

El Universo en tus manos, construcción de un pequeño telescopio óptico y su uso en educación STEM

Abraham Luna Castellanos^a, Roberto Romano Rivera^a, Ma. Luisa E. Ortega Cruz^{a,b}, J. Bosco Hernández Águila^a, Javier Silva Barranco^a, M. David Iturbe Castillo^a, Martín S. Domínguez González^a y Ma. Norma Palacios Ramírez^a

^aInstituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, INAOE,

Luis Enrique Erro 1. Col. Sta. María Tonantzintla, San Andrés Cholula, Puebla, México, 72840.

^bColegio Nacional de Educación Profesional Técnica, CONALEP-Chipilo Puebla, México,

Km 15.5 Carretera federal a Atlixco, Col. Lomas de Chipilo, San Gregorio Atzompa, Puebla, México, 74325.

Received 27 September 2025; accepted 9 March 2026

Presentamos el proyecto educativo de la construcción de un telescopio óptico, que se caracterizó por ser económico, fácil de ensamblar y construido con materiales accesibles para ser replicado en instituciones educativas de nivel medio superior. Este proyecto se describe como multidisciplinario, constructivista y en el ámbito STEM, y se adapta fácilmente como proyecto transversal al currículo de educación media superior. Este documento presenta los preliminares de su elaboración, optimización y calibración, así como la evaluación del aparato didáctico frente a un grupo de estudiantes que lo ensamblaron. Los resultados de la evaluación son positivos en el aprendizaje del tema de telescopios y lentes, así como en la facilidad de armado y los materiales accesibles para el usuario. Para su uso didáctico, se proponen proyectos STEM que estimulen la creatividad del estudiante para agregar aditamentos sencillos al telescopio, lo que permite alcanzar objetivos avanzados como la fotografía de animales sin perturbarlos, objetos celestes como el Sol y la Luna, o en paisajismo. Estos retos, y otros que se pueden abordar, están dirigidos tanto al profesor frente a un grupo, a estudiantes y al público en general; con el objetivo de que hagan suyo el proyecto desarrollando la creatividad basada en física y tecnologías accesibles.

Descriptor: Educación STEM; recursos didácticos; telescopio óptico; construcción.

We present the educational project of constructing an optical telescope, characterized by its affordability, ease of assembly, and construction with readily available materials, making it suitable for replication in upper secondary education institutions. This project is described as multidisciplinary, constructivist, and STEM-based, and easily adaptable as a cross-curricular project within the upper secondary education curriculum. This document presents the preliminary stages of its development, optimization, and calibration, as well as the evaluation of the didactic device by a group of students who assembled it. The evaluation results are positive in terms of learning about telescopes and lenses, as well as the ease of assembly and the accessibility of the materials for the user. For its didactic use, STEM projects are proposed that stimulate student creativity by adding simple attachments to the telescope, allowing for advanced objectives such as photographing animals without disturbing them, celestial objects like the Sun and Moon, or landscapes. These challenges, and others that can be addressed, are aimed at teachers, students, and the general public, with the aim of making the project their own by developing creativity based on physics and accessible technologies.

Keywords: STEM education; teaching resources; optical telescope; constructionism.

DOI: <https://doi.org/10.31349/RevMexFis.23.020214>

1. Introducción

El primer telescopio que construyó Galileo Galilei en el siglo XVII fue rústico y con solo 5 aumentos (Fig. 1), pero lo perfeccionó y mejoró hasta conseguir 20 aumentos, con lo que pudo observar que los satélites naturales de Júpiter, ahora llamados lunas galileanas, orbitan alrededor del enorme planeta gaseoso. Esto puso de manifiesto que la Tierra no era el centro del Universo e inició toda una revolución del pensamiento humano, pues estas observaciones sepultaron la idea aristotélica predominante por muchos siglos, de que éramos el centro del Universo. De paso, sus escritos mostraron por primera vez el método científico como un formato para la escritura y comunicación de información científica, que partía de la observación y experimentación reproducible, pasando por un análisis de los datos y concluyendo con la verificación



FIGURA 1. Telescopio galileano, reproducción de uno de los telescopios de Galileo, siglo XX [3].

ción de la hipótesis [1]. Estos y otros logros que inmortalizan a Galileo, lo posicionan como diseñador de un tipo de telescopio astronómico, al que actualmente llamamos telescopio galileano, y opacan a la persona a quien se le atribuye la invención o patente del primer telescopio, el alemán Hans Lippershey [2].

En el año 2009, la Unión Astronómica Internacional (IAU) conmemoró los 400 años de estos hechos históricos y se realizaron actividades por parte de varios países, incluido México [4]. La Organización Astronómica Nacional de los Estados Unidos elaboró un kit de armado de un pequeño telescopio denominado Galileoscopio, el cual consiste en un conjunto de piezas de plástico y lentes para armar. Este se distribuyó en varios países y se formaron equipos interdisciplinarios de expertos y profesores para darle impulso a su uso [5]. Con esa misma idea y espíritu, sugerimos la construcción de un telescopio equivalente a ese primer telescopio de Galileo, pero con materiales actuales de fácil acceso –que incluso pueden ser reciclados– y lentes oftálmicas que se consiguen con proveedores de ópticas comerciales. Mostramos los detalles de su construcción y la optimización del diseño óptico, las pruebas técnicas de su funcionamiento y la evaluación de su desempeño como aparato didáctico frente a un grupo de estudiantes. Con este aparato didáctico y mediante adaptaciones sencillas, se pueden emprender proyectos transversales en diferentes temáticas, destacando la física involucrada y en diferentes contextos, que comentaremos brevemente.

El diseño óptico del telescopio inició de manera empírica desde siglos atrás, pero fue Galileo quien documentó de manera técnica su construcción y su uso científico en astronomía, y con el cual inició una revolución en la concepción del Universo. De las configuraciones en las que se pueden agrupar los telescopios refractores usados para ver a través de ellos, es decir, sin usar un detector o cámara, podemos distinguir entre los telescopios *astronómicos* y los telescopios *terrestres* [6]. Los primeros forman una imagen invertida o real a su salida, y los segundos forman una imagen “derecha” o virtual. Si bien hay varias formas en las que puede lograrse una imagen no invertida, solo una de ellas, la confi-

guración galileana, simplifica la construcción del instrumento a dos lentes, por lo que es la configuración que se ha seleccionado en este artículo para su análisis detallado y construcción. Desde el punto de vista de la enseñanza, se aborda esta temática desde la perspectiva teórica del construccionismo y se utiliza un enfoque STEM, siendo este un enfoque multidisciplinario para la enseñanza de la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, integrando conceptos clave entre dos o más disciplinas, de forma que los estudiantes aplican las prácticas de la ciencia y la ingeniería a problemas del mundo real [7]. Este enfoque permite introducir a los estudiantes de forma diferente en temáticas básicas de física y matemáticas. En particular, la construcción y su uso como material didáctico permite al alumno expandir los conocimientos y aplicarlos con algún objetivo concreto [8].

2. Construcción de un telescopio galileano

2.1. Construcción preliminar

En la práctica docente, es muy común que los alumnos no distingan la utilidad de los conceptos de física que se les enseñan en el aula. Las carreras técnicas especializadas tienen una mejor orientación al respecto. La temática de lentes en la carrera técnica de optometría es esencial y, sin embargo, los sistemas ópticos de varias lentes o más complejos no son un tema que se aborde curricularmente. Para abordar un sistema de dos lentes y participar en la feria de la Noche de las Estrellas 2024, se propuso la construcción de un instrumento tipo telescopio siguiendo instrucciones básicas y lentes oftálmicas comerciales. Como se aprecia en la Fig. 2, el montaje y armado del telescopio fue a elección libre y usando materiales que los alumnos decidieron. La actividad se desarrolló en una sesión de clase informativa y una semana extraclase, resultando exitosa, pues los jóvenes participaron activamente y explicaron su uso al público en general durante la tarde que duró la feria. Desde la perspectiva docente, se detectó el potencial que el aparato didáctico tenía y se seleccionaron los



FIGURA 2. Participación de CONALEP-Chipilo en la Noche de las estrellas 2024 en Cholula Puebla, México. Se muestra la actividad y el material elaborado por los jóvenes.

prototipos que mejor cumplieran requisitos en rigidez de los materiales, estabilidad mecánica, facilidad de armado y uso. De ellos se tomaron ideas para elaborar versiones más robustas y económicas de un telescopio como aparato didáctico.

Con estas actividades, los jóvenes comprendieron mejor conceptos como: el foco de una lente, al enfocar ellos mismos el aparato; distinguieron el potencial que tienen los sistemas de varias lentes, además de su uso convencional en anteojos, y tuvieron que experimentar con la rigidez estructural de materiales para montarlos de manera eficiente, es decir, sin que se perdiera el eje óptico del sistema, como se describirá más adelante.

Sin embargo, esta primera aproximación mostró que algunos montajes ópticos presentaban aberraciones por coma y cromática, los cuales pueden corregirse optimizando el sistema óptico mediante software especializado, como veremos en la siguiente sección.

2.2. Optimización

Con el objetivo de visualizar el desempeño del telescopio y de optimizarlo, se simuló la configuración propuesta utilizando el software de diseño óptico de distribución comercial —Zemax OpticStudio—. Hasta el momento, las herramientas de optimización no están disponibles en los softwares de diseño óptico de libre distribución, ni en los de evaluación. Las lentes utilizadas para armar el telescopio fueron del tipo oftálmico y caracterizadas en el Taller de óptica del INAOE (Tabla I).

Se probaron dos configuraciones posibles, invirtiendo las superficies del ocular. En la primera configuración, la superficie con el radio de curvatura mayor (de 795.5 mm, lo que convierte a la superficie en prácticamente plana, debido al diámetro de la lente que es muy pequeño en comparación con el radio de curvatura) apunta hacia la parte interna del telescopio.

