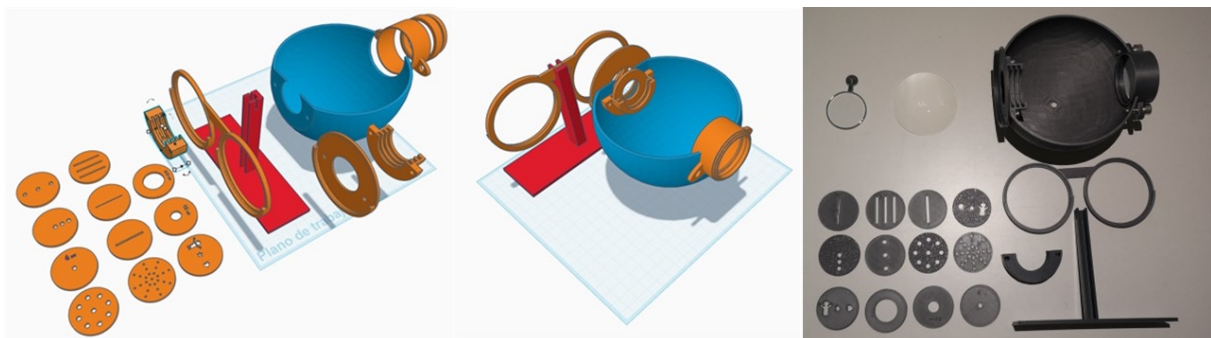


Fig. 2: Modelo 3D del demostrador. A la derecha se muestran las piezas impresas junto a las lentes de +6D (lente córnea) y +3D (lente cristalino)

Las potencias de la lente córnea y el lente cristalino pueden ser combinadas de distinta forma. En este trabajo se empleó la siguiente combinación: lente córnea (+6D) y lente cristalino (+3D). Para simular la miopía se empleó una lente adicional de +2.25D; para simular el astigmatismo se escogió una lente cilíndrica de -3D. En el caso de la demostración de la aparición del astigmatismo fuera de eje se empleó una lente de +6D como lente cristalino, para poder focalizar sobre el plano “retina” de detección la imagen de la fuente luminosa colocada a unos 30 cm del ojo artificial.

Las distintas aperturas permiten observar cómo se propagan los haces de luz y entender el trazado de rayos usado en óptica geométrica. Como objeto de visualización se puede utilizar una linterna, la pantalla de un teléfono móvil u otro dispositivo que presente la luminancia suficiente. En la Figura 3 se muestra el modelo de ojo 3D ya impreso. A la izquierda se encuentra la pantalla de visualización, que puede ser traslúcida u opaca, según se prefiera. En el interior del ojo están las lentes que simulan el cristalino: una con componente esférica y otra que permite representar el astigmatismo. También es posible incluir una lente adicional para simular la acomodación. Justo después se sitúa la pupila, que limita la entrada de luz; seguida de la lente oftálmica que actúa como córnea; y, por último, a la derecha de la imagen, se encuentra la lente correctora para compensar errores refractivos.

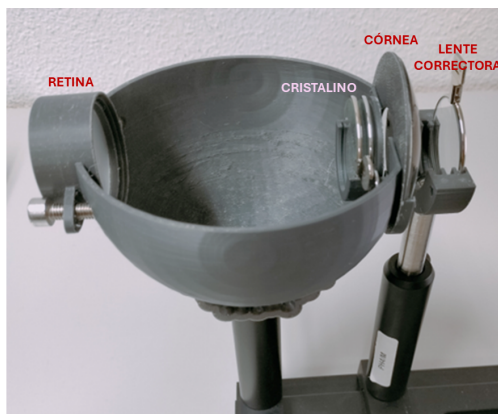


Fig. 3: Modelo 3D impreso. A la izquierda se encuentra la pantalla de visualización, que puede ser traslúcida u opaca, según se prefiera. En el interior del ojo están las lentes que simulan el cristalino: una con componente esférica y otra que permite representar el astigmatismo. También es posible incluir una lente adicional para simular la acomodación. Justo después se sitúa la pupila, que limita la entrada de luz; seguida de la lente oftálmica que actúa como córnea; y, por último, a la derecha de la imagen, se encuentra la lente correctora para compensar errores refractivos.

