



Temas Selectos de Física I

Bachillerato Semiescolarizado

José Alberto Alvarado Lemus
Pedro Oliver Cabanillas García
Jesús Alfonso Félix Madrigal

DIRECTORIO

Dr. Jesús Madueña Molina

Rector Titular

Dra. Nidia Yuniba Brun Corona

Secretaria General

Dra. Elizabeth Castillo Cabrera

Secretaria de Administración y Finanzas

MC. Sergio Mario Arredondo Sala

Secretario Académico Universitario

MC. Marisol Mendoza Flores

Directora de DGEP

Dr. Damián Enrique Rendón Toledo

Subdirector Académico de DGEP

Dra. Pamela Herrera Ríos

Subdirectora Administrativa de DGEP

José Alberto Alvarado Lemus
Pedro Oliver Cabanillas García
Jesús Alfonso Félix Madrigal

Temas Selectos de Física I

Bachillerato Semiescolarizado

Temas Selectos de Física I

Bachillerato Semiescolarizado

José Alberto Alvarado Lemus

Pedro Oliver Cabanillas García

Jesús Alfonso Félix Madrigal

Primera edición: noviembre de 2025

Universidad Autónoma de Sinaloa

Dirección General de Escuelas Preparatorias

Ciudad Universitaria, Circuito Interior Ote. S/N, C.P. 80013

Teléfono: 66 77 12 16 53, Culiacán, Sinaloa, México.

Prohibida la reproducción total o parcial de la obra por cualquier medio o método o en cualquier forma electrónica, mecánica, incluso fotocopia, información, sin la autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. Todos los derechos reservados

Impreso en México

Printed in Mexico

índice

Cápsula Semanal 1: Naturaleza de la Luz	8
Cápsula Semanal 2: Fundamentos de las Ondas y su Relación con la Luz	22
Cápsula Semanal 3: El espectro electromagnético y sus manifestaciones	32
Cápsula Semanal 4: Propagación rectilínea de la luz y sus implicaciones	43
Cápsula Semanal 5: Reflexión de la Luz	55
Cápsula Semanal 6: Refracción de la Luz	65
Cápsula Semanal 7: Fundamentos de la Óptica Geométrica	76
Cápsula Semanal 8: Espejos y formación de imágenes	88
Cápsula Semanal 9: Lentes Delgadas y sus Propiedades	100
Cápsula Semanal 10: Instrumentos Ópticos Básicos y su Funcionamiento	114
Cápsula Semanal 11: Fenómenos Ondulatorios de la Luz	126
Cápsula Semanal 12: Óptica Aplicada en Tecnología y Vida Cotidiana	139
Referencias Bibliográficas	151

A estudiantes y profesores

Este libro está diseñado para desarrollar el programa de estudio de la Unidad de Aprendizaje Curricular de Temas Selectos de Física I, del Plan de Estudio del Bachillerato Semiescolarizado, de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Nuestro objetivo es proporcionar una experiencia de aprendizaje activo y enriquecedora que permita a los estudiantes comprender los conceptos teóricos y prácticos de la conservación de la energía, siguiendo el enfoque de progresiones de aprendizaje y el modelo de enseñanza 5E.

El libro está estructurado en 12 progresiones de aprendizaje, cada una centrada en un tema específico relacionado con la conservación de la energía. Cada progresión sigue el modelo 5E, que comienza con la fase "Engage" (Empezamos), donde se presenta una actividad o pregunta que despierta el interés y la curiosidad de los estudiantes sobre el tema. A continuación, en la fase "Explore" (Exploramos), los estudiantes participan en actividades prácticas, simulaciones virtuales o discusiones que les permiten explorar los conceptos y desarrollar su comprensión. Luego, en la fase "Explain" (Explicación), se presentan los fundamentos teóricos del tema, proporcionando definiciones, fórmulas y principios clave. En la fase "Elaborate" (Elaboración), los estudiantes aplican los conceptos aprendidos a través de la resolución de problemas situados y actividades de extensión. Finalmente, en la fase "Evaluate" (Evaluación), se presentan problemas cualitativos y cuantitativos para evaluar la comprensión de los estudiantes sobre los conceptos y su capacidad para aplicarlos.

Se espera que los estudiantes participen activamente en las actividades propuestas, colaboren con sus compañeros y contribuyan al desarrollo de un ambiente de aprendizaje colaborativo. Es importante que los estudiantes revisen el material teórico y las instrucciones de cada progresión antes de realizar las actividades para maximizar el aprovechamiento del tiempo y la efectividad del aprendizaje.

Cada progresión incluye una guía detallada con objetivos específicos, actividades y preguntas de reflexión, facilitando la planificación y ejecución de las sesiones de aprendizaje. Los enlaces a simuladores virtuales proporcionan una herramienta valiosa para complementar las actividades y ofrecer experiencias de aprendizaje interactivas. Se recomienda utilizar las preguntas de reflexión y los problemas propuestos para realizar una evaluación formativa que permita identificar áreas de mejora y reforzar el aprendizaje de los estudiantes.

Esperamos que este libro sea una herramienta útil para estudiantes y profesores en el estudio de la conservación de la energía, y que contribuya al desarrollo de habilidades de pensamiento crítico, resolución de problemas y comprensión de los principios fundamentales de la física.

CÁPSULA SEMANAL

1

Asesoría presencial grupal (APG)	Asesorías personalizadas o por equipo (AP)	Autoestudio (AUTE)
1 hora	1 hora	2 hora

Cápsula Semanal 1: Naturaleza de la luz

Progresión de Aprendizaje 1
Explorar la naturaleza fundamental de la luz mediante el análisis de su presencia en contextos cotidianos, desde los fenómenos naturales observables en el entorno hasta las aplicaciones tecnológicas modernas. Examinar la evolución histórica de las teorías sobre la luz, integrando la perspectiva cuántica de la dualidad onda-partícula como marco explicativo contemporáneo.
Metas de aprendizaje
CC. Comprender la naturaleza dual de la luz y su evolución conceptual histórica.
CT1. Identificar patrones en las manifestaciones luminosas del entorno natural y tecnológico.
CT2. Analizar la causa y efecto en el desarrollo histórico de las teorías sobre la luz.
CT7. Evaluar la estabilidad y cambio en los modelos científicos de la naturaleza lumínica.
Concepto central
CC. Óptica
Conceptos transversales
CT1. Patrones
CT2. Causa y efecto
CT7. Estabilidad y cambio

1. Introducción General

Esta cápsula te invita a explorar la naturaleza fundamental de la luz, un fenómeno que experimentas constantemente, desde los brillantes amaneceres en nuestras costas hasta la tecnología de tus dispositivos móviles. A través de simulaciones interactivas, experimentos prácticos y análisis histórico, descubrirás cómo la ciencia ha evolucionado para explicar este fascinante fenómeno. Desarrollarás habilidades de pensamiento científico al conectar observaciones cotidianas con modelos teóricos, comprendiendo la dualidad onda-partícula que revolucionó nuestra comprensión de la luz.

2. Empezar (Engage) y Explorar (Explore)

En esta fase inicial, actuarás como investigador explorando los misterios de la luz mediante la manipulación de variables en entornos virtuales. Observarás resultados, formularás hipótesis y construirás explicaciones fundamentadas sobre los fenómenos luminosos que experimentas diariamente en tu entorno.

Actividad práctica: Explorando la percepción del color y la naturaleza dual de la luz

Objetivo: Investigar cómo diferentes tipos de luz interactúan con el sistema visual humano y explorar tanto las propiedades ondulatorias como corpusculares de la luz, utilizando un simulador que modela la percepción cromática y permite visualizar fotones individuales para conectar la teoría física con la experiencia sensorial cotidiana.

Contexto científico:

La percepción del color resulta de la compleja interacción entre las propiedades físicas de la luz y nuestro sistema visual. La luz puede describirse tanto como ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda (aspecto ondulatorio) como por paquetes discretos de energía llamados fotones (aspecto corpuscular). El ojo humano detecta esta radiación mediante células especializadas llamadas conos, sensibles a tres rangos específicos de longitudes de onda correspondientes aproximadamente al rojo (700 nm), verde (530 nm) y azul (430 nm). El simulador te permitirá experimentar con ambas descripciones de la luz: como ondas continuas de diferentes colores y como fotones individuales, proporcionando evidencia visual de la dualidad onda-partícula que constituye uno de los conceptos fundamentales de la física moderna.