De acuerdo con sus datos nominales, que indican un valor de *esfera* (*SPH*) de +2.00 para la lente positiva, y -5.00 para la lente negativa, la longitud focal de cada lente es, respectivamente, 500 mm y -200 mm, ya que la esfera indica la potencia óptica de la lente medida en *dioptrías*, donde su inverso es igual a su longitud focal en metros. El material de composición no está especificado, pero se utilizó el vidrio

TABLA I. Parámetros medidos de las lentes.

| | Lente objetivo | Lente ocular |
|---|----------------|--------------|
| Diámetro | 64.52 mm | 64.54 mm |
| Radio de curvatura 1 | 87.31 mm | 795.5 mm |
| Radio de curvatura 2 | 131 mm | 87.33 mm |
| Grosor en la parte central | 3.66 mm | 1.35 mm |
| Grosor en el borde | 1.67 mm | 6.74 mm |
| Índice de refracción ($\lambda = 5\,550 \text{ \AA}$) | 1.504 | 1.5095 |

PK1 del catálogo SCHOTT, de la base de datos de Zemax, que es transparente a las longitudes de onda visibles y tiene un índice de refracción muy similar al medido en las lentes ($n_d = 1.503781$), para la longitud de onda central $\lambda_c = 5\,550 \text{ \AA}$.

Definiendo un campo de visión de 0.5° (medio grado de arco, equivalente al tamaño angular de la Luna llena), y estableciendo los datos de las lentes como parámetros de entrada, se tiene un poder de magnificación de 2.5 x de acuerdo con la Ec. (4) (ver Sec. 4.2 para una explicación detallada). La separación entre las lentes se eligió con valor inicial de 300 mm, de acuerdo con la Ec. (5) (ver Sec. 4.2). La optimización del sistema afocal se realizó con Zemax, utilizando un algoritmo de optimización local de Levenberg-Marquardt, que ajusta la distancia entre las lentes (el único parámetro variable), teniendo como objetivo conseguir el poder de magnificación establecido de 2.5 x, al tiempo que se minimiza el error en la formación de la imagen, garantizando que los rayos de salida del sistema sean lo más paralelos posible, dado que es un sistema afocal.

Los valores de salida obtenidos para esta primera configuración son la distancia optimizada entre lentes y el semidiámetro del ocular, que actúa como pupila de salida. Estos valores son 280.407 mm para la distancia entre lentes, 13.779 mm y 13.663 mm para los semidiámetros del ocular —respectivamente para cada uno de sus radios de curvatura—, y una imagen de salida con un semidiámetro de 13.861 mm.

En la segunda configuración probada, la superficie con el radio de curvatura mayor apunta hacia la parte exterior del telescopio. Realizando con Zemax el mismo proceso de optimización, pero invirtiendo los radios de curvatura, se obtiene un valor para la distancia entre lentes de 320.597 mm, de 11.159 mm y 11.157 mm para los semidiámetros del ocular, y una imagen de salida con un semidiámetro de 11.432 mm.

Estos resultados se muestran en la Tabla II. Comparativamente, ya que la primera configuración tiene un diámetro en la imagen de salida de casi 5 mm mayor que la segunda, además de que es aproximadamente 50 mm más compacta que la segunda, es la configuración seleccionada para la construcción del telescopio. De acuerdo a estos resultados, es recomendable colocar un diafragma de 27.722 mm antes del ocular.

TABLA II. Resultados para los parámetros optimizados.

| | Separación | Semidiámetro lentes | Semidiámetro imagen |
|-----------------|------------|------------------------|---------------------|
| Configuración 1 | 280.407 mm | 13.799 mm 13.663 mm | 13.861 mm |
| Configuración 2 | 320.597 mm | 11.159 mm 11.157 mm | 11.432 mm |

TABLA III. Lista de materiales de construcción para el telescopio.

| Cantidad | Material | Descripción y opciones |
|----------|--|---|
| 1 | Lente oftálmica de 6.5 cm de diámetro (SPH = -5) | Es la lente ocular del telescopio. |
| 1 | Lente oftálmica de 6.5 cm de diámetro (SPH = +2) | Es la lente objetivo del telescopio. |
| 1 | Tubo de PVC de 7.5 cm de diámetro y 25 cm de longitud | En un extremo del tubo se fija la lente objetivo. |
| 1 | Tubo de cartón de 6.0 cm de diámetro y 21 cm de longitud | En un extremo del tubo se fija el ocular. El tubo puede ser de cartón corrugado negro o envases cilíndricos comerciales (papas fritas, chocolates, tubos de plotter). |
| 1 | Fomi negro | Para forrar la parte interior del tubo de PVC y la parte externa del tubo de cartón. Material alternativo: cartulina negra. |
| 1 | Regla para medir | |
| 1 | Tijera | Para niños pequeños usar tijeras de punta redonda. |
| 1 | Cinta de aislar negra | Preferible para no manchar las lentes con silicón. |
| 1 | Silicón líquido para pegar | Alternativa en caso de no usar la cinta de aislar. |
| 1 | Pintura | Material opcional. También se pueden usar pegatinas como elemento decorativo. |

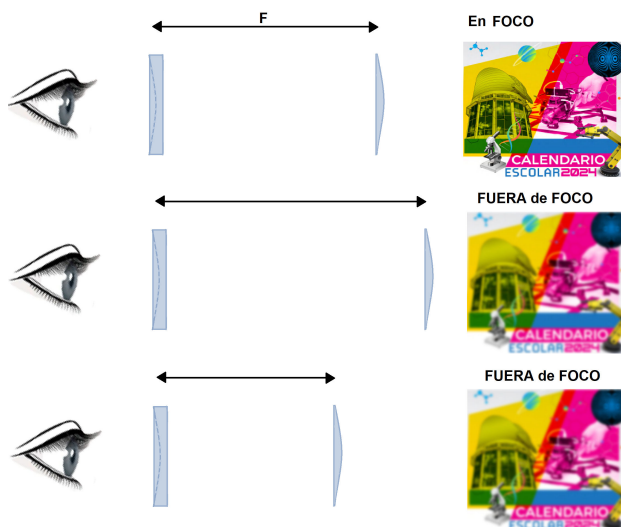


FIGURA 3. Determinación práctica de la distancia focal y la longitud del tubo del telescopio.

2.3. Construcción del telescopio

En esta sección se describe la construcción del telescopio, con la finalidad de que los estudiantes de educación media superior lo puedan armar. En la Tabla III, se listan todos los materiales que se requieren para el armado del telescopio; se menciona la cantidad, el material, la descripción de su función y opciones.

Una vez que se disponga de los materiales, el primer paso es la determinación práctica de la longitud del tubo del telescopio:

- Con el propósito de determinar la longitud del telescopio y la separación entre las lentes, es necesario calcular primero la distancia de enfoque de estas; para ello se utilizan las dos lentes y una hoja con texto o imagen colocada a una distancia aproximada de 6 m. Con la mano izquierda se toma la lente de SPH = +2, con su curvatura orientada hacia la imagen que se observará, y estiramos el brazo. Con la mano derecha tomamos la segunda lente (SPH = -5) con la superficie curva hacia nuestro ojo y observamos a través de las dos lentes alineadas apuntando hacia el texto o imagen. Se mueve la mano izquierda hacia adelante y hacia atrás hasta obtener el mejor foco de la imagen, es decir, donde se pueda leer claramente el texto elegido o ver con claridad la imagen, como se ilustra en la Fig. 3. Con la ayuda de otra persona, se mide la distancia "F" que hay entre las dos lentes. De esta manera la longitud total de los dos tubos embonados será de $F+5$ cm; los 5 cm serán para garantizar que durante la máxima extensión del telescopio, el tubo de menor diámetro tenga esa sección dentro del otro, brindando rigidez y la seguridad de que no se salga. La distancia "F" deberá ser cercana a la distancia calculada en la sección anterior, es decir, unos 30 cm.
- Con el fomi negro se forra la parte interna del tubo de PVC (tubo 1) para evitar reflexiones de luz en el interior del telescopio, como se ilustra en el paso 1 de la Fig. 4.
- Se corta una tira de fomi de 65 cm de largo por 2 cm de ancho y se enrolla para formar un anillo que embone

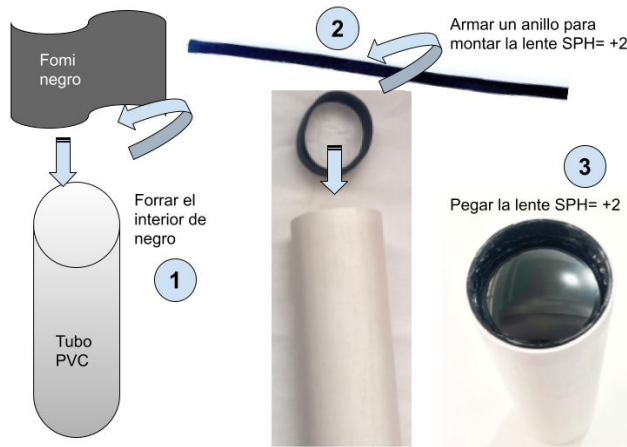


FIGURA 4. Preparación del tubo 1 para instalar la lente $SPH = +2$, o lente objetivo del telescopio.

perfectamente dentro del tubo 1, como se observa en el paso 2 de la Fig. 4. El diámetro externo del anillo será de aproximadamente 6.8 cm y el interno de 6.0 cm.