3. Resultados

En este apartado se muestran algunas de las simulaciones que se pueden llevar a cabo con el modelo de ojo 3D presentado en el apartado anterior. En primer lugar, en la Figura 4 se muestra una imagen del demostrador utilizando un iPad como fuente luminosa, colocado en un plano ópticamente conjugado con la retina, donde se puede ver la imagen retiniana invertida

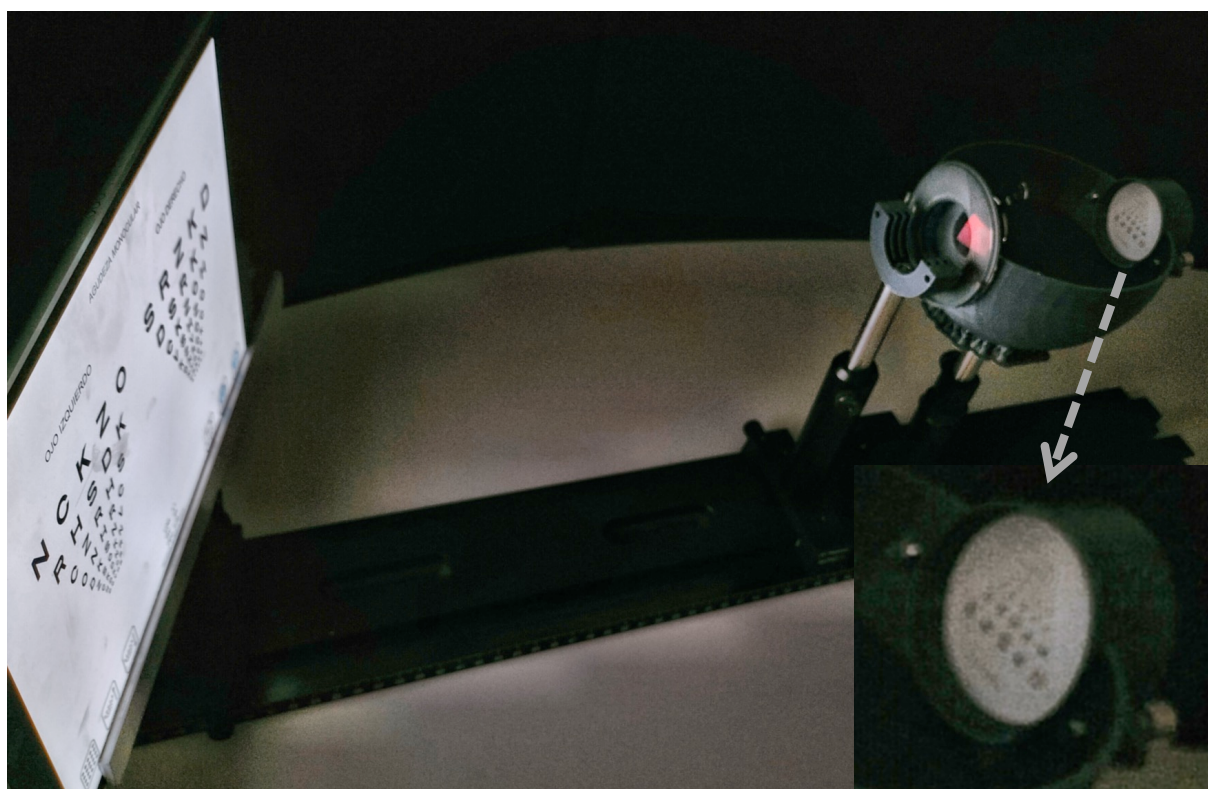


Fig. 4: Imagen del demostrador impreso y montado, con pantalla de optotipos colocada en un plano conjugado con la retina (a). En el plano “retina” de la derecha se observa la imagen invertida respecto a la mostrada en el optotipo.

3.1. Ojo emétrope.

En la Figura 5 se muestra el demostrador proyectando la imagen que formaría un ojo “emétrope” al observar un objeto puntual, en este caso, la linterna de un teléfono móvil. También se incluye la imagen de unas letras generadas por una pantalla de optotipos (TOPCON CC-100). Como se indica en el apartado anterior, el dispositivo incluye una lente córnea de +6,00 D y un lente cristalino de +3,00 D. El término “emétrope” aparece entre comillas porque lo que realmente se representa es un ojo en el que el objeto está situado en un plano ópticamente conjugado con la retina. Si este plano corresponde con el ojo sin acomodar, se hace referencia al punto remoto (PR). En un ojo emétrope, dicho punto está en el infinito, mientras que en un ojo miope se encuentra entre el infinito y el propio ojo. Además, al introducir una lente positiva en el espacio destinado al cristalino, se puede observar cómo disminuye la distancia a la que debe colocarse el objeto para formar una imagen nítida en la retina. Esto permite visualizar de forma clara los conceptos de acomodación y punto próximo.