Enlace Web:

<https://phet.colorado.edu/es/simulations/color-vision>

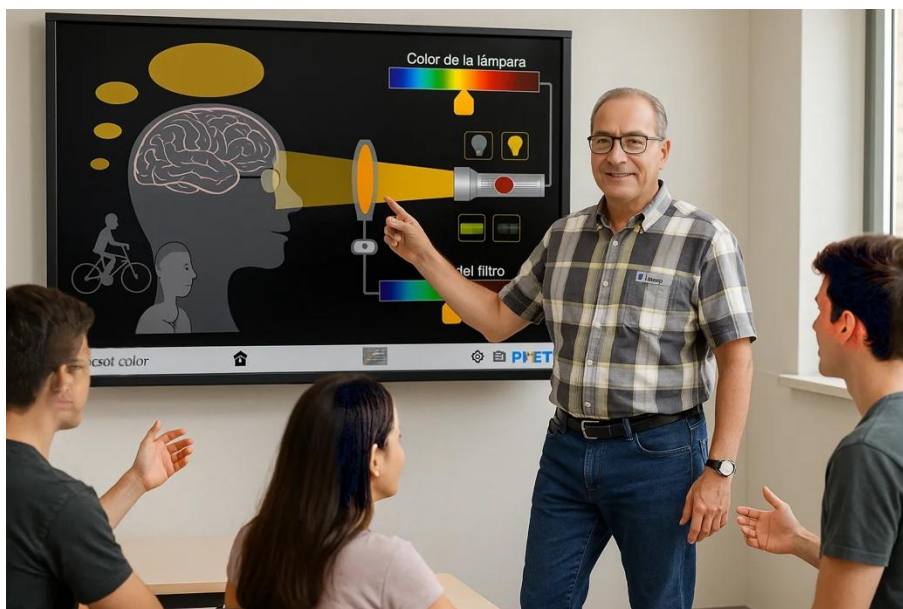


Fig. 1-P1. Simulador virtual la percepción del color. Fuente: PhET Interactive Simulations.

Procedimiento:

Inicia el simulador y selecciona el modo “Lámpara simple”. Observa la interfaz que muestra una persona, una lámpara con control de color continuo y un control de filtro en la parte inferior. Enciende la lámpara y utiliza el control deslizante superior para cambiar el color de la lámpara desde el violeta hasta el rojo, observando cómo la persona percibe cada color.

Experimenta con el filtro ubicado en la parte inferior de la pantalla. Configura la lámpara para emitir luz blanca y luego ajusta el filtro a diferentes colores (azul, verde, amarillo, rojo). Observa cómo el filtro modifica la luz que llega al observador, notando que solo permite pasar ciertas longitudes de onda específicas.

Activa la visualización de fotones haciendo clic en el icono correspondiente. Observa los puntos luminosos que representan fotones individuales viajando desde la lámpara hacia el observador.

Cambia al modo “Lámparas RGB” y experimenta con los tres controles independientes para rojo, verde y azul. Ajusta cada color por separado observando cómo el cerebro modelo combina las señales para crear la percepción cromática final. Intenta recrear luz blanca combinando los tres colores primarios y experimenta creando colores secundarios como amarillo (rojo + verde), magenta (rojo + azul) y cian (verde + azul).

Preguntas guía:

1. ¿Qué patrones observas entre la combinación de colores primarios en el simulador?
2. ¿Cómo explicas que la percepción de luz blanca requiera la combinación de tres colores diferentes?
3. ¿De qué manera la representación de fotones individuales en el simulador te ayuda a visualizar la luz como partículas?

3. Explicar (Explain)

En esta fase, profundizarás en los conceptos fundamentales sobre la naturaleza de la luz, conectando sistemáticamente tus observaciones del simulador con los marcos teóricos que la ciencia ha construido históricamente. Mediante explicaciones estructuradas y discusiones guiadas, comprenderás cómo cada modelo científico surge para resolver limitaciones del anterior, creando una comprensión cada vez más completa de este fenómeno fundamental.

3.1. Naturaleza de la luz: conceptos fundamentales y evolución histórica

La comprensión actual de la naturaleza de la luz representa una síntesis extraordinaria de siglos de investigación científica, donde cada generación de investigadores construyó sobre los descubrimientos previos para resolver contradicciones aparentes y explicar nuevos fenómenos. Esta evolución conceptual ilustra perfectamente cómo progresa la ciencia: desde observaciones cotidianas hacia modelos teóricos cada vez más sofisticados, que finalmente convergen en una descripción unificada pero sorprendentemente compleja de la realidad.

3.1.1. La luz en el contexto cotidiano: fundamentos observacionales de la óptica

Tus observaciones diarias en el entorno proporcionan evidencia directa de las propiedades fundamentales de la luz que han intrigado a la humanidad durante milenios. Los espectaculares amaneceres en nuestras costas, donde el sol emerge creando gradientes cromáticos desde el rojo intenso hasta el amarillo brillante, demuestran que la luz blanca es en realidad una composición de diferentes colores, exactamente como observaste en el simulador cuando combinabas luz roja, verde y azul para producir blanco.

La propagación rectilínea de la luz solar, que permite que sus rayos viajen los 150 millones de kilómetros desde el Sol manteniendo direccionalidad definida, se evidencia en la formación de sombras nítidas y en la geometría precisa de los reflejos sobre la superficie marina. Esta propiedad, conocida como principio de propagación rectilínea, establece que en medios homogéneos la luz viaja en línea recta, formando lo que denominamos “rayos luminosos” - una abstracción geométrica fundamental para la óptica.

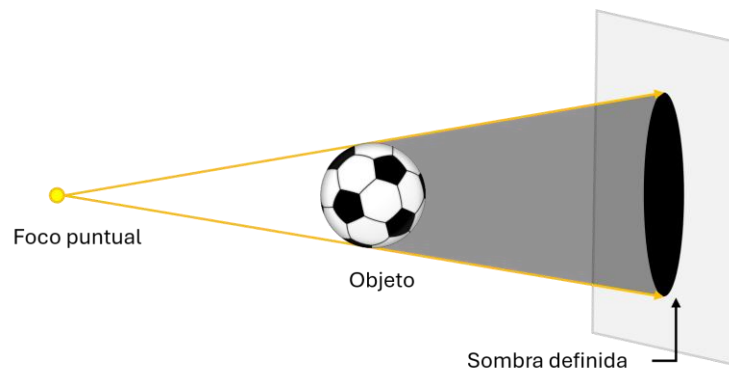


Fig. 2-P1. Diagrama mostrando rayos solares creando sombras definidas.

Los espejismos en las carreteras durante el intenso calor veraniego revelan una propiedad más sutil: la luz puede desviarse cuando atraviesa medios no homogéneos. Cuando el asfalto alcanza temperaturas superiores a 60°C, crea capas de aire con diferentes densidades.

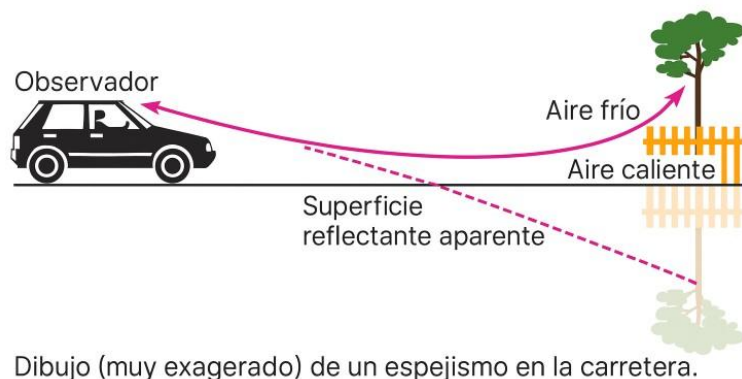


Fig. 3-P1. espejismos en las carreteras durante el intenso calor.

El aire caliente, menos denso, posee un índice de refracción ligeramente menor ($n \approx 1.000270$) que el aire más frío ($n \approx 1.000293$). Según la ley de Snell, expresada como:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

donde n_1 y n_2 son los índices de refracción de los medios, y θ_1 y θ_2 los ángulos respecto a la normal, la luz se desvía hacia el medio menos denso, curvando progresivamente su trayectoria hasta crear la ilusión óptica de “agua” en el pavimento.

Las tecnologías cotidianas confirman principios ópticos sofisticados. Las pantallas de dispositivos móviles utilizan síntesis aditiva de colores, el mismo principio que experimentaste en el simulador: combinando intensidades variables de rojo, verde y azul (RGB) para generar toda la gama cromática perceptible. Las cámaras digitales funcionan mediante conversión fotoeléctrica, transformando fotones incidentes en señales eléctricas proporcionales a la intensidad luminosa.