- Se coloca y se pega el anillo de fomi dentro del tubo de forma concéntrica, a una distancia aproximada de 1.5 cm del borde. El anillo servirá para sostener el lente objetivo en la parte frontal del telescopio, dejando el espacio de 1.5 cm para que la lente quede protegida. Una vez seco el pegado del anillo, se procede a pegar la lente $SPH = +2$ sobre él, con la curvatura hacia afuera, teniendo cuidado que quede bien centrado, sin inclinación y sin manchas de silicón u otras, como se ve en el paso 3 de la Fig. 4. Con esto queda finalizado el tubo 1.
- Con el cartón corrugado se corta un rectángulo de 20×22 cm y se enrolla sobre sí mismo para formar un tubo de 20 cm de longitud y 6 cm de diámetro (tubo 2). Se ha dejado una “pestaña” de traslape de aproximadamente 3 cm, la cual ayudará a darle rigidez al tubo. Para conservar la forma cilíndrica del tubo, se pegan tiras de cinta de aislar en la unión: primero en los extremos, después en el centro, y finalmente una larga que cruce todo el tubo, justo donde se cierra el cartón, como se observa en el paso 1 de la Fig. 5.
- Se corta un pedazo de fomi de aproximadamente 20 cm de largo por 23 cm de ancho para cubrir la parte externa del tubo de cartón, como se ilustra en el paso 2 de la Fig. 5. Antes de pegar el fomi en la parte externa del tubo de cartón se recomienda fijarlo provisionalmente con cinta de aislar. Se debe tener presente que el tubo de cartón debe tener un diámetro ligeramente más pequeño que el de PVC para que pueda deslizarse dentro de él, por ello es importante verificar que el tubo de cartón se deslice de manera ajustada dentro del tubo de PVC, en caso contrario se deben realizar ajustes al diámetro del tubo de cartón. Una vez verificado, se procede a pegar el fomi sobre el tubo de cartón y asegurarlo con cinta de aislar.



FIGURA 5. Preparación del tubo 2 para montar la lente $SPH = -5$, o lente ocular del telescopio.

- Se pega la lente ocular ($SPH = -5$) en uno de los extremos del tubo de cartón, con la curvatura de la lente hacia afuera, o la cara más plana hacia adentro, tal como se muestra en el paso 3 de la Fig. 5.
- El siguiente paso consiste en incorporar un diafragma al tubo de cartón con el fin de reducir el área efectiva de paso de la luz y minimizar los defectos que se observan en la imagen, introducidos por los bordes de las lentes. Estos defectos se conocen como aberraciones ópticas. Para ello, corte un disco circular de fomi de 6.5 cm de diámetro –igual al de la lente ocular ($SPH = -5$)– y recorte un orificio central de 1.3 cm de diámetro que servirá como ocular. El disco debe incluir cuatro pestañas radiales que faciliten su fijación al tubo de cartón, como se ve en el paso 4 de la Fig. 5.
- Para evitar la entrada de luz por los bordes de la lente y el ocular, se coloca cinta de aislar negra en el perímetro de la lente.
- Se introduce el tubo de cartón dentro del tubo PVC de tal manera que las lentes queden en los extremos opuestos.
- Finalmente, estamos listos para observar objetos distantes.

Advertencia: Recuerda que no debemos observar el Sol a simple vista, ni con ningún otro material como negativos de películas, radiografías, lentes oscuros, etc., mucho menos con algún telescopio sin utilizar los filtros adecuados. Los niños siempre deben contar con la supervisión de un adulto y pegar en el tubo del telescopio una advertencia como la sugerida en la Fig. 6.



FIGURA 6. Etiqueta de advertencia en el uso del telescopio. Es muy peligroso observar el Sol y más aún con un telescopio.

2.4. Pruebas de funcionamiento

El telescopio se probó en la versión “terrestre”, es decir, como monocular manual y para observar el entorno. La evaluación cualitativa fue satisfactoria, dado que se aprecia el aumento de dos a tres veces el tamaño de los objetos observados; es práctico en su manejo, portátil y fácil de armar. Para un análisis cuantitativo, se requirió un soporte o base que permitiera, a su vez, adaptar una cámara de un celular estándar (en este caso se usó un Samsung Galaxy A5, campo 30 grados y 4 x máximo de aumento). Para dirigir el telescopio, se pueden usar monturas de cámaras que permitan mover y fijar la posición del telescopio. Para algunos experimentos que se describen adelante (Figs. 19, 20 y 21), se usaron monturas de diseño propio basadas en coples y conectores tipo T de PVC.

Con la montura se obtuvieron imágenes que son posibles de comparar y cuantificar en calidad, y se verificó la magnificación. En el caso del cálculo de aumentos, se usó una figura de mariposa de la cual se conocen sus dimensiones y se colocó a 10 m de distancia; se tomaron fotos solo usando la cámara sin aumentos y otra con la cámara acoplada al telescopio sin aumentos. La magnificación obtenida es de aproximadamente 2 veces, y con las dimensiones del objeto

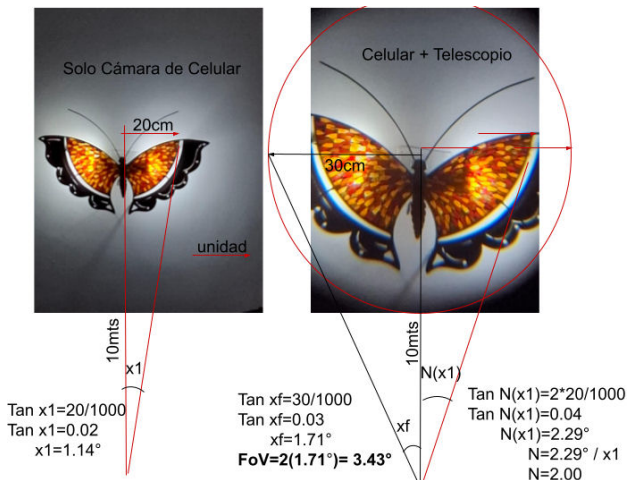


FIGURA 7. Se muestra esquemáticamente el análisis de las imágenes tomadas con la cámara del celular simple (izquierda) y con el celular acoplado al telescopio (derecha). El círculo rojo indica el área del campo de visión del telescopio (en inglés FoV, field of view), de tres grados y medio aproximadamente. Los segmentos rojos horizontales, muestran que la imagen de la derecha es dos veces mayor que la izquierda.

(envergadura de 60 cm) y trigonometría se puede hacer el cálculo del campo de visión en grados; este resultó de aproximadamente 3.5 grados. Todos estos resultados están en concordancia con lo calculado, Fig. 7.

3. Evaluación y análisis del uso didáctico del telescopio

Con el propósito de evaluar la aceptación, desarrollo manual y utilidad como recurso didáctico de la actividad de construir y usar el telescopio galileano, se elaboró un cuestionario de 20 preguntas con cuatro opciones de respuesta para cada una, que fue validado por tres expertos: un físico, un astrónomo y un profesor. El cuestionario incluyó preguntas sobre la historia del telescopio (*p.e.* las No. 1, 2, 3 y 10; de la Tabla IV) y de la física de lentes y telescopios (*p.e.* 14, 15, 17, 18, 19 y 20), temas que se abordan en cursos de física de nivel bachillerato. También se incluyeron preguntas de control (pregunta No. 16), preguntas que implicaban cálculos aritméticos entre parámetros físicos (*p.e.* las No. 4, 5, 6 y 7). El instrumento se aplicó a 28 estudiantes de nivel preparatoria de diferentes colegios del estado de Puebla, México, que asistieron a una actividad de difusión organizada por el INAOE. Los integrantes del grupo no fueron seleccionados ni preparados previamente para el tema, y el cuestionario se aplicó para ser contestado en 20 minutos como máximo. Se aplicó el mismo cuestionario en dos momentos: antes de la actividad de armar el telescopio y escuchar una breve introducción al tema (pretest), y un segundo momento el día posterior a haberlo armado (postest). Esta actividad la realizaron los estudiantes junto con otras

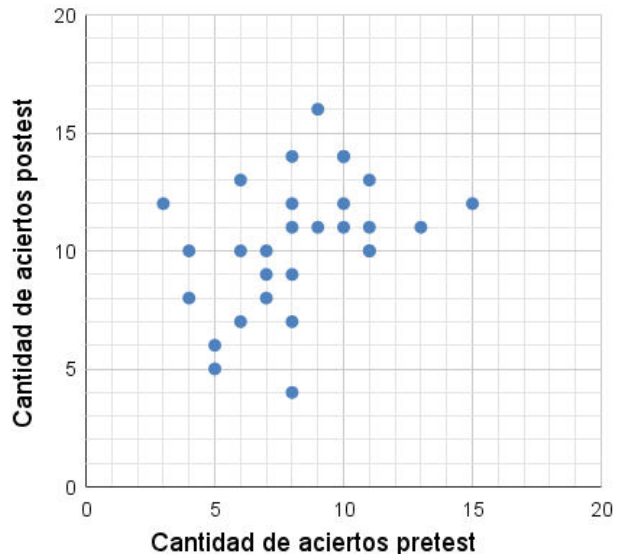


FIGURA 8. Análisis de correlación entre los aciertos obtenidos en el pretest y el postest para los 28 estudiantes; el dato (10,14) es doble. La correlación obtenida es aproximadamente 0.39, lo que indica una relación positiva moderada. Como se observa hay mucha dispersión en los datos, por lo que la correlación no es muy fuerte.