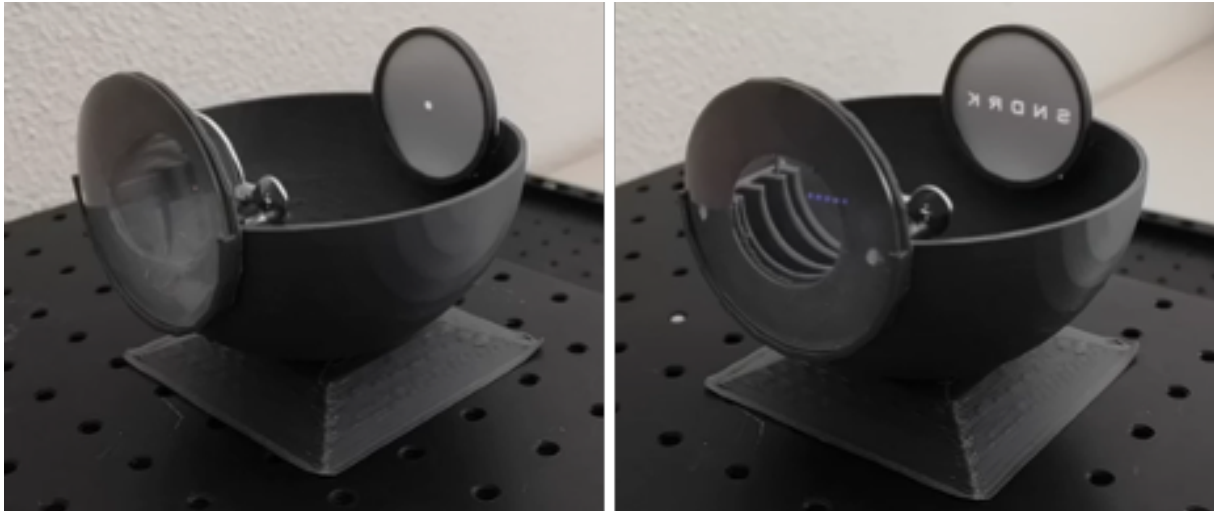


Fig. 5: Modelo de ojo que muestra las imágenes retinianas cuando el objeto está en el punto remoto.

3.2. Ojo Miope

En la Figura 6 a) se muestra la imagen borrosa de un punto y en la 6 b) la imagen de una línea de letras borrosa, generadas por un ojo miope. Puede observarse una degradación simétrica de los optotipos alrededor del eje óptico. En la Figura 6 c) se presenta la imagen retiniana sin corrección de un optotipo de letras y en la 6 d) la imagen una vez corregida el defecto refractivo con una lente negativa. En este caso el dispositivo incluye la lente córnea (+6,00 D), el lente cristalino (+3,00 D) y una lente adicional de +2.25D para dar más potencia al ojo. Este montaje también permite ilustrar cómo influye la distancia de vértice; es decir, la separación entre la lente correctora y el ojo, en la efectividad de la compensación óptica. La observación de un punto luminoso, tanto enfocado como desenfocado, facilita la introducción del concepto de “respuesta al impulso del sistema” (PSF), y permite explicar que la imagen final en la retina resulta de la convolución entre la imagen geométrica ideal y la PSF del sistema óptico.