3.1.2. Evolución histórica de los modelos: desde la óptica geométrica hasta la síntesis ondulatoria

La historia de las teorías lumínicas ilustra cómo el conocimiento científico evoluciona mediante la acumulación de evidencias y la resolución progresiva de inconsistencias. Los antiguos griegos establecieron los fundamentos de la óptica geométrica. Euclides (Circa 300 a.n.e.) formuló las leyes básicas de reflexión, estableciendo que el ángulo de incidencia iguala al ángulo de reflexión, principio que puedes verificar observando reflejos en cualquier superficie lisa como las aguas tranquilas de los esteros.

Claudio Ptolomeo (100-170 d.n.e.) avanzó significativamente al medir sistemáticamente ángulos de refracción, documentando que la luz se desvía al pasar entre medios diferentes, aunque sin formular una ley matemática general. Sus trabajos fueron revolucionados por el científico árabe Ibn al-Haytham (Alhazen, 965-1040), quien estableció correctamente que la visión resulta de luz que viaja desde los objetos hacia los ojos, contradiciendo teorías previas que postulaban emisión ocular de “rayos visuales”.

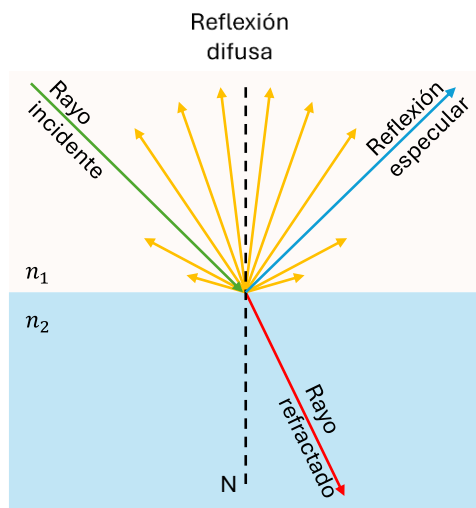


Fig. 4-P1. Luz que viaja desde los objetos se refracta y refleja de manera difusa y especular.

El siglo XVII presenció una controversia fundamental entre dos paradigmas explicativos incompatibles. Isaac Newton (1642-1727) propuso el modelo corpuscular, postulando que las fuentes luminosas emiten diminutas partículas materiales (“corpúsculos”) que viajan a velocidades enormes en trayectorias rectilíneas. Este modelo explicaba elegantemente la propagación rectilínea, la formación de sombras definidas, y la reflexión como rebote elástico de partículas. Newton argumentaba que diferentes colores correspondían a corpúsculos con distintas propiedades (masa o velocidad), y que la intensidad luminosa dependía de la cantidad de partículas emitidas por unidad de tiempo.

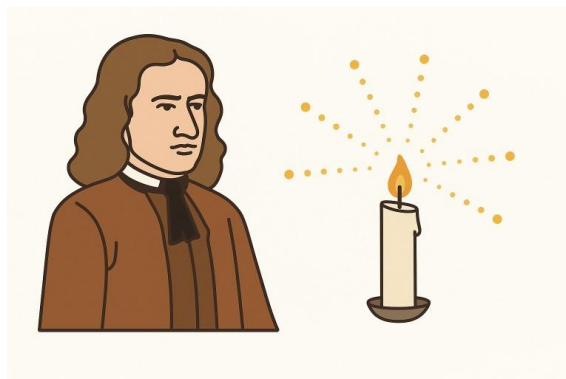


Fig. 5-P1. Modelo corpuscular propuesto por Isaac Newton.

Simultáneamente, Christiaan Huygens (1629-1695) desarrolló el modelo ondulatorio en su “Tratado de la Luz” (1690). Huygens propuso que la luz consiste en ondas que se propagan a través de un medio hipotético denominado “éter lumífero”, análogamente a como las ondas mecánicas se propagan en medios materiales. Su principio fundamental establece que cada punto alcanzado por una perturbación ondulatoria se convierte en fuente de ondas esféricas secundarias, y la envolvente de todas estas ondas determina el nuevo frente de onda. Este modelo explicaba naturalmente la difracción (curvatura de la luz alrededor de obstáculos) y la refracción como cambio de velocidad ondulatoria entre medios.



Fig. 6-P1. Modelo ondulatorio propuesto por Christiaan Huygens.

Durante más de un siglo ambos modelos coexistieron, pues cada uno explicaba satisfactoriamente ciertos fenómenos mientras fallaba con otros. La resolución definitiva llegó con Thomas Young (1801), quien demostró experimentalmente que la luz exhibe interferencia - el fenómeno donde dos ondas pueden combinarse constructiva o destructivamente para crear patrones de intensidad variable. Su experimento de doble

rendija mostró inequívocamente que la luz posee naturaleza ondulatoria, pues solo las ondas pueden interferir entre sí.

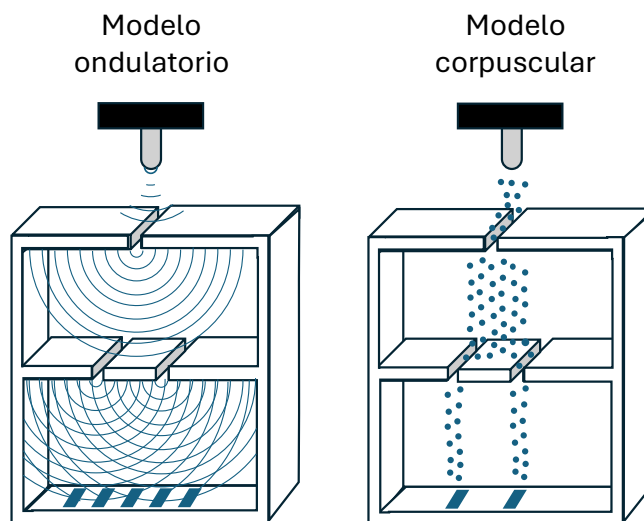


Fig. 7-P1. Experimento de doble rendija mostró que la luz posee naturaleza ondulatoria, las partículas no pueden interferir entre sí.

La síntesis electromagnética de James Clerk Maxwell (1865) proporcionó el marco teórico definitivo al demostrar que la luz constituye radiación electromagnética: ondas de campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan a velocidad $c = 3.0 \times 10^8$ m/s en el vacío. Esta unificación explicó por primera vez por qué la luz no requiere medio material para propagarse, resolviendo la problemática del “éter lumífero”.

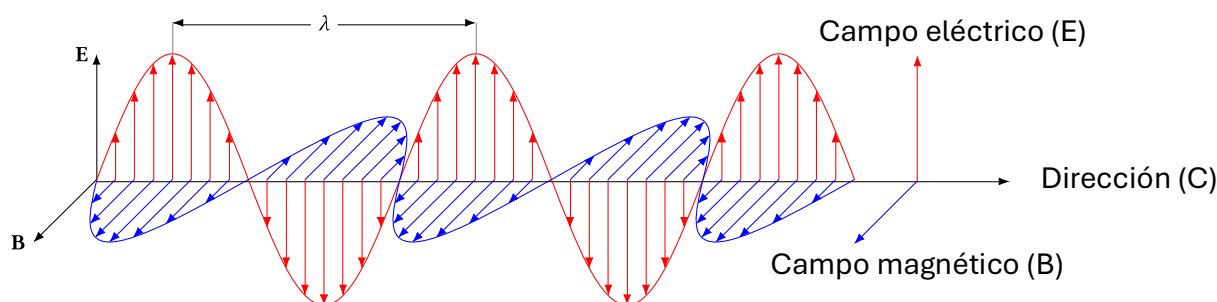


Fig. 8-P1. Ondas de campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan.

3.1.3. La revolución cuántica: síntesis de la dualidad onda-partícula y sus implicaciones tecnológicas

A principios del siglo XX, cuando el modelo ondulatorio electromagnético parecía definitivo, emergieron anomalías experimentales que desafiaron esta comprensión unificada. El efecto fotoeléctrico, observado inicialmente por Heinrich Hertz (1887), presentaba características inexplicables desde la perspectiva ondulatoria clásica.

El fenómeno ocurre cuando radiación electromagnética (especialmente ultravioleta) incide sobre superficies metálicas, provocando emisión de electrones. Sin embargo, las características observadas contradecían las predicciones ondulatorias. Primero, la energía cinética máxima de los electrones emitidos depende únicamente de la frecuencia de la radiación incidente, no de su intensidad. Segundo, existe una frecuencia umbral

específica para cada metal, por debajo de la cual no se emiten electrones independientemente de la intensidad. Tercero, la emisión es instantánea, sin el tiempo de acumulación energética que predeciría el modelo ondulatorio.

En 1905, Albert Einstein propuso una explicación revolucionaria que le otorgó el Premio Nobel (1921). Einstein postuló que, en ciertos fenómenos, la energía electromagnética se comporta como si estuviese concentrada en paquetes discretos denominados “cuantos” o fotones. La energía de cada fotón viene determinada por:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

donde E es la energía fotónica (joules), $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ es la constante de Planck, f representa la frecuencia (hertz), c la velocidad de la luz, y λ la longitud de onda (metros).