TABLA IV. Preguntas y respuestas del cuestionario aplicado. La respuesta correcta es la subrayada.

| No. | Pregunta | Respuestas |
|-----|---|---|
| 1 | ¿Quién es considerado el inventor del telescopio astronómico? | A) Isaac Newton B) <u>Hans Lippershey</u> C) Galileo Galilei D) Johannes Kepler |
| 2 | Galileo Galilei mejoró el telescopio y lo usó para observar: | A) Agujeros negros B) La rotación del Sol C) Estrellas de otras galaxias D) <u>Las lunas de Júpiter</u> |
| 3 | ¿Cuál de los siguientes tipos de telescopio usa espejos para formar la imagen? | A) Telescopio galileano B) <u>Telescopio reflector</u> C) Telescopio refractor D) Telescopio de prisma |
| 4 | Un telescopio tiene una distancia focal de 1000 mm y se le coloca un ocular de 10 mm de distancia focal. ¿Cuál es su aumento (magnificación)? | A) 10 x B) 50 x C) <u>100 x</u> D) 1000 x |
| 5 | ¿Cuál es la fórmula correcta para calcular el poder de resolución de un telescopio? | A) $R = D/\lambda$ B) $R = f/M$ C) <u>$R = 1.22\lambda/D$</u> D) $R = \lambda D/1.22$ |
| 6 | Si un telescopio tiene un diámetro de 0.2 m y observa con luz de 500 nm, ¿Cuál es su resolución angular aproximada? | A) 0.5 rad B) 0.1° C) 1 arcmin D) <u>0.63 arcsec</u> |
| 7 | ¿Qué propiedad óptica mejora al aumentar el diámetro del objetivo del telescopio? | A) Distorsión cromática B) Longitud de onda observable C) <u>Resolución y captación de luz</u> D) Campo de visión |
| 8 | El campo de visión de un telescopio depende principalmente de: | A) La apertura del objetivo B) <u>El ocular utilizado</u> C) La montura del telescopio D) La orientación geográfica |
| 9 | ¿Qué significa que un telescopio tenga un campo de visión de 1°? | A) Puede ver objetos a 1° de distancia angular B) <u>Puede observar una región del cielo de 1° de ancho angular</u> C) Tiene una resolución de 1 grado D) Su aumento es de 1 x |
| 10 | ¿Cuál fue la principal mejora del telescopio de Newton sobre el de Galileo? | A) Usaba lentes más grandes B) <u>Eliminaba la aberración cromática usando espejos</u> C) Tenía mayor campo de visión D) Permitía observar de día |

| No. | Pregunta | Respuestas |
|-----|---|---|
| 11 | ¿Qué componente en un telescopio refractor es responsable de enfocar la luz? | A) Espejo primario B) Prisma de desvío C) <u>Lente objetivo</u> D) Montura ecuatorial |
| 12 | Un ocular de 20 mm proporciona un campo de visión aparente de 50° . Si la magnificación es 50 x, ¿cuál es el campo de visión real? | A) 50° B) 20° C) 1° D) 0.5° |
| 13 | ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre telescopios espaciales es correcta? | A) No funcionan sin atmósfera B) Solo detectan luz visible C) No tienen ventajas frente a telescopios terrestres D) <u>Eliminan la distorsión atmosférica</u> |
| 14 | ¿Qué significa la magnitud límite de un telescopio? | A) La distancia máxima observable B) <u>La estrella más débil que puede detectar</u> C) El diámetro de su lente D) La distancia focal mínima |
| 15 | ¿Cuál es el propósito de la montura ecuatorial en un telescopio astronómico? | A) Mejorar la resolución B) Aumentar el brillo C) <u>Facilitar el seguimiento del movimiento de los astros</u> D) Alinear los espejos |
| 16 | ¿Cómo se denomina a la mitad del diámetro de una circunferencia? | A) Tangente B) Secante C) <u>Radio</u> D) perímetro |
| 17 | ¿Qué ocurre cuando un rayo de luz pasa a través de una lente convexa? | A) Se dispersa en varias direcciones B) Se desvía en línea recta C) Se curva alejándose del eje D) <u>Se enfoca en un punto</u> |
| 18 | ¿Cómo se llama el punto donde convergen los rayos de luz reflejados o refractados? | A) Punto ciego B) <u>Foco</u> C) Prisma D) Difracción |
| 19 | ¿Qué es la distancia focal en un telescopio? | A) La distancia entre el telescopio y la Luna B) La longitud del tubo del telescopio C) <u>La distancia desde la lente o espejo principal hasta el foco</u> D) El diámetro de la lente |
| 20 | ¿Cuál es la causa de la aberración cromática en lentes? | A) Reflejo múltiple B) <u>Diferentes velocidades de luz según el color</u> C) Distancia focal variable D) Aumento del diámetro del lente |

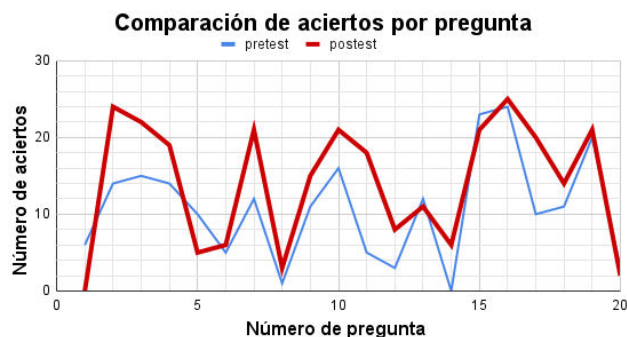


FIGURA 9. Número de aciertos para cada una de las 20 preguntas del cuestionario, aplicado a 28 estudiantes, con el tema de lentes y telescopios.

programadas ese día sobre temas científicos y tecnológicos. En el postest, se incluyó una pregunta abierta para distinguir la aceptación o complicación del tema: ¿Te gustó la actividad de armado del telescopio?

El análisis de correlación entre el pretest, previo a la actividad de armado del telescopio, y el postest, contestado el día posterior al armado del telescopio, mostró un factor de correlación de 0.39, lo que indica una relación positiva moderada, pero no muy fuerte; es decir que, quienes tienen más aciertos en el pretest tienden a tener también más aciertos en el postest, aunque hay bastante dispersión en los datos como puede verse en el gráfico de la Fig. 8.

Adicionalmente, mediante una comparación estadística de medias (t-test pareado), se analizó si hubo mejora entre pretest y postest. El t-test pareado entre los resultados del pretest y postest arrojó: $t = -3.71$ y $p = 0.00091$. Esto indica que la diferencia entre ambos tests es estadísticamente significativa ($p < 0.05$), lo que sugiere que hubo un cambio real entre pretest y postest.

Un análisis detallado por pregunta, ver Fig. 9, muestra que, en general, el número de respuestas correctas aumenta en el postest (línea roja), que el tema de lentes es bien entendido, no así el tema de un sistema de dos lentes y menos aún los conceptos de magnificación y resolución angular de un telescopio. El número de aciertos a la pregunta de control muestra consistencia: 25 y 24 en el pretest y postest respectivamente, en esta se hace una pregunta fuera de contexto de un tema básico de geometría. Llama la atención el número de aciertos a la pregunta 1, que en el pretest es bajo (no saben quién inventó el telescopio) y después de la actividad, la mayoría concluye erróneamente que fue Galileo el inventor. El énfasis que se pone en Galileo y el armado del prototipo de telescopio lleva al estudiante a esta conclusión falsa. Por lo anterior, se sugiere resaltar el nombre del inventor del telescopio (Hans Lippershey) y diferenciar los tipos de telescopios que existen, uno de los cuales es el galileano. Otra pregunta que presenta una disminución en el número de aciertos es la pregunta 5, que se refiere a la relación entre el diámetro del telescopio, la longitud de onda en que se observa y el ángulo mínimo que puede resolver un telescopio. Esta pregunta es difícil de responder para cualquier estudiante no aficionado a la astronomía. Este tema requiere de mayor experimentación,

es decir, manejar aperturas o diámetros de objetivos diferentes para entender el significado de resolución angular. Los numerales de las preguntas que mejoran significativamente en número de aciertos son: 2, 3, 4, 7, 10, 11 y 17; las cuales tienen que ver con el funcionamiento del telescopio construido y su comparación con el telescopio reflector (*p.e.* el tipo newtoniano).

Finalmente, con relación a su experiencia al realizar la actividad, los estudiantes expresaron comentarios como: “Me encantó” el 50 % (15 estudiantes) y 8 quienes expresaron “Me gustó”, solo hubo una respuesta de “Regular” y 5 que no emitieron un juicio.

4. Contenidos educativos sobre lente simple y sistema de dos lentes

El proyecto de armar un telescopio como el aquí presentado, fácilmente se puede conectar transversalmente con otras temáticas del currículo escolar. Se sugieren usos como: telescopio astronómico, telescopio para observar vida silvestre, como instrumento tecnológico, como instrumento histórico o para fotografía de paisajes. En cualquier caso, la metodología sugerida consiste en apoyarse en el trabajo colaborativo y con enfoque STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), el cual tiene la intención de acercar la ciencia y la tecnología a los alumnos, aumentando la alfabetización científico-tecnológica y el fomento de las vocaciones científicas y, a la vez, creando el descubrimiento de oportunidades que, por contexto social o falta de referentes, no serían considerados por los alumnos [7]. A continuación, desarrollamos algunos temas que el profesor puede usar frente al grupo para mostrar la física relacionada con una lente, un arreglo de dos lentes y sus usos; así como proyectos que se pueden aplicar con el telescopio armado.

4.1. Lente simple y formación de la imagen

El sistema visual humano, que nos permite captar imágenes de nuestro entorno, puede describirse de manera simple como una apertura (la pupila), una lente (el cristalino) y una pantalla (la retina). Este sistema, que forma las imágenes que “vemos”, es el ojo humano. La calidad de las imágenes proyectadas por la lente sobre la pantalla depende de la correcta incidencia de la luz en esta. Sin embargo, los defectos o cambios refractivos de la lente alteran la imagen proyectada, haciendo que converja antes o después de la pantalla, lo cual puede corregirse con otra lente colocada frente al ojo. La formación de imágenes con una lente es un proceso interesante que muchas veces no valoramos, pues nuestro sentido de la visión lo realiza de manera natural. No obstante, la física del ojo humano es muy interesante y compleja [9]. Para iniciar una descripción básica del tema, necesitamos aclarar un par de aproximaciones necesarias para el desarrollo de esta sección; estos temas son: distancia lejana de una lente, lentes delgadas y eje óptico.