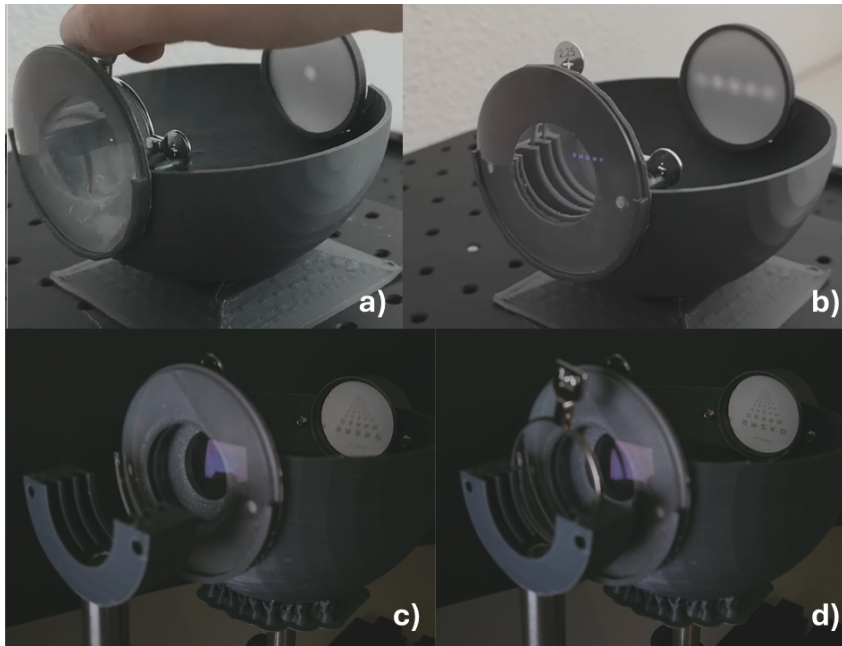


Fig. 6: Modelo de ojo miope. Fila superior, imágenes desenfocadas de un objeto puntual (a) y un conjunto de letras (b). Fila inferior, imagen borrosa de un test de agudeza visual (c) proporcionada por el modelo de ojo miope; imagen enfocada de un test de agudeza visual proporcionada por el modelo de ojo miope corregido (d). Las imágenes “retinianas” aparecen invertidas.

3.3. Ojo Astigmático

En la Figura 7 se presenta el impacto del astigmatismo en la imagen retiniana. En la parte superior, Fig. 7 a), se muestran las imágenes retinianas de una línea de letras proporcionadas por el modelo de ojo con distintas orientaciones de un astigmatismo de magnitud fija. En este caso el dispositivo incluye la lente córnea (+6,00 D), el lente cristalino (+3,00 D) y una lente cilíndrica de -3.00D. Se puede ver que dos personas con una misma cantidad de astigmatismo pueden tener un impacto muy diferente en su visión dependiendo del eje del astigmatismo que presenten. En la parte inferior, Fig. 7 b), se presenta la imagen proporcionada del test de la esfera horaria, un test que se usa para el diagnóstico del astigmatismo. En el lado izquierdo se puede ver cómo sería la imagen retiniana de este test en una persona con astigmatismo y en el lado derecho la imagen corregida al colocar una lente astigmática correctora orientada correctamente.