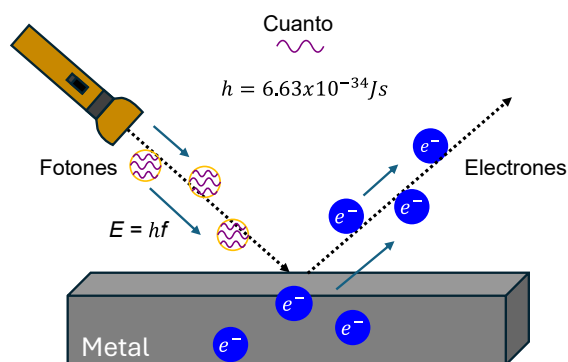


Fig. 9-P1. Diagrama del efecto fotoeléctrico, mostrando fotones individuales liberando electrones.

Esta hipótesis cuántica resolvió completamente las anomalías del efecto fotoeléctrico. Cada electrón se libera mediante absorción de un fotón individual, explicando por qué su energía cinética máxima depende de la frecuencia fotónica (energía individual) y no de la intensidad (número de fotones). La frecuencia umbral corresponde a la energía mínima necesaria para superar la función trabajo del metal (W_0), expresada como:

$$E_{\text{cinética}} = hf - W_0$$

La confirmación definitiva de la naturaleza corpuscular llegó con el efecto Compton (1923), donde Arthur Compton demostró que rayos X colisionan con electrones siguiendo exactamente las leyes de conservación de energía y momento para partículas, con cambio de frecuencia predecible según:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta)$$

donde λ' y λ son las longitudes de onda después y antes de la colisión, m_e es la masa del electrón, y θ el ángulo de dispersión.

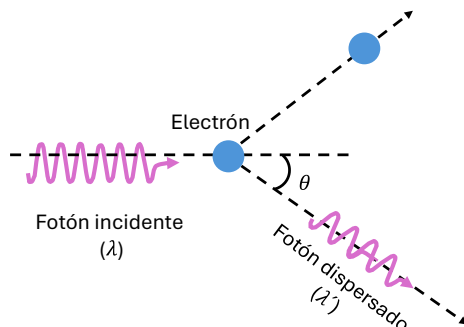


Fig. 10-P1. Efecto Compton, rayo X colisiona con electrón siguiendo la ley de conservación de la energía y el momento lineal.

La síntesis cuántica moderna establece que la luz posee dualidad onda-partícula: se comporta como onda en fenómenos de interferencia, difracción y polarización, pero como partícula en procesos de emisión, absorción e interacciones individuales. Esta dualidad no representa inconsistencia, sino una característica fundamental de la realidad microscópica que trasciende las categorías clásicas.

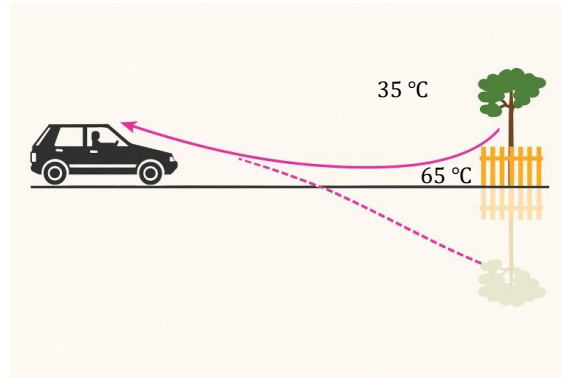
Esta comprensión dual fundamenta tecnologías contemporáneas. Los paneles fotovoltaicos que aprovechan nuestro privilegiado recurso solar funcionan mediante efecto fotoeléctrico, convirtiendo fotones directamente en corriente eléctrica. Los sensores de cámaras digitales registran fotones individuales, mientras que las comunicaciones por fibra óptica explotan propiedades ondulatorias. Las pantallas LED que observaste en el simulador operan mediante electroluminiscencia, donde electrones energizados emiten fotones de frecuencias específicas, conectando directamente con tu experiencia de combinación cromática RGB.

Esta revolución conceptual no solo resolvió contradicciones históricas, sino que inauguró la era de tecnologías cuánticas que define nuestra civilización contemporánea, desde computación hasta medicina de precisión.

4. Elaborar (Elaborate)

En esta fase, aplicarás los conocimientos adquiridos sobre la naturaleza de la luz en situaciones reales de tu entorno, integrando principios teóricos con contextos prácticos que fortalezcan tus habilidades de análisis crítico y resolución de problemas mediante la conexión directa con tu experiencia.

Ejercicio 1: Un estudiante, observa que durante los intensos veranos cuando la temperatura del asfalto alcanza 65°C donde su índice de refracción equivale a $n_1 = 1.00030$ mientras el aire permanece a 35°C su índice de refracción es de $n_2 = 1.00020$, frecuentemente aparecen espejismos en la carretera que parecen charcos de agua brillante su rayo incidente es $\theta = 75^{\circ}$. Intrigada por este fenómeno, decide investigar por qué estos “charcos” desaparecen cuando se acerca en su automóvil. ¿Cómo puede explicar este fenómeno utilizando los principios de refracción de la luz en medios no homogéneos?



Solución:

Análisis del proceso:

Los espejismos representan un fenómeno óptico fascinante que resulta de la refracción continua de la luz en gradientes de temperatura del aire. Cuando el asfalto se calienta intensamente bajo el sol, crea capas de aire con diferentes densidades: el aire cerca de la superficie caliente tiene menor densidad que el aire más frío en alturas superiores. Según la ley de Snell, la luz se refracta al pasar entre medios con diferentes índices de refracción, y como el índice de refracción del aire disminuye con la temperatura, los rayos luminosos se curvan progresivamente hacia arriba, creando una trayectoria parabólica que puede hacer que la imagen del cielo aparezca reflejada en el suelo, simulando una superficie líquida.

Identificación de los datos:

$$n_1 = 1.00030, n_2 = 1.00020 \text{ y } \theta_1 = 75^\circ.$$

Sustituciones y cálculos:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \Rightarrow \sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1$$

Esta pequeña pero significativa diferencia en el índice de refracción provoca que los rayos de luz provenientes del cielo se curven gradualmente hacia arriba siguiendo la ley de Snell:

$$\sin 75^\circ \approx 0.9659258$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{1.00030}{1.00020} \approx 1.00009998$$

$$\sin \theta_2 \approx 1.00009998 \times 0.9659258 \approx 0.9660224$$

Ahora procederemos a despejar el ángulo:

$$\theta_2 = \sin^{-1}(0.9660224)$$

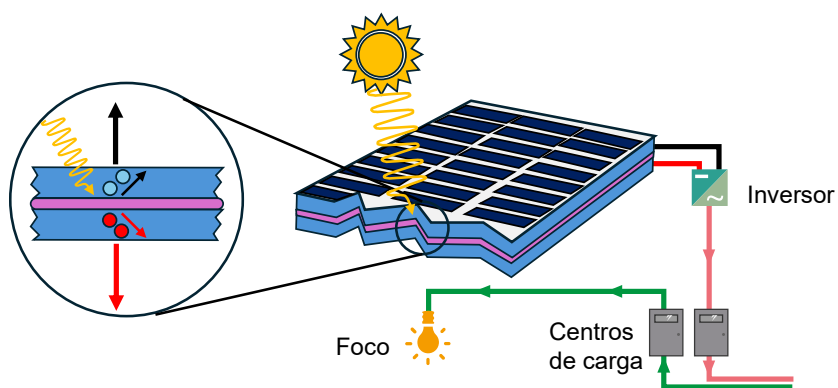
$$\theta_2 \approx 75.021^\circ$$

donde $n_1 > n_2$ (aire más frío tiene mayor índice que aire caliente), causando que $\theta_2 > \theta_1$, es decir, el rayo se aleja de la normal conforme desciende hacia el asfalto caliente.

Conclusión:

El espejismo desaparece cuando se acerca porque cambia su ángulo de observación y la distancia a la zona de gradiente térmico se reduce. Los rayos luminosos que experimentan mayor refracción son aquellos que viajan distancias mayores a través del gradiente, por lo que a distancias cortas el efecto se vuelve imperceptible.

Ejercicio 2: El ingeniero Roberto instala un sistema de paneles solares en una empresa pesquera para aprovechar la intensa radiación solar disponible. El panel solar recibe luz proveniente del Sol, podemos aproximar la radiación como una onda electromagnética de frecuencia $f = 5.50 \times 10^{14}$ Hz. Calcula la energía electromagnética de los fotones que inciden al panel solar.