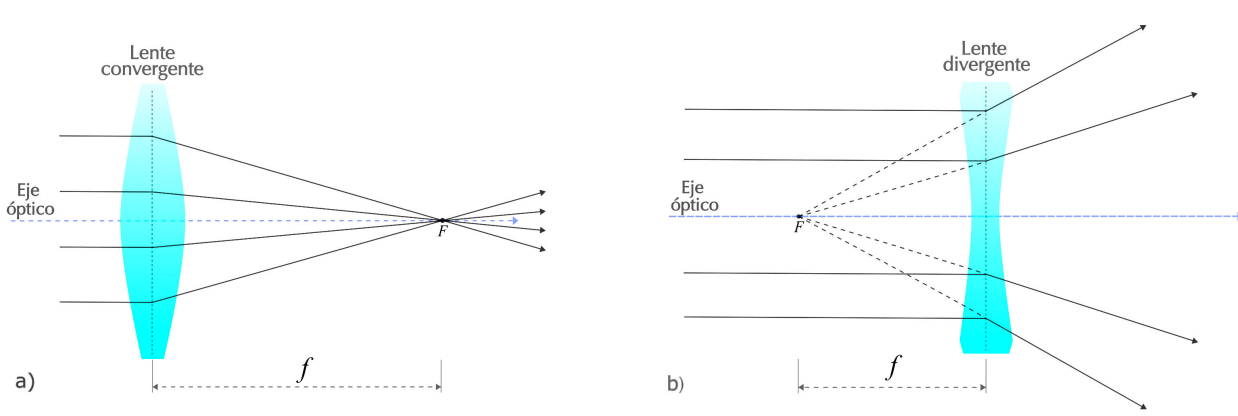


FIGURA 10. Efecto de una lente positiva a) y negativa b) sobre los rayos que provienen de una fuente al infinito.

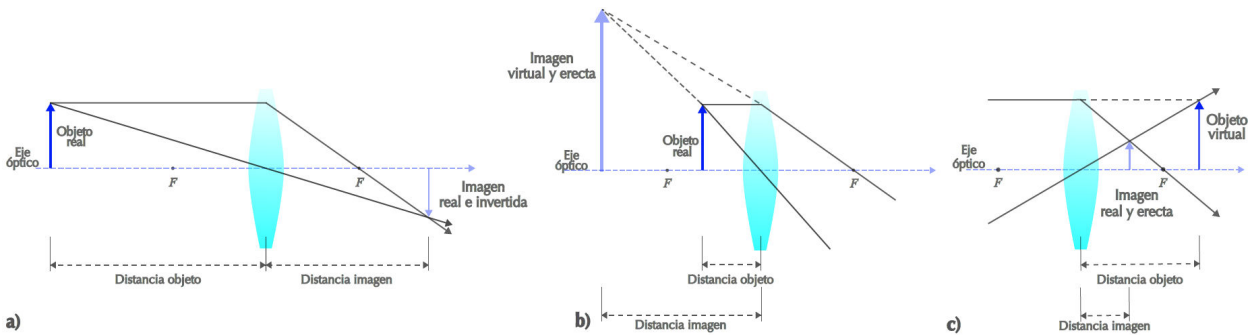


FIGURA 11. Tipos de imágenes formadas por una lente positiva según la posición del objeto: a) antes del foco anterior, b) después del foco anterior y c) después del foco posterior.

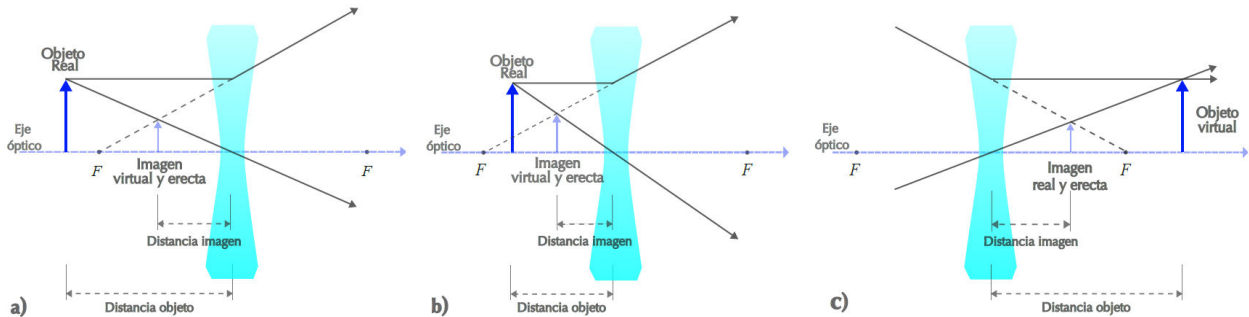


FIGURA 12. Tipos de imágenes formadas por una lente negativa según la posición del objeto: a) antes del foco anterior, b) después del foco anterior y c) después del foco posterior.

Considerando que la luz se propaga como rayos paralelos procedentes de una fuente muy alejada (como puede ser el Sol), si al encontrarse con un elemento óptico llamado lente delgadaⁱ, convergen al ser refractados, se dice que se tiene una *lente convergente o positiva*. Si, por el contrario, los rayos divergen, entonces se tiene una *lente divergente o negativa*. Se define el punto focal F de una lente convergente como aquel lugar donde los rayos coinciden al ser refractados, mientras que para una lente divergente, es el punto de divergencia que se obtiene al prolongarlos [10] (ver Fig. 10).

Una lente puede ser utilizada para observar o modificar la apariencia de un objeto, es decir, su *imagen*. Una imagen *es real* si puede proyectarse en una pantalla (como una hoja de papel) o *virtual*, si esto no es posible.

Ahora bien, para determinar cómo una lente forma una imagen, se utiliza la *aproximación de lente delgada* y de rayos para la propagación de la luz de la óptica geométrica. Para ello, elegimos uno de los rayos que parte de un punto del extremo del objeto, propagándose de manera paralela al eje óptico. Al atravesar la lente, es redireccionado hacia el foco posterior F de la lente. Un segundo rayo, partiendo del mismo punto que el primero, pero con una dirección que pasa por el centro de la lente, no sería desviado de acuerdo con la aproximación que se está empleando. La imagen se forma en la posición donde se da la intersección de los dos rayos refractados por la lente (véanse Fig. 11 y Fig. 12).

Existe otro rayo adicional que puede ser considerado en los diagramas, que pasa por el primer punto focal anterior y

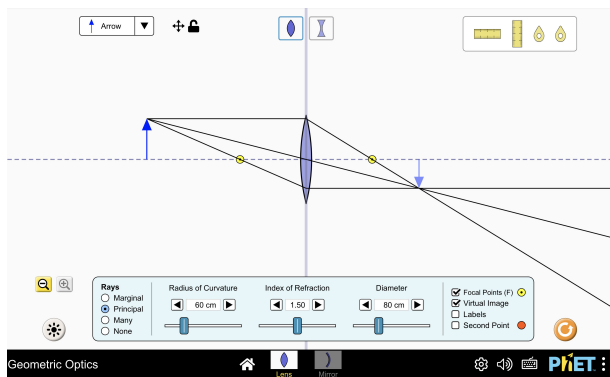


FIGURA 13. Trazo de rayos para una lente positiva usando el simulador interactivo PhET.

emerge paralelo al eje óptico al atravesar la lente, e interseca a los dos anteriores. La simulación de este comportamiento puede analizarse libremente mediante el proyecto de simulaciones interactivas PhET de la Universidad de Colorado, en la sección de física-óptica geométrica, como se muestra en la Fig. 13 [11]. Se recomienda usar la aplicación de manera simultánea a la manipulación real de lentes como lupas o lentes oftálmicas.

4.2. Sistema óptico de dos lentes (telescopios)

Como su nombre lo indica, un *telescopio* (del griego *τηλεσκοπος, tēleskópos*, “que mira lejos” [12]) es un instrumento que permite ver un objeto lejano a una distancia más próxima. Esto puede lograrse utilizando dos lentes.

Si bien el uso de lentes como telescopios se daba desde décadas atrás a los descubrimientos de Galileoⁱⁱ, fue él quien mejor comprendió su funcionamiento y también quien documentó de manera técnica su construcción y uso científico en astronomía, con lo cual modificó la idea que se tenía del Universo.

Aunque existen una gran variedad de configuraciones de telescopios posibles, en este trabajo nos centraremos en la comprensión de los telescopios refractores más simples. Podemos diferenciar entre aquellos que forman a su salida una imagen real o invertida, o una imagen “derecha” o virtual. Si el telescopio se utiliza para ver imágenes terrestres, suele ser incómodo que estén invertidas, lo cual es irrelevante en imágenes astronómicas. Aunque hay varias formas en las que puede lograrse una imagen derecha, solo la configuración galileana simplifica la construcción del instrumento, por lo que es la que se ha seleccionado para su análisis más detallado en este trabajo.

Un telescopio refractor galileano está formado por una lente positiva o convergente llamada *lente objetivo*, y una lente negativa o divergente, llamada *ocular*, que se colocan de modo que el punto focal posterior de la lente negativa coincida con el punto focal posterior de la lente positiva, y así conseguir que la imagen formada por la lente objetivo sea tomada por el ocular *antes* de que se invierta, y forme así una imagen

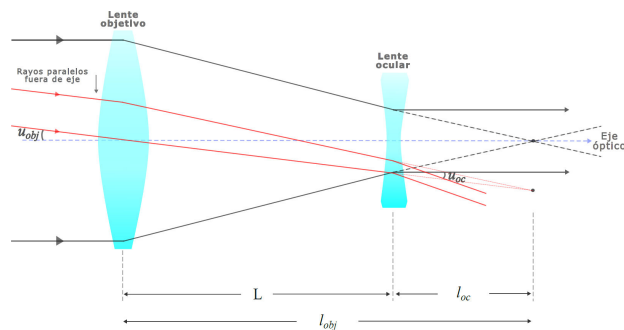


FIGURA 14. Diagrama esquemático de un catalejo o telescopio galileano. La imagen de salida no se invierte en ninguna dirección.