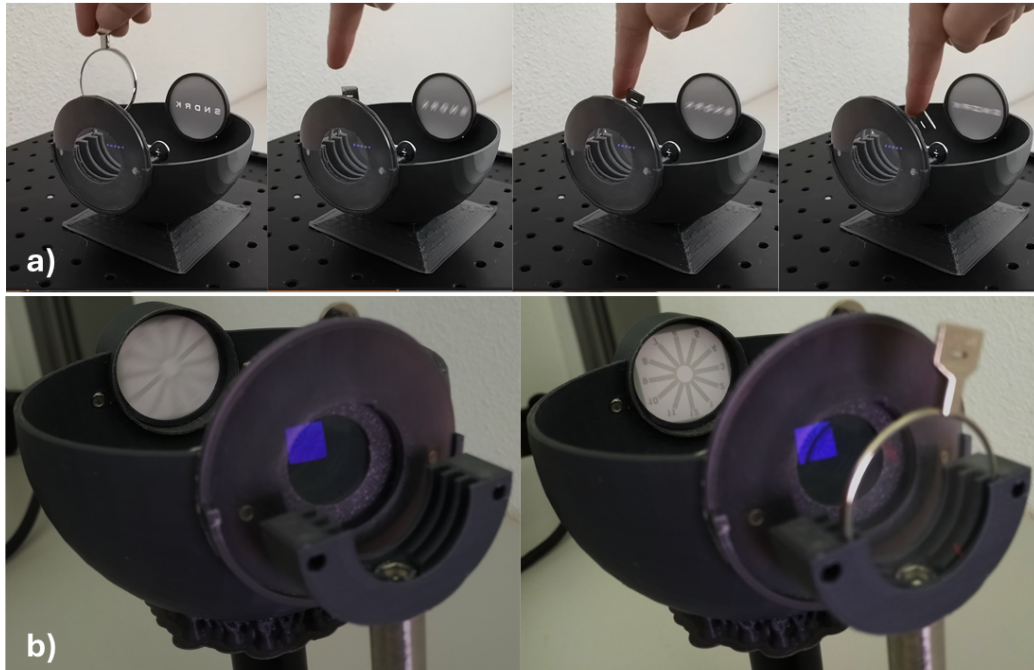


Fig. 7: Modelo de ojo con astigmatismo. Fila superior, Fig. 7 a), imagen en foco e imágenes desenfocadas de una fila de letras, con el astigmatismo orientado a distintos ejes. Fila inferior, Fig. 7 b), imagen borrosa de un test de esfera horaria (izquierda), e imagen enfocada de dicho test tras corregir el astigmatismo (derecha).

A continuación, la Figura 8 contiene un enlace a un vídeo que en el que se observa cómo cambia la imagen de un punto luminoso al ser vista por un ojo emétrope y un ojo miope. El vídeo también muestra como un punto luminoso es visto como una línea en el caso de un ojo con astigmatismo. Además, se ve claramente como va cambiando la orientación de la línea al rotar el eje del astigmatismo, lo que ayuda a entender la relación entre la orientación del eje del cilindro y la dirección de la línea enfocada. Al girar el eje del astigmatismo, se puede ver cómo cambia la forma y la orientación de las letras enfocadas.

Este modelo de ojo además permitiría ver que, si se añade una lente que simule la acomodación, sería posible ver cómo influye este proceso en la formación de la imagen en ojos con astigmatismo miópico o hipermetrópico. Esto permite explicar de forma visual los problemas acomodativos que pueden tener estos pacientes.



Fig. 8: Video ilustrativo de cómo se forma la imagen en la retina de un ojo emétrope, un ojo miope y un ojo con astigmatismo.

El modelo de ojo también permite introducir el concepto de astigmatismo fuera de eje. En la Figura 9 se muestra cómo cambia la imagen proporcionada por el modelo de ojo sin astigmatismo en eje de una fuente puntual. Al mover la fuente puntual a distintas posiciones fuera del eje se observa cómo se va estirando la imagen formada en la “retina periférica”. Esto ayuda a visualizar la aparición de este tipo de astigmatismo. Se puede observar además que la línea focal siempre se orienta radialmente respecto al eje óptico. En este caso se empleó como lente cristalino, una lente de +6D ya que la fuente de luz se colocó más cerca y fue necesario aumentar el poder dióptrico del ojo para enfocar la imagen en retina.

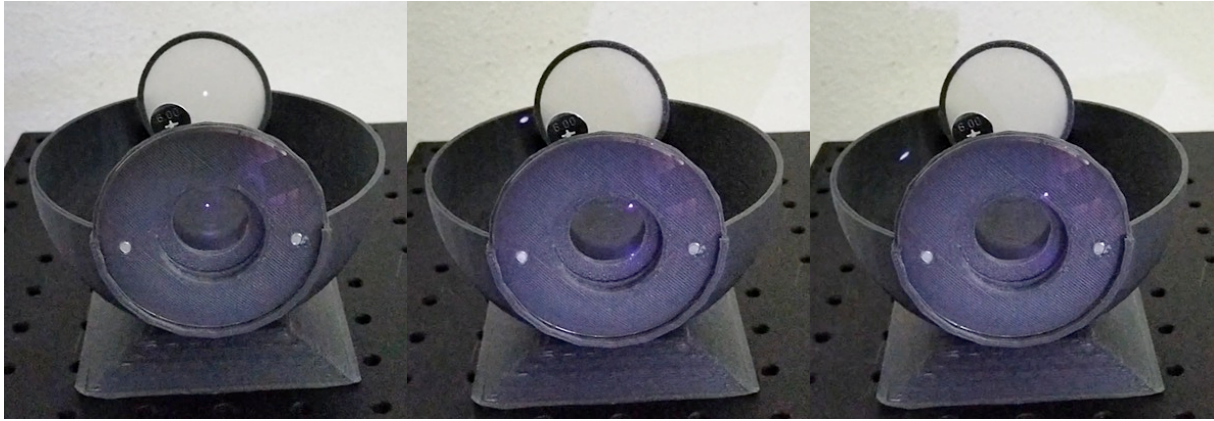


Fig. 9: Ilustración del astigmatismo oblicuo cuando se ilumina con una linterna situada en eje y fuera de eje.