Solución:

Análisis del proceso:

Este problema integra los conceptos fundamentales de la naturaleza corpuscular de la luz con la tecnología fotovoltaica contemporánea. Los paneles solares funcionan mediante el efecto fotoeléctrico explicado por Einstein, donde fotones individuales transfieren su energía a electrones en el material semiconductor, liberándolos para crear corriente eléctrica.

Identificación de los datos:

$$f = 5.50 \times 10^{14} \text{ Hz.}$$

Sustituciones y cálculos:

La energía cada fotón está dado por:

$$E = hf$$

El número de fotones incidentes por segundo se calcula dividiendo la potencia total entre la energía de cada fotón:

$$E = (6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})(5.50 \times 10^{14} \text{ Hz})$$

$$E = 3.65 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Conclusión:

Cada fotón que incide en el panel solar contiene una energía equivalente a $3.65 \times 10^{-19} \text{ J}$.

5. Evaluar (Evaluate)

En esta fase final, pondrás a prueba tu comprensión integral de la naturaleza de la luz mediante actividades que integran conceptos fundamentales, aplicaciones prácticas y reflexión crítica, desarrollando simultáneamente habilidades de autoevaluación de tu proceso de aprendizaje y transferencia de conocimientos a contextos nuevos.

5.1. Preguntas cualitativas

1. Explica por qué los atardeceres en las costas presentan colores rojizos y anaranjados más intensos que durante el mediodía, integrando los conceptos de dispersión atmosférica, longitudes de onda y el comportamiento ondulatorio de la luz.
2. Analiza cómo el desarrollo histórico de las teorías sobre la luz, desde los modelos griegos hasta la dualidad onda-partícula, refleja la evolución del método científico y la construcción del conocimiento.
3. Investiga un experimento sencillo utilizando materiales disponibles en tu entorno (espejos, agua, lentes, láser pointer, etc.) que permita demostrar simultáneamente las propiedades ondulatorias y corpusculares de la luz.
4. Evalúa la importancia de comprender la naturaleza dual de la luz para el desarrollo de tecnologías modernas presentes en tu vida cotidiana, como cámaras digitales, paneles solares, fibras ópticas y pantallas LED.
5. Propón una explicación integrada de por qué los espejismos son más frecuentes en las carreteras durante los días más calurosos del verano.

5.2. Problemas cuantitativos

1. Calcula la energía de un fotón de luz azul con longitud de onda $\lambda = 450 \text{ nm}$. Si ahora se cambia por luz roja con $\lambda = 700 \text{ nm}$, calcula la energía para esta longitud de onda.

Respuesta: $4.4 \times 10^{-19} \text{ J}$, $2.8 \times 10^{-19} \text{ J}$.

2. Un metal emite electrones solo cuando incide sobre él radiación de frecuencia mínima $f = 6.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$. Calcula longitud de onda umbral y determina la energía mínima de un fotón capaz de producir la emisión fotoeléctrica.

Respuesta: 500 nm , $4.0 \times 10^{-19} \text{ J}$.

3. Un rayo luminoso incide desde el aire hacia el agua con un ángulo de incidencia de 40° . Calcula el ángulo de refracción e indica si el rayo refractado se desvía hacia la normal o se aleja de ella.

Respuesta: 29° , se desvía hacia la normal.

4. La luz ultravioleta tiene longitudes de onda más cortas que la luz visible y, por tanto, mayor energía. Una lámpara emite radiación ultravioleta de $\lambda = 250 \text{ nm}$. Calcula la energía de un fotón emitido por esta lámpara. Determina cuántos fotones se requieren para entregar $1.0 \times 10^{-3} \text{ J}$.

Respuesta: $8.0 \times 10^{-19} \text{ J}$, 1.3×10^{15} fotones.

5. Un metal requiere una energía mínima de 4.0×10^{-19} J para liberar electrones. Calcula la frecuencia de umbral necesaria y determina la longitud de onda máxima de la luz capaz de producir el efecto fotoeléctrico.

Respuesta: 6.0×10^{14} Hz, 497 nm.

CÁPSULA SEMANAL

2

Asesoría presencial grupal (APG)	Asesorías personalizadas o por equipo (AP)	Autoestudio (AUTE)
1 hora	1 hora	2 hora

Cápsula Semanal 2: Fundamentos de las ondas y su relación con la luz

Progresión de Aprendizaje 2
Establecer los fundamentos ondulatorios de la luz mediante la comparación sistemática entre ondas mecánicas y electromagnéticas. Analizar las magnitudes características que definen el comportamiento ondulatorio, estableciendo las particularidades de la propagación electromagnética como fenómeno independiente de medios materiales.
Metas de aprendizaje
CC. Distinguir las características ondulatorias de la luz y su naturaleza electromagnética.
CT1. Reconocer patrones en las magnitudes ondulatorias y su interrelación.
CT3. Aplicar mediciones de período, frecuencia y longitud de onda en contextos experimentales.
CT6. Comparar la estructura y función de ondas mecánicas versus electromagnéticas.
Concepto central
CC. Óptica
Conceptos transversales
CT1. Patrones
CT3. Medición
CT6. Estructura y función

1. Introducción General

Las ondas constituyen uno de los fenómenos más fascinantes y omnipresentes en la naturaleza, manifestándose desde las olas del mar hasta la luz que nos permite ver el mundo. Durante esta progresión de aprendizaje, explorarás experimentalmente las propiedades fundamentales de las ondas mediante simulaciones interactivas, analizarás las magnitudes que caracterizan su comportamiento y establecerás las diferencias cruciales entre ondas mecánicas y electromagnéticas. Esta comprensión te permitirá explicar fenómenos cotidianos como el arcoíris después de la lluvia, el funcionamiento de las telecomunicaciones y la propagación de la luz solar a través del espacio vacío, desarrollando habilidades de observación, análisis y pensamiento crítico esenciales para comprender los principios ópticos.

2. Empezar (Engage) y Explorar (Explore)

En esta fase inicial, actuarás como investigador de los fenómenos ondulatorios, manipulando variables experimentales mediante simulaciones virtuales para observar patrones de comportamiento y construir explicaciones fundamentadas sobre las características que definen la naturaleza ondulatoria de la luz.

Actividad práctica: Exploración interactiva de ondas y sus propiedades

Objetivo: Investigar experimentalmente las magnitudes características de ondas mecánicas y electromagnéticas mediante la manipulación sistemática de frecuencia y amplitud en un simulador virtual, para establecer comparaciones entre diferentes tipos de ondas y comprender sus patrones de propagación.

Contexto científico:

Las ondas constituyen fenómenos físicos fundamentales que transmiten energía a través de diferentes medios sin transporte de materia. El simulador PhET reproduce con precisión el comportamiento ondulatorio en agua, aire y vacío, permitiendo visualizar directamente conceptos como frecuencia, amplitud, longitud de onda y velocidad de propagación. Esta herramienta funciona como un laboratorio controlado donde puedes modificar parámetros específicos y observar inmediatamente sus efectos, facilitando la comprensión de relaciones matemáticas complejas mediante representaciones gráficas dinámicas. Su valor pedagógico radica en la capacidad de experimentar con condiciones ideales y medir magnitudes que en experimentos reales requieren equipos especializados.

Enlace Web:

<https://phet.colorado.edu/es/simulations/waves-intro>

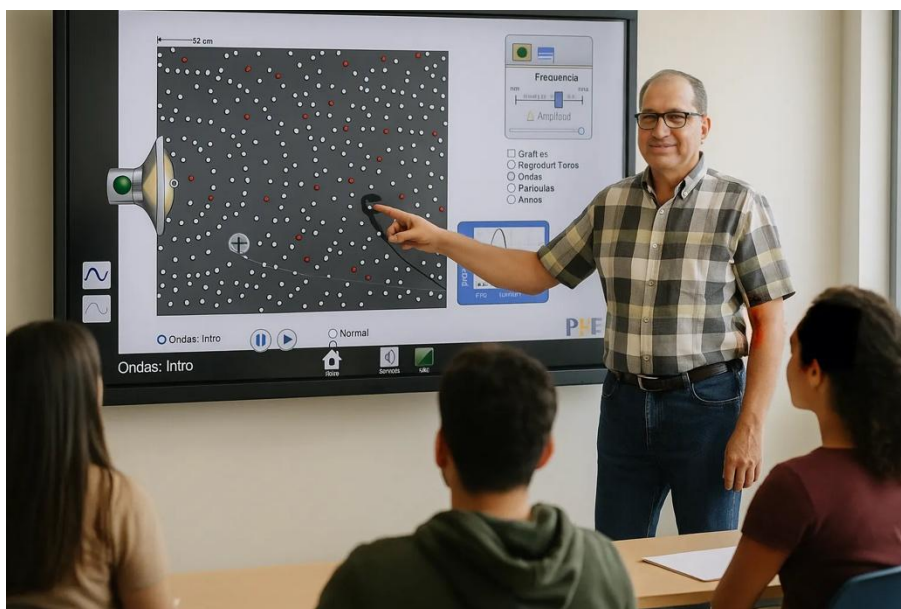


Fig. 1-P2. Simulador virtual, la transmisión energía a través de diferentes medios. Fuente: PhET Interactive Simulations.