“derecha” o sin invertir, haciéndolo adecuado para observaciones terrestres (Fig. 14).

Puesto que no se usa detector, la imagen se observa directamente con el ojo, que debe encontrarse en estado de relajación, como si la imagen estuviera formada en el infinito. Esto significa que los rayos de luz de salida son paralelos y nunca convergen formando un foco. Decimos entonces que los telescopios usados para ver a través de ellos, sin usar un detector, son *sistemas afocales*.

Evidentemente, su poder de magnificación *P.M.* estará dado por la razón del ángulo subtendido por la imagen formada por el ocular, u_{oc} , respecto al ángulo subtendido por la imagen formada por el objetivo, u_{obj} Ec. (1):

$$P.M. = \frac{u_{oc}}{u_{obj}} \tag{1}$$

Suponiendo que las lentes utilizadas son delgadas, un análisis trigonométrico de los rayos lleva a la siguiente relación para el tamaño lineal h de la imagen en el foco de la lente objetivo Ec. (2):

$$h = f_{obj} \tan u_{obj} \approx u_{obj} f_{obj}, \tag{2}$$

para ángulos u_{obj} pequeños. El ángulo subtendido por esta imagen, vista desde el ocular, es Ec. (3):

$$u_{oc} \approx \frac{-h}{-f_{oc}}, \tag{3}$$

donde h es negativa ya que la imagen observada por el ocular está invertida, y f_{oc} también es negativa, pues el ocular es una lente divergente. El ángulo subtendido u_{oc} visto por el ocular es, por lo tanto, positivo. Igualando las Ecs. (2) y (3), llegamos a la Ec. (4):

$$P.M. = \frac{u_{oc}}{u_{obj}} = - \left(\frac{f_{obj}}{-f_{oc}} \right). \tag{4}$$

Con esto tenemos que el poder de magnificación es positivo, indicando que para el telescopio galileano la imagen de salida se observa no invertida, y es virtual.

La Ec. (4) es válida para todos los telescopios simples y sistemas afocales, siempre y cuando se utilicen lentes delgadas. Si en vez de un ocular divergente se utiliza una lente convergente, f_{oc} será positiva, y el poder de magnificación

será negativo, significando que la imagen será invertida o real (ver Apéndice A).

La longitud total L de estos sistemas es igual a la suma de la longitud focal de la lente objetivo y del ocular Ec. (5):

$$L = f_{obj} + f_{oc}. \quad (5)$$

Como la longitud focal del ocular en el telescopio galileano es negativa, esta configuración es siempre la más compacta.

4.3. Simuladores de trazado de rayos

Las simulaciones del comportamiento de rayos de luz a través de las lentes individuales o en sistemas de dos lentes, se pueden analizar libremente mediante el proyecto de simulaciones interactivas de trazo de rayos `phydemo.app` (Fig. 15) [13]. Esta aplicación especializada en trazo de rayos tiene demos muy interesantes que pueden servir de ejemplos ilustrativos para mostrar la física de lentes simples o sistemas, así como un prisma de Newton o el arco iris. Esta aplicación resuelve la multifísica de la interacción de la luz con la materia, haciendo de ella una herramienta muy útil para desarrollos más complejos.

Esta configuración se modela en el software `phydemo.app`, en el que se proporcionan como datos de entrada los parámetros del diseño. El software, al que se puede acceder directamente en línea, sin necesidad de ser instalado en un dispositivo personal, muestra un breve campo superior para proporcionar instrucciones y parámetros, y un campo inferior mayor en el que se colocan y modelan los elementos del diseño.

Los datos de entrada se introducen en el menú gráfico superior, que consiste de campos seleccionables. Los campos en azul son los utilizados para introducir los parámetros generales, en los que se especifican primero los elementos que van a incluirse, en este caso, el elemento óptico (espejo o vidrio), la fuente de iluminación, más otros posibles que pueden ser tanto principales como auxiliares en el diseño.

Al seleccionar la fuente de luz, se despliega sobre el campo de diseño (en color negro), una imagen interactiva de este elemento, que puede arrastrarse y pegarse en cualquier zona del campo. Para el caso del telescopio, dado que se requiere simular los rayos paralelos provenientes de una fuente en el infinito, se selecciona del menú “Fuente de luz” la opción “Haz” (de entre otras cuatro posibles), y se coloca sobre el campo. Presionando la tecla `Mayúsculas`, a la vez que se selecciona el campo, el elemento se despliega vertical u horizontalmente, sin que el trazo se incline en ninguna dirección. En el mismo campo azul, en la opción “Otros”, puede escogerse el elemento “Regla”, para tener una referencia de la longitud de los elementos desplegados e introducidos. Una característica de este software es que las unidades de longitud no están determinadas, simplemente se consideran como *unidades*, que, al ser congruentes en todas las longitudes usadas, no afectan en el desempeño final del diseño. La forma de colocar este elemento, la Regla, sobre el campo, es similar a la explicada con la Fuente de luz. Posterior a la fuente luminosa, se escoge el elemento óptico a utilizar, en este caso “Vidrio”. Para el telescopio, las dos lentes, tanto la lente objetivo como el ocular, son lentes esféricas, por lo que es este elemento el que se escoge dentro del menú Vidrio. El elemento desplegado sobre el campo tiene unos parámetros iniciales definidos por el programa, pero estos se modelan a las necesidades del usuario, una vez que el vidrio, en este caso, se pega sobre el campo.

Como se observa en la Fig. 16, donde se ha colocado a modo de ejemplo solo la lente objetivo y la fuente de luz, al definir el elemento se despliega en su parte superior su menú de parámetros particulares. Los parámetros mostrados corresponden a la lente objetivo, en este caso sus radios de curvatura (87.31 y 131 unidades, respectivamente) —o longitud focal, en caso de ser este el parámetro que se seleccione,— su grosor central (3.66 unidades), y su índice de refracción (1.48). La fuente luminosa también tiene unos parámetros definidos, que para esta simulación son un brillo de 0.5 (donde el máximo es 1, sin unidades), un ángulo de

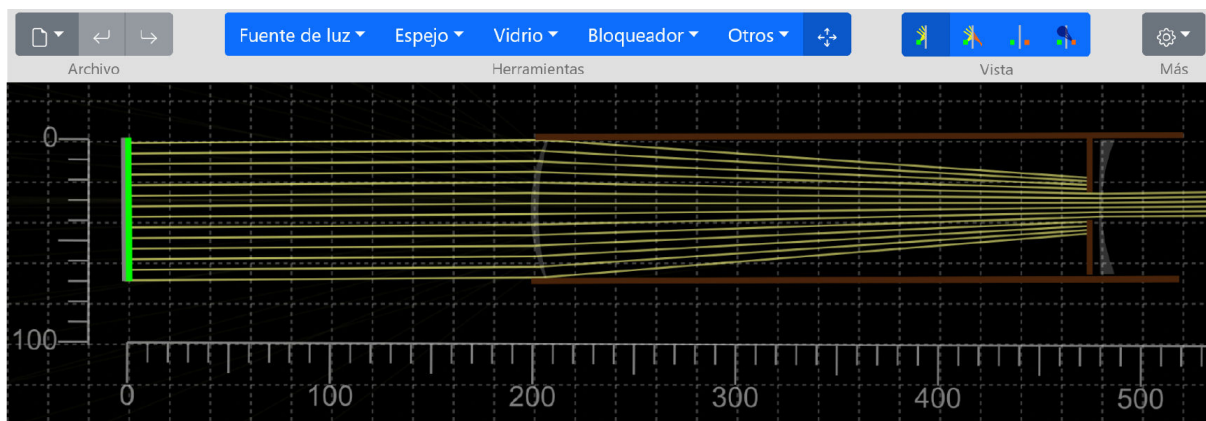


FIGURA 15. Trazo de rayos del telescopio galileano en la configuración usada para construcción. Se usó el software libre de trazado de rayos `phydemo.app`.

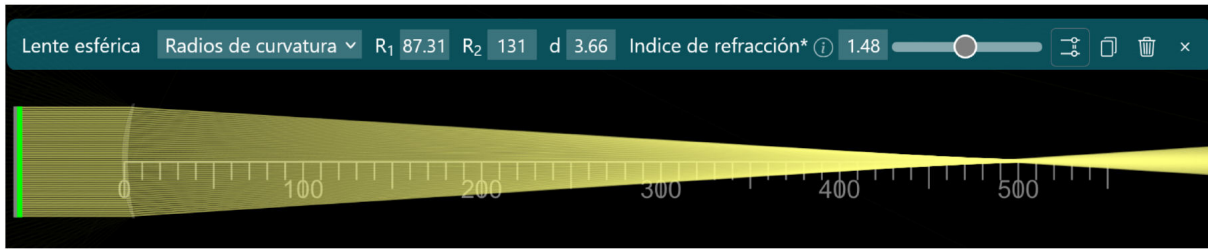


FIGURA 16. Lente objetivo y trazo de rayos simulando una fuente en el infinito. En el menú de parámetros particulares de los elementos de la simulación se muestran los parámetros para la lente objetivo. La longitud focal simulada corresponde con los valores introducidos como parámetros de entrada para la lente, utilizando una longitud de onda de 5550 \AA .