3.4. Aperturas

El modelo de ojo desarrollado permite comprender el concepto de apertura y su influencia sobre la imagen, en cuanto a la reducción de su luminancia y la reducción del efecto de las aberraciones. Además, permite introducir el concepto de “diagrama de impactos”. En la Figura 10, se muestran las imágenes de una fuente puntual cuando se inserta una apertura formada por un conjunto de orificios. El diagrama de impactos se presenta en tres posiciones: Fig. 10 a) antes del plano imagen, Fig. 10 b) en el plano imagen y, Fig. 10 c) después del plano imagen. Es importante tener en cuenta que se usa la combinación de córnea y cristalino que proporciona la imagen del punto remoto en la retina, y que en el experimento se visualizan distintos planos sin modificar la posición del punto remoto ni la posición ni potencia de las lentes. Este ejemplo también ofrece la posibilidad de introducir el método de Scheiner⁴ que puede ser empleado para la medida de errores refractivos, y comúnmente utilizado en la búsqueda del plano imagen en un sistema óptico.

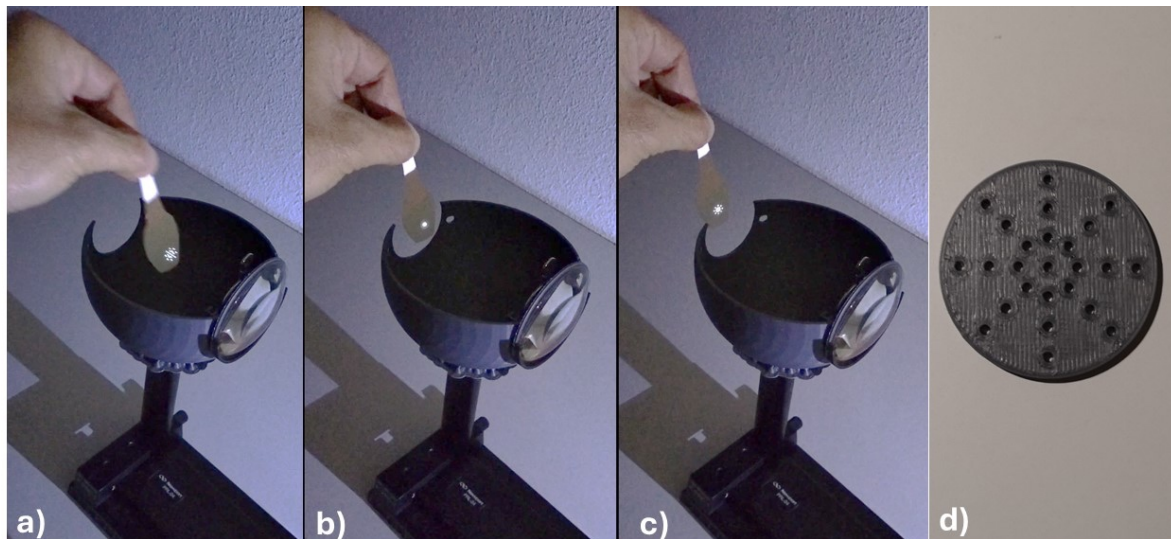


Fig. 10. Diagrama de impactos antes del plano imagen (a), en el plano imagen (b), y después del plano imagen (c). A la derecha se muestra la apertura utilizada (d)

Dentro del conjunto de aperturas se incluye una máscara con tres aperturas de formas inusuales: un corazón, una estrella y un muñeco. Estas geometrías atípicas se utilizan para captar la atención del estudiante o espectador. Una vez colocada la máscara, se plantea la siguiente pregunta: ¿Qué se observará en el plano de detección? Según lo que se ha observado en los talleres divulgativos realizados, la respuesta más común es que en el plano de detección se proyectarán las imágenes de las tres aperturas (el corazón, la estrella y el muñeco).

Tras escuchar la respuesta, se ilumina el modelo de ojo con una linterna. El resultado de esta acción se muestra en la Figura 11, que presenta tres casos: (izquierda) el plano de detección está situado antes del plano imagen; (centro) el plano de detección está sobre el plano imagen; (derecha) el plano de detección está después del plano imagen. La reacción del público suele ser de sorpresa al comprobar que, en el plano imagen, la luz que atraviesa las tres aperturas converge en un mismo punto, formando la imagen de la fuente de la linterna.