Procedimiento:

Inicia seleccionando el modo “Agua” y activa la generación de ondas presionando el botón verde del grifo. Observa cómo se forman círculos concéntricos que se expanden desde el punto de origen. Utiliza el deslizador de “Frecuencia” para aumentar y disminuir la velocidad de generación de ondas, notando cómo cambia la separación entre círculos consecutivos (longitud de onda).

Modifica la “Amplitud” usando el segundo deslizador y observa cómo la intensidad visual de las ondas cambia sin afectar su espaciado. Activa la casilla “Gráficas” para visualizar simultáneamente el perfil ondulatorio en una gráfica de “Nivel del Agua vs. Posición”, donde puedes medir directamente la longitud de onda entre crestas.

Cambia al modo “Sonido” y repite las manipulaciones de frecuencia y amplitud. Observa que las ondas sonoras se representan como patrones radiales en escala de grises. Utiliza la opción “Reproducir Tono” para escuchar cómo la frecuencia se relaciona con el tono audible. Experimenta con las visualizaciones “Ondas”, “Partículas” y “Ambos” para comprender cómo las moléculas del aire transmiten la energía sonora.

Selecciona el modo “Luz” y observa la escala nanométrica (500 nm) comparada con los centímetros del agua y sonido. Utiliza el control de frecuencia representado por el espectro de colores para cambiar desde rojo hasta violeta, notando la relación directa entre frecuencia y color percibido. Coloca detectores en diferentes posiciones arrastrándolos sobre la pantalla y observa en la gráfica “Campo Eléctrico vs. Tiempo” cómo varía la señal electromagnética.

Utiliza la opción “Lento” en cada modo para observar detalladamente la propagación temporal. Mide las longitudes de onda usando las escalas proporcionadas y calcula mentalmente cómo se relacionan con las frecuencias establecidas, preparándote para aplicar la ecuación $v = \lambda f$ en análisis posteriores.

Preguntas guía:

1. ¿Qué diferencias fundamentales observas entre la propagación de ondas en agua, sonido y luz?
2. ¿Cómo se manifiesta la relación inversa entre frecuencia y longitud de onda en cada tipo de onda simulada?
3. ¿Qué patrones consistentes identificas en el comportamiento energético de las ondas al modificar su amplitud?

3. Explicar (Explain)

En esta fase, construirás el marco teórico que da sentido científico a tus observaciones del simulador, desarrollando conceptualmente los principios ondulatorios mediante explicaciones estructuradas que conectan directamente con tus descubrimientos experimentales.

3.2. Fundamentos de las ondas y su relación con la luz

Los patrones que observaste en el simulador revelan principios físicos universales. La forma en que las ondas se propagaban en agua, sonido y luz sigue reglas matemáticas precisas que ahora exploraremos sistemáticamente.

3.2.1. Concepto físico de onda: comparación entre ondas mecánicas y electromagnéticas en contextos familiares

¿Recuerdas cómo en el simulador las ondas de agua se expandían circularmente sin que el agua se moviera hacia los lados? Este comportamiento ilustra el concepto fundamental de onda: la propagación de una perturbación que transmite energía sin transporte neto de materia.

Las ondas mecánicas, como las que experimentaste en los modos “Agua” y “Sonido”, necesitan obligatoriamente un medio material para existir. En el agua, las moléculas oscilan verticalmente mientras la energía viaja horizontalmente. En el sonido, las moléculas del aire se comprimen y expanden alternadamente, creando variaciones de presión que se propagan como ondas.

Ahora considera lo que observaste en el modo “Luz” del simulador. Las ondas electromagnéticas funcionan de manera radicalmente diferente. No requieren ningún medio material porque consisten en campos eléctricos y magnéticos que se generan mutuamente mientras oscilan perpendiculares entre sí.

Esta diferencia fundamental explica observaciones cotidianas: ¿por qué puedes ver las estrellas pero no escucharlas? Porque la luz puede viajar a través del vacío espacial, pero el sonido necesita aire u otro medio material para propagarse.

La representación que viste en el simulador, donde aparecían dos ondas perpendiculares (campos eléctrico y magnético), ilustra esta naturaleza autosostenida de las ondas electromagnéticas.

3.2.2. Magnitudes características de las ondas: período, frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación

Durante tus experimentos con el simulador, manipulaste variables que corresponden a magnitudes físicas específicas. Analicemos sistemáticamente estas propiedades cuantificables.

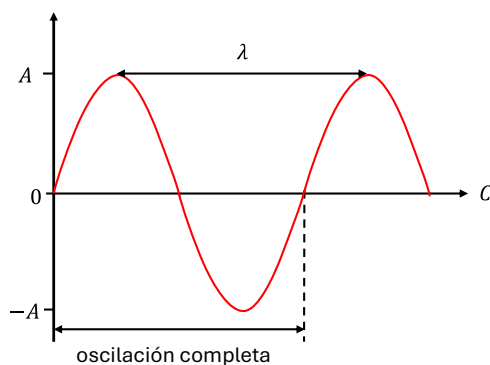


Fig. 2-P2. El gráfico para un movimiento oscilatorio.

El período (T) es el tiempo que tarda una oscilación completa. La frecuencia (f) cuenta cuántas oscilaciones ocurren por segundo. Estas magnitudes se relacionan inversamente:

$$f = \frac{1}{T}$$

donde f se expresa en hertz (Hz) y T en segundos (s). ¿Notaste que al aumentar la frecuencia en el simulador, las oscilaciones se volvían más rápidas? Esto confirma que mayor frecuencia significa menor período.

La longitud de onda (λ) es la distancia entre dos crestas consecutivas, tal como pudiste medir visualmente en el simulador. La velocidad de propagación (v) indica qué tan rápido avanza la perturbación.

Estas cuatro magnitudes se conectan mediante la ecuación fundamental:

$$v = \lambda f$$

donde v se mide en metros por segundo (m/s), λ en metros (m) y f en hertz (Hz). Esta relación significa que si aumentas la frecuencia manteniendo constante la velocidad, necesariamente disminuye la longitud de onda.

¿Recuerdas que cuando modificabas la frecuencia en el simulador, las ondas se “comprimían” o “estiraban”? Esto demuestra experimentalmente la relación $v = \lambda f$.

Para las ondas electromagnéticas, esta ecuación toma una forma especial. En el vacío, todas las ondas electromagnéticas viajan a la misma velocidad: la velocidad de la luz ($c = 3.00 \times 10^8$ m/s). Por tanto:

$$c = \lambda f$$

Esta constancia de la velocidad implica que frecuencia y longitud de onda son inversamente proporcionales para todas las radiaciones electromagnéticas.

3.2.3. Propagación de ondas electromagnéticas: particularidades de la luz como fenómeno no mecánico

El modo “Luz” del simulador reveló características únicas de las ondas electromagnéticas. Analicemos estas particularidades que distinguen la luz de las ondas mecánicas.

Naturaleza transversal: Los campos eléctrico y magnético oscilan perpendicularmente tanto entre sí como respecto a la dirección de propagación. Esta geometría específica produce fenómenos como la polarización, que explica el funcionamiento de lentes de sol polarizados.

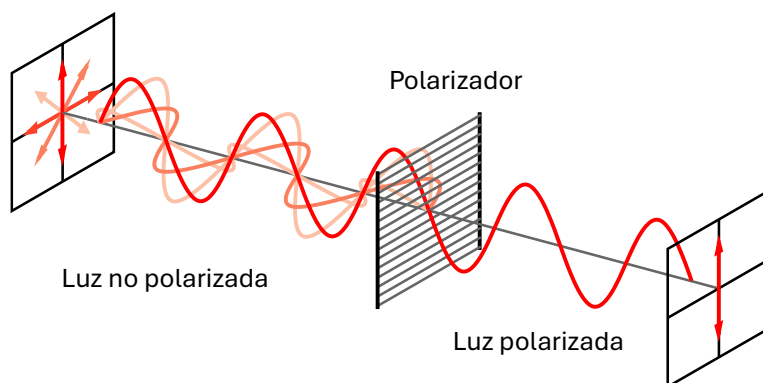


Fig. 3-P2. Fenómenos de la polarización.