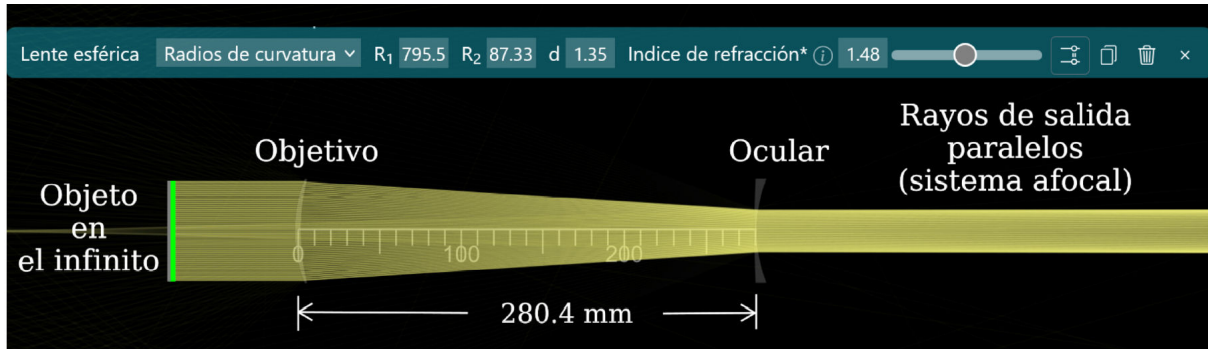


FIGURA 17. Trazo de rayos para la primera propuesta de configuración del telescopio galileano construido. La superficie del ocular con el radio de curvatura mayor apunta hacia la parte interna del telescopio. El menú de parámetros corresponde al ocular.

emisión de 0° (es decir, todos los rayos mostrados son paralelos entre sí), y una longitud de onda de 5550 \AA . También se ha colocado una regla como referencia, que muestra que, con los parámetros usados para la lente, su longitud focal es de 500 unidades. Si se consideran estas unidades como milímetros, la longitud focal coincide con el inverso en metros del valor de esfera de la lente objetivo, de $+2$. Para que la longitud focal de la lente coincida con el valor esperado de 500 mm, se determinó el valor arbitrario de índice de refracción de 1.48 (que no es muy alejado del valor medido para la lente, de 1.503781), en la longitud de onda central de 5550 \AA . A diferencia de Zemax, que es un software más estricto en su manejo, y por lo tanto, deben ingresarse materiales ópticos con índices de refracción específicos, en phydemo puede determinarse cualquier índice de refracción deseado, sin definir un material en particular. Para poder especificar una longitud de onda en phydemo debe activarse la opción de “Simular” colores en el campo “Configuración” del menú de parámetros generales.

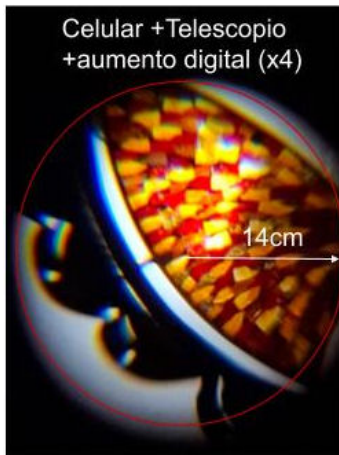
Por último, la Fig. 17 muestra la simulación completa del telescopio galileano, donde se ha agregado la lente negativa con un valor de esfera de -5 como ocular, con su curvatura mayor apuntando hacia la parte interior del telescopio. La forma de agregar esta lente es la misma que la indicada para los elementos anteriores. En el menú desplegado, que es de los parámetros particulares del ocular, se muestran sus radios de curvatura (795.5 y 87.33 mm), su grosor central (1.35 mm), y su índice de refracción (1.48). El valor indicado de separación entre las lentes, de 280.4 mm, es el valor optimizado con el software Zemax.

4.4. Uso de lentes oftálmicas y optometría

Como se mencionó en la Sec. 2.1, el caso de usar el telescopio como “instrumento óptico”, fue implementado en la carrera de profesional técnico en optometría del plantel CONALEP-Chipilo en el estado de Puebla, México. En esta carrera, hubo una adaptación muy natural, pues las lentes usadas son oftálmicas y no representaron novedad para los jóvenes, así como los conceptos y parámetros de distancia focal e índice de refracción. En otros contextos académicos, se sugiere explicar en mayor profundidad los conceptos de lentes y sus propiedades, así como la física de la refracción y reflexión de la luz. Temáticas adicionales que los jóvenes de CONALEP exploraron fueron en geometría, mostrando su utilidad en temas como escalas y proporciones, y en trigonometría usando ángulos, triángulos, etc. El sistema acoplado telescopio+celular+zoom digital puede alcanzar mayor resolución en un campo de visión menor, como se muestra en la Fig. 18. El análisis de este tipo de imágenes les permite aplicar varios conocimientos de matemáticas y física.

4.5. Uso en astronomía

El caso de su uso como telescopio astronómico tiene temáticas adicionales al caso de “instrumento óptico”. Se deberán introducir temas como coordenadas polares y esféricas, mecánica gravitacional (tiro parabólico, órbitas planetarias, etc. [4]). Y con ayuda de un filtro de reúso obtenido de un visor de los repartidos en los eclipses, se pueden obtener



$$\begin{aligned} \tan \alpha &= 14/1000 \\ \alpha &= 0.802^\circ \\ \text{FoV} &= 2 * \alpha = 1.6^\circ \end{aligned}$$

FIGURA 18. Imagen tomada con la cámara del celular acoplada al telescopio con el ocular a una distancia focal mayor, lo que permite que la cámara ajuste el foco; y con el máximo de aumentos del celular (en este caso 4 x), lo que consigue un aumento total de diez veces la imagen original (Fig. 7). El círculo rojo muestra como se reduce el campo de visión, FoV, a un grado y medio aproximadamente.

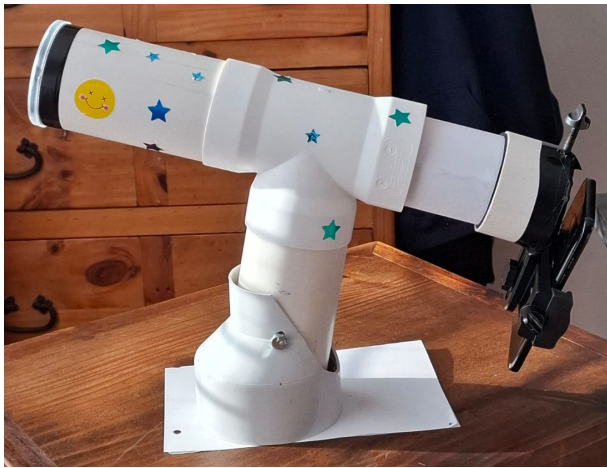


FIGURA 19. Telescopio en versión con montura, adaptador y celular, al que se le puede agregar un filtro para el Sol.

imágenes del Sol, mostrando manchas solares que se distinguen en la imagen de la Fig. 21. Para ello, adicional al filtro, necesitamos la montura y el zoom digital para obtener la resolución mostrada en la Fig. 18.

Una versión usando un modelo de montura, porta celular y filtros (montados frente al objetivo) se muestra en la Fig. 19. Con este montaje se obtuvo la imagen de la Luna en la Fig. 20 y la imagen del Sol mostrada en la Fig. 21. Todas las piezas de la montura se pueden hacer de PVC (tubería estándar) y se pueden cortar y acoplar fácilmente con una sierra. El costo de solo la montura mostrada (sin lentes, adaptador, cámara y filtros), no supera actualmente los 80 pesos mexicanos.



FIGURA 20. Imagen de la Luna tomada con la cámara del celular (arriba) y con el telescopio+celular acoplados. A diferencia del resto de las fotos mostradas en este documento, en esta imagen se manipuló el tiempo de exposición y la sensibilidad del sensor de la cámara, aprovechando también ese recurso.

4.6. Monitoreo ambiental y animal

Dependiendo del contexto del colegio, el monitoreo de fenómenos meteorológicos como nubes o el clima, así como volcanes y paisajes (Fig. 22), son proyectos que pueden interesar a los alumnos o a otros profesores especialistas en temáticas como geografía o artes. Otros proyectos relacionados con biología, como la observación de aves y animales sin perturbarlos, son posibles, como se muestra en la Fig. 23. La descripción de cualquiera de estos objetos en diferentes idiomas o lenguas maternas brinda una actividad diferente para el estudiante, la cual puede estimular de mejor manera el aprendizaje.

5. Conclusiones

Se propone la construcción de un telescopio óptico técnicamente similar al primero diseñado por Galileo, muy económico, fácil de armar y desarrollado con materiales de fácil acceso. Su evaluación frente a un grupo de estudiantes de nivel medio superior resultó exitosa para el aprendizaje de temas de física y matemáticas relacionados con lentes y telescopios.

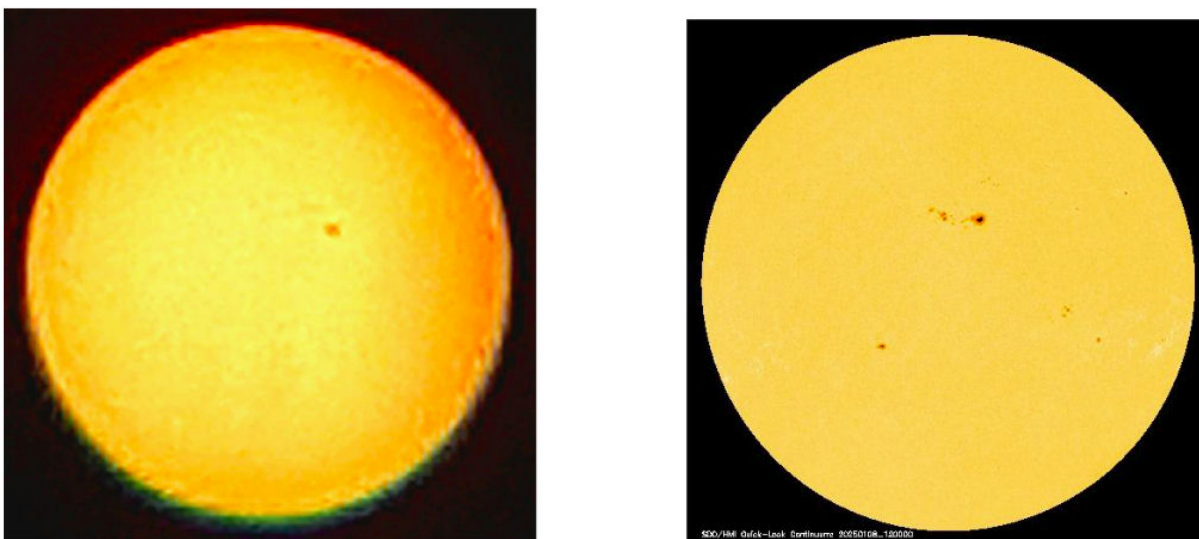


FIGURA 21. Imagen del Sol tomada con el zoom de la cámara del celular y el telescopio acoplado, para lo cual se le agregó montura, filtros (solar+ H_{α}) y adaptador para celular (izquierda). Se compara contra la imagen tomada por el telescopio espacial SOHO de la NASA (derecha), del día 8 de enero de 2025.