Este experimento se repite luego con una imagen proyectada desde un teléfono móvil, como un conjunto de letras o cualquier otra imagen. Nuevamente, se observa cómo en el plano imagen se forma la imagen de la pantalla del teléfono, sin que se logre ver la forma de las aperturas. Este resultado, aunque contraintuitivo, es muy útil para resaltar conceptos de óptica geométrica y comprender las limitaciones de los rayos en la formación de imágenes.

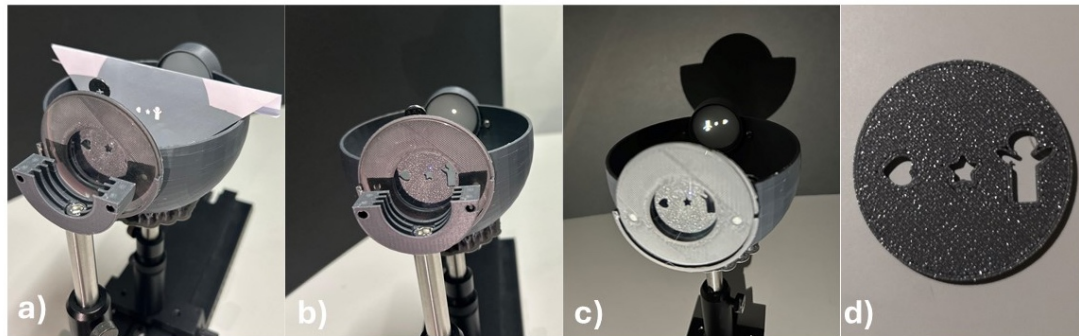


Fig. 11 Imagen en el plano de detección en presencia de una máscara con un conjunto de tres aperturas de formas distintas: (a) plano de detección anterior al plano imagen; (b) plano de detección coincidente con el plano imagen; (c) plano de detección posterior al plano imagen. (d) Imagen de la apertura utilizada

3.5. Uso en el entorno educativo

El modelo de ojo presentado en este trabajo ha sido utilizado en diversas visitas a colegios e institutos de Galicia. En los talleres divulgativos realizados en centros de enseñanza secundaria, se ha trabajado para explicar el ojo como un sistema formador de imágenes, los errores refractivos y su corrección. En la Figura 12 se muestra un ejemplo del material empleado en los talleres durante el curso 2024-2025. A lo largo de estas actividades, se ha observado que los alumnos valoran positivamente el modelo de ojo 3D.

Un aspecto que llamó especialmente la atención fue la sorpresa de los alumnos al ver que la imagen formada en la retina del modelo de ojo es invertida. Este hallazgo resulta útil para captar su atención sobre el proceso de formación de la imagen, y sirve como punto de partida para hablar sobre el procesamiento neural de la experiencia visual. Esta inversión de la imagen no puede ser mostrada con el demostrador bidimensional que utiliza el trazado de rayos con láser.



Fig. 12 Imagen del uso del modelo de ojo en un taller divulgativo en un instituto de enseñanza secundaria y bachillerato de Galicia.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un modelo de ojo 3D para la enseñanza y divulgación de la óptica y la optometría. El uso de este modelo facilita la comprensión de conceptos ópticos y optométricos, y permite introducir el estudio de los errores refractivos que afectan a las personas, así como los métodos para corregir y detectar dichos errores. El modelo no solo permite abordar problemas como la miopía e hipermetropía, sino también presentar el astigmatismo. Además, se ha mostrado cómo se puede utilizar para explicar tests optométricos, como el test de la esfera horaria. Aunque no se ha incluido en este trabajo, el modelo también puede ser empleado para enseñar y practicar el proceso de refracción subjetiva.

La experiencia con alumnos de secundaria y bachillerato ha puesto de manifiesto el potencial del modelo de ojo para la presentación sencilla y didáctica de conceptos relacionados con la óptica y la visión. Se espera que esta experiencia inspire a otras personas a utilizar este modelo en sus actividades de divulgación científica, con el objetivo de fomentar el desarrollo de vocaciones científicas, especialmente en el campo de la óptica y la optometría. Los archivos .STL del modelo de ojo 3D se puede descargar libremente del siguiente enlace <https://hdl.handle.net/10347/39758>.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación PID2020-115909RB-I00, la Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria, Xunta de Galicia, España (ED431B 2023/07). Sofia Rendo-González está financiada con un contrato FPU 2023 del Ministerio de Ciencias, Innovación y Universidades, España.