Dispersión cromática: Aunque en el simulador la velocidad parecía constante, en medios materiales como el vidrio, diferentes frecuencias (colores) viajan a velocidades

ligeramente distintas. Este efecto, conocido como dispersión, causa la separación de colores en prismas y explica la formación natural del arcoíris.

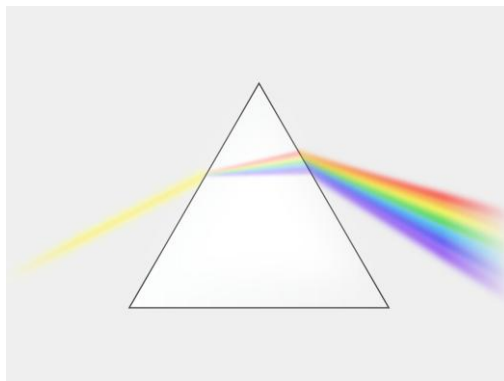


Fig. 4-P2. Efecto de dispersión, la causa de la separación de colores en un prisma.

Espectro electromagnético: La luz visible que observaste en el simulador representa solo una pequeña fracción del espectro electromagnético total. La radiación electromagnética abarca desde ondas de radio (longitudes de onda de kilómetros) hasta rayos gamma (longitudes de onda subatómicas).

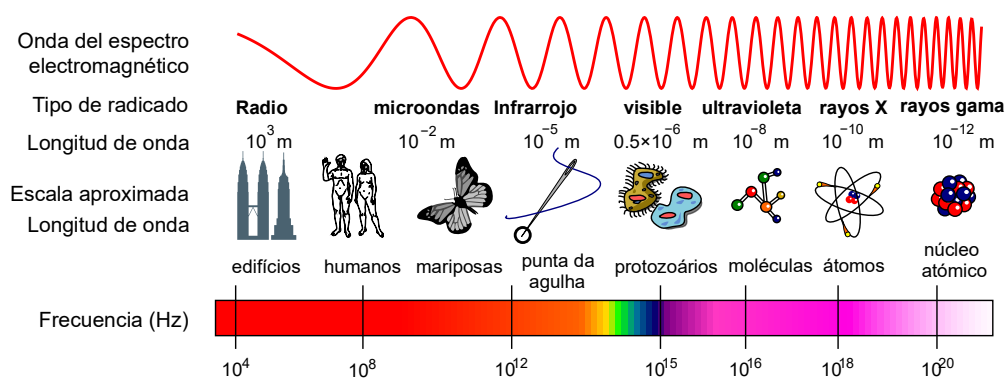


Fig. 5-P2. Espectro electromagnético con escala aproximada de la longitud de onda.

La ecuación $c = \lambda f$ conecta todo este espectro: las ondas de radio FM (~ 100 MHz) tienen longitudes de onda de aproximadamente 3 metros, mientras que la luz verde (~ 550 nm) tiene una frecuencia de 5.45×10^{14} Hz.

Independencia del medio: La capacidad de propagación en el vacío permite aplicaciones cruciales como comunicaciones satelitales, observación astronómica y transmisión de energía solar. Esta característica distingue fundamentalmente las ondas electromagnéticas de las mecánicas.

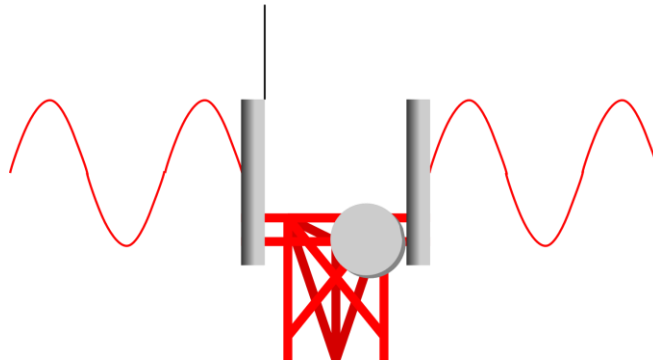
¿Cómo conecta esto con tu experiencia diaria? Los teléfonos celulares, sistemas GPS, controles remotos y microondas utilizan diferentes regiones del espectro electromagnético, todas siguiendo los mismos principios que observaste en el simulador, pero con frecuencias y aplicaciones específicas.

4. Elaborar (Elaborate)

En esta fase, aplicarás los conocimientos adquiridos sobre ondas electromagnéticas y sus magnitudes características en situaciones reales del entorno, fortaleciendo tus

habilidades de análisis cuantitativo, resolución de problemas contextualizada y pensamiento crítico mediante la transferencia de conceptos teóricos a aplicaciones prácticas.

Ejercicio 1: Una estación de radio comercial, Radio Pacífico 94.7 FM, transmite señales electromagnéticas a una frecuencia de 94.7 MHz. Considerando que todas las ondas electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz en el aire, determina la longitud de onda de esta transmisión radial.



Solución:

Análisis del proceso:

Este problema aplica directamente la ecuación fundamental de las ondas electromagnéticas establecida en la fase Explicar. Las ondas de radio, aunque no visibles, siguen los mismos principios que la luz visible, propagándose a la velocidad constante de la luz en el aire. La relación inversa entre frecuencia y longitud de onda permite calcular las dimensiones características de la onda, información crucial para el diseño de antenas receptoras eficientes y la planificación de sistemas de telecomunicaciones.

Identificación de los datos:

$$f = 94.7 \text{ MHz} = 94.7 \times 10^6 \text{ Hz y } c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s.}$$

Sustituciones y cálculos:

Aplicando la ecuación fundamental para ondas electromagnéticas:

$$c = \lambda f$$

Despejando la longitud de onda:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Sustituyendo los valores numéricos:

$$\lambda = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{94.7 \times 10^6 \text{ Hz}}$$

$$\lambda = \frac{3.00 \times 10^8}{9.47 \times 10^7} \text{ m} = 3.17 \text{ m}$$

Conclusión:

La longitud de onda de Radio Pacífico 94.7 FM es de 3.17 m, lo que explica por qué las antenas de radio FM típicamente tienen dimensiones comparables a esta magnitud para optimizar la recepción de señales.

Ejercicio 2: Un estudiante realiza un proyecto sobre comunicaciones inalámbricas se utiliza un láser rojo que emite luz con una longitud de onda de 10×10^{-5} metros. Para completar su análisis teórico, necesita determinar la frecuencia de esta radiación electromagnética y compararla con la frecuencia de una señal de telefonía celular que opera a 1.8 GHz, calculando la relación entre ambas frecuencias.



Solución:

Análisis del proceso:

Este problema integra múltiples conceptos de la progresión de aprendizaje: la aplicación de la ecuación fundamental de ondas electromagnéticas, el manejo de diferentes unidades del espectro electromagnético, y el análisis comparativo entre distintos tipos de radiación. La resolución requiere conversiones de unidades apropiadas y el establecimiento de relaciones cuantitativas entre frecuencias de diferentes regiones espectrales, demostrando la universalidad de los principios ondulatorios.

Identificación de los datos:

$\lambda_{\text{luz}} = 10 \times 10^{-5} \text{ m}$, $f_{\text{celular}} = 1.8 \text{ GHz} = 1.8 \times 10^9 \text{ Hz}$ y $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$.

Sustituciones y cálculos:

Primero calculamos la frecuencia del láser rojo usando $c = \lambda f$:

$$f_{\text{luz}} = \frac{c}{\lambda_{\text{luz}}} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{10 \times 10^{-5} \text{ m}}$$
$$f_{\text{luz}} = \frac{3.00 \times 10^8}{10 \times 10^{-5}} \text{ Hz} = 3.0 \times 10^{12} \text{ Hz}$$

Para establecer la relación entre frecuencias:

$$\frac{f_{\text{luz}}}{f_{\text{celular}}} = \frac{3.0 \times 10^{12} \text{ Hz}}{1.8 \times 10^9 \text{ Hz}} = 1.67 \times 10^3$$

Conclusión:

La frecuencia del láser es de 3.0×10^{12} Hz, aproximadamente 1,700 veces mayor que la frecuencia de la señal celular.

5. Evaluar (Evaluate)

En esta fase final, demostrarás la integración de tus conocimientos sobre ondas electromagnéticas mediante actividades evaluativas que combinan comprensión conceptual, aplicación práctica y reflexión crítica sobre tu proceso de aprendizaje, consolidando tu capacidad para explicar fenómenos ondulatorios en contextos diversos.