FIGURA 22. Vista del Popocatepetl, con telescopio más el zoom de la cámara del celular, 1° de diciembre 2024.

La orientación sugerida para su explotación didáctica se enfoca en temáticas STEM que involucran el construccionismo, teoría de aprendizaje que puso en evidencia que la construcción del telescopio facilitó el aprendizaje de dichos temas, además de ofrecer la posibilidad de extenderse hacia otras actividades en distintas áreas temáticas como física, matemáticas, biología, historia de la ciencia, fotografía y paisajismo, fomentando también el trabajo en equipo y multidisciplinar. El uso de PVC en las versiones más elaboradas del telescopio, permitieron armar incluso una pequeña montura a la que se le puede incorporar un adaptador de celular y, con la incorporación de un filtro solar, se pueden obtener fotografías



FIGURA 23. Imágenes tomadas con la cámara del celular simple (izquierda), con aumentos del celular (centro), y con el telescopio más aumentos del celular (derecha).

de manchas solares, como las mostradas en la Fig. 21. Este puede constituir un detonante para fomentar el interés en el estudiantado en analizar la física de sistemas ópticos de lentes y su contexto histórico. Si bien estos temas trascienden los objetivos del presente trabajo, se sugiere bibliografía de apoyo como el libro de texto “óptica” de Hetch Zajac [14]. La experiencia reportada en este trabajo es valiosa, pues muestra que, con la elaboración de recursos como el presentado, los estudiantes lograrán un aprendizaje significativo y colaborativo al implementar sus propias soluciones basadas en la experiencia a problemas concretos, como lo hacen los expertos en cada materia [7]. Por otra parte, logra conjuntar a expertos en ciencia y expertos en didácticas de la ciencia o docencia para lograr un producto terminado y fácilmente reproducible en distintas instituciones educativas.

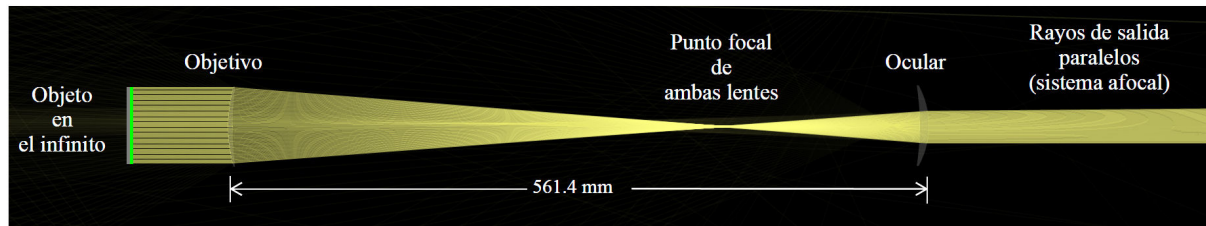


FIGURA 24. Trazo de rayos para la configuración del telescopio kepleriano propuesto. De acuerdo a la optimización realizada en Zemax, la distancia óptima entre las lentes es 561.4 mm.

Apéndice

A. Análisis complementario de un telescopio kepleriano

Como alternativa al telescopio galileano, se presenta también el análisis de la configuración *kepleriana*, que en lugar de utilizar una lente negativa como ocular, emplea una lente positiva.

La diferencia fundamental entre estas dos configuraciones es que, de acuerdo a las Ecs. (3) y (4), el poder de magnificación es *negativo*, puesto que la longitud focal del ocular es ahora positiva Ec. (A.1):

$$P.M. = \frac{u_{oc}}{u_{obj}} = - \left(\frac{f_{obj}}{f_{oc}} \right). \quad (A.1)$$

Las medidas obtenidas en el Taller de óptica del INAOE, para estas lentes, se muestran en la Tabla V.

Con los valores nominales de esfera para cada lente, de + 2.5 y + 6.0, respectivamente para el objetivo y el ocular, equivalentes a 400 mm y 167.7 mm de longitud focal, se tiene un poder de magnificación de $-2.39 \times$ Ec. (5), y un valor inicial de distancia entre las lentes de 567.7 mm Ec. (A.1). Realizando el mismo proceso de optimización en Zemax que para la configuración galileana, es decir, optimizando un único parámetro libre (distancia entre las lentes), para un sistema afocal en el que se busca mantener un valor específico de una variable (magnificación de $2.39 \times$), y minimizando el error en la formación de la imagen, el parámetro libre se ajusta a una

TABLA V. Medidas de las lentes.

| | Lente objetivo | Lente ocular |
|----------------------------------|----------------|--------------|
| Díámetro | 64.60 mm | 64.66 mm |
| Radio de curvatura 1 | 117.04 mm | -213.75 mm |
| Radio de curvatura 2 | 248.19 mm | -66.64 mm |
| Grosor en la parte central | 3.40 mm | 7.26 mm |
| Grosor en el borde | — | — |
| Índice de refracción | | |
| ($\lambda = 5550 \text{ \AA}$) | 1.535 | 1.535 |

distancia final de 561.43 mm. Los resultados de la simulación realizada con phydemo.app se muestran en la Fig. 24.

Agradecimientos

A los profesores Jesús Manuel Rosete Castillo y Miguel ángel Uroza Alonso, del CONALEP-Chipilo, por su aportación a este trabajo; y al CONALEP-Chipilo por su apoyo para la asistencia a eventos y concursos con los estudiantes. N. Palacios (CVU: 1000231) y M. Dominguez (CVU: 853084) agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo a través de las estancias postdoctorales. B. Hernández (CVU: 166740) y J. Silva (CVU: 239808) agradecen a la Dirección de Investigación del INAOE por la oportunidad brindada para colaborar como investigadores externos y a la SECIHTI por el apoyo recibido del SNI.

- i. Una lente simple es un elemento óptico refractor que está formada por dos superficies, donde al menos una de ellas es curva, y cuyo eje de simetría se denomina eje óptico. En la aproximación de una lente delgada, su grosor se considera despreciable. Si los rayos que inciden sobre la lente tienen ángulos pequeños con respecto al eje óptico estamos en la aproximación paraxial.
- ii. Ver particularmente *Telescopios y Estrellas*, de Daniel Malacara y Juan Manuel Malacara.
1. P. Musso, El Método Científico de Galileo y sus Implicancias Culturales, PHAINOMENON **18** (2019) 89, <https://doi.org/10.33539/phai.v18i1.1377>
2. H. Z. Albert Van Helden, Sven Dupré and e. Rob van

Gent, The origins of the telescope (History of Science and Scholarship in the Netherlands 12. Amsterdam: KNAWPress, 2010, 1977), <https://dwc.knaw.nl/wp-content/HSSN/2011-12-Origins.pdf>

3. A. Nassiri, Museo scienza e tecnologia Milano - Museo Nacional de Ciencia y Tecnología Leonardo da Vinci (2025), <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=48703078>.
4. S. M. Pompea *et al.*, An optics education program designed around experiments with small telescopes, Proc. SPIE **7783**, *Optics Education and Outreach* **7783** (2010) 01
5. S. M. Pompea *et al.*, The evolution of optics education at the

- U.S. National Optical Astronomy Observatory, *Proceedings of 12th Education and Training in Optics and Photonics Conference* **9289** (2014) 8.
6. W. J. Smith, *Modern optical engineering: the design of optical systems* (New York: McGraw Hill, 4th ed.).
 7. M. Calvo-Utrilla *et al.*, La educación STEM a debate desde la Didáctica de las Ciencias, *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación De Las Ciencias* **22** (2025) 2102, <https://doi.org/10.25267/Rev-Eureka-ensen.divulg.cienc.2025.v22.i2.2102>
 8. S. Tesconi, Crear artefactos para generar conocimiento compartido: el modelo de aprendizaje del movimiento maker como herramienta de formación del profesorado., *Comunicación y pedagogía: Nuevas tecnologías y recursos didácticos* **284** (2015) 8, https://www.researchgate.net/publication/283205995_Crear_artefactos_para_generar_conocimiento_compartido.El_modelo.de_aprendizaje_del_movimiento_maker_como_herramienta_de_formacion_del_profesorado
 9. M. C. P. Marín, *óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular* (Universidad Complutense de Madrid, 2006), <https://hdl.handle.net/20.500.14352/54599>
 10. D. Malacara, *óptica básica* (FCE-Fondo de Cultura Económica, 2015).
 11. PhET, *Simulaciones interactivas de ciencias y matemáticas* (2025), <https://phet.colorado.edu/es/>
 12. R. A. Española, *Diccionario de la lengua española* (versión 23.8 en línea, 2025), <https://dle.rae.es/>
 13. PhyDemo, *Bienvenido a la simulación de óptica de rayos* (2022), <https://phydemo.app/ray-optics/simulator/>
 14. E. H. Zajac, *Optics* (Ed. Pearson, 4ta Edición Versión en Español, 2003), <https://www.academia.edu/48913921/>