5.1. Preguntas cualitativas

1. Después de experimentar con el simulador de ondas, explica detalladamente por qué las ondas de radio pueden recibirse en regiones montañosas remotas, mientras que los sonidos de las ciudades no se perciben en esas mismas ubicaciones.
2. Investiga un experimento sencillo que podrías realizar en casa para reproducir el fenómeno del arcoíris.
3. Un ingeniero de telecomunicaciones planea instalar una nueva antena de radio para mejorar la cobertura de señales FM. Indaga qué consideraciones debe tomar en cuenta respecto a las dimensiones de la antena y su orientación.
4. Compara y contrasta el comportamiento de las ondas sísmicas que ocasionalmente afectan las costas con las ondas electromagnéticas utilizadas en las comunicaciones satelitales.
5. Propón una explicación científica detallada de por qué los lentes de sol polarizados son particularmente efectivos para reducir el deslumbramiento al pescar en las costas.

5.2. Problemas cuantitativos

1. Una empresa de telecomunicaciones utiliza microondas de 2.4 GHz para enlaces de comunicación. Calcula la distancia que recorren estas ondas en 0.5 segundos.

Respuesta: 1.5×10^8 m.

2. El Observatorio Astronómico detecta radiación infrarroja con longitud de onda de 10 μm proveniente de una estrella. Determina la frecuencia de esta radiación.

Respuesta: 3.0×10^{13} Hz.

3. Una estación de radio universitaria transmite a 88.1 MHz con longitud de onda de 3.4 m. Verifica si estos valores son consistentes calculando la velocidad.

Respuesta: 3.0×10^8 m/s

4. Un láser médico en el Hospital emite pulsos de luz verde con frecuencia de 5.45×10^{14} Hz. Calcula la longitud de onda de esta radiación.

Respuesta: 5.5×10^{-7} m.

5. Los radares meteorológicos del SMN utilizan ondas de 5.6 GHz para detectar precipitaciones. Determina la longitud de onda y el período de estas ondas.

Respuestas: $\lambda = 0.054$ m, $T = 1.8 \times 10^{-10}$ s.

CÁPSULA SEMANAL

3

Asesoría presencial grupal (APG)	Asesorías personalizadas o por equipo (AP)	Autoestudio (AUTE)
1 hora	1 hora	2 hora

Cápsula Semanal 3: El espectro electromagnético y sus manifestaciones

Progresión de Aprendizaje 3
Caracterizar el espectro electromagnético completo, enfatizando la región visible y sus manifestaciones cromáticas. Analizar la relevancia de la radiación ultravioleta en el contexto geográfico, evaluando su impacto ambiental y sus aplicaciones prácticas en sectores productivos como la agricultura y la pesca.
Metas de aprendizaje
CC. Clasificar las regiones del espectro electromagnético y sus propiedades distintivas.
CT1. Identificar patrones en la relación longitud de onda-percepción cromática.
CT5. Examinar los flujos de energía electromagnética en aplicaciones agrícolas y pesqueras.
CT6. Evaluar la estructura y función de diferentes regiones espectrales en aplicaciones tecnológicas.
CT7. Investigar la estabilidad y cambio en los efectos de la radiación UV en ecosistemas locales.
Concepto central
CC. Óptica
Conceptos transversales
CT1. Patrones
CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía
CT6. Estructura y función
CT7. Estabilidad y cambio

1. Introducción General

Esta cápsula semanal te guiará a través del fascinante mundo del espectro electromagnético, desde las ondas de radio hasta los rayos gamma, con especial énfasis en la luz visible y la radiación ultravioleta. A través de simulaciones interactivas, experimentos conceptuales y análisis de situaciones cotidianas, desarrollarás habilidades para identificar patrones espectrales, comprender los flujos de energía electromagnética

y evaluar aplicaciones tecnológicas en sectores productivos locales. Esta experiencia integrará observación directa, análisis cuantitativo y reflexión crítica para fortalecer tu pensamiento científico.

2. Empezar (Engage) y Explorar (Explore)

En esta fase inicial, asumirás el rol de investigador para manipular variables del espectro electromagnético, observar comportamientos ondulatorios y construir explicaciones fundamentadas sobre las propiedades de la radiación electromagnética mediante simulaciones interactivas.

Actividad práctica: Explorando las ondas electromagnéticas

Objetivo: Investigar la relación entre frecuencia, longitud de onda y energía de las ondas electromagnéticas mediante la manipulación de parámetros en un simulador virtual para comprender la naturaleza unificada del espectro electromagnético.

Contexto científico:

Las ondas electromagnéticas constituyen un fenómeno fundamental que unifica radiaciones aparentemente diferentes, desde las ondas de radio hasta los rayos gamma. En el simulador virtual, podrás manipular la frecuencia de una onda electromagnética y observar cómo se modifican simultáneamente su longitud de onda, velocidad de propagación y características energéticas. Esta representación digital permite visualizar conceptos que serían imposibles de observar directamente, como la propagación de campos eléctricos y magnéticos perpendiculares que oscilan en fase. El simulador funciona como un laboratorio conceptual donde las leyes de Maxwell cobran vida, mostrando cómo la variación temporal de un campo eléctrico genera un campo magnético variable, y viceversa, propagándose a través del espacio a la velocidad de la luz.

Enlace Web:

<https://www.educaplus.org/game/onda-electromagnetica>

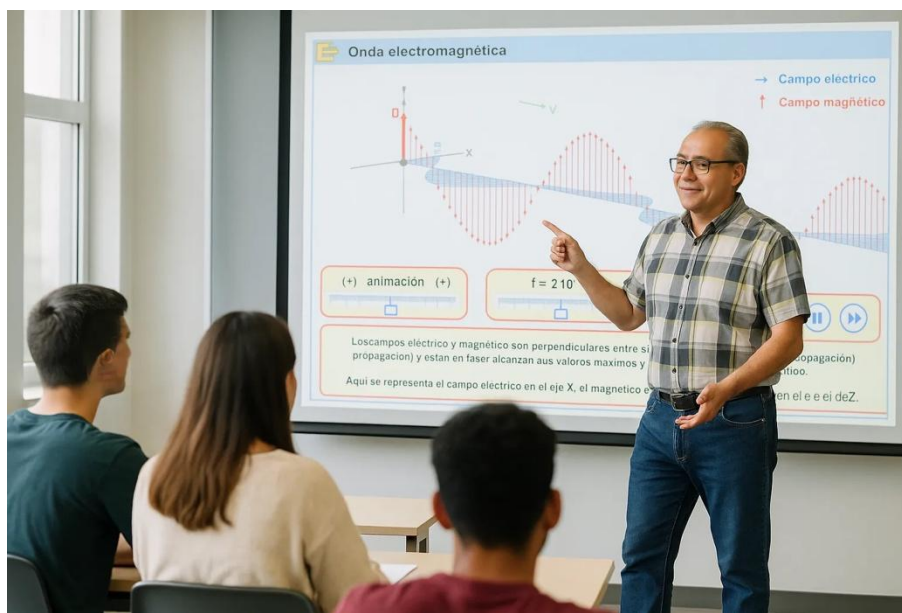


Fig. 1-P3. Simulador virtual de ondas electromagnéticas. Fuente: educaplus.

Procedimiento:

Accede al simulador y familiarízate con la interfaz, identificando los controles para modificar la frecuencia de la onda electromagnética. Observa la representación visual de los campos eléctrico (generalmente en rojo) y magnético (generalmente en azul), notando su orientación perpendicular y su propagación sincronizada.

Configura la frecuencia en el valor mínimo disponible y registra la longitud de onda correspondiente que se muestra en pantalla. Incrementa gradualmente la frecuencia en intervalos regulares, anotando cómo varía la longitud de onda y observando el cambio en la velocidad aparente de oscilación de los campos.

Experimenta con frecuencias que correspondan a diferentes regiones del espectro electromagnético: ondas de radio (frecuencias bajas), microondas, radiación infrarroja, luz visible y radiación ultravioleta (frecuencias altas).

Observa cómo la energía transportada por la onda se relaciona con su frecuencia mediante $E = hf$, donde $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ es la constante de Planck. Nota que frecuencias más altas corresponden a mayor contenido energético por fotón.

Preguntas guía:

1. ¿Cómo se modifica la longitud de onda cuando aumentas la frecuencia de la onda electromagnética?
2. ¿Qué diferencias observas en la representación de ondas de baja frecuencia (ondas de radio) comparadas con ondas de alta frecuencia (radiación ultravioleta)?
3. ¿De qué manera la variación en la frecuencia de las ondas electromagnéticas explica por qué percibimos diferentes colores en la luz?

3. Explicar (Explain)

En esta fase, profundizarás en los conceptos fundamentales del espectro electromagnético retomando las observaciones realizadas en el simulador, mediante explicaciones estructuradas que conecten teoría con experiencia práctica y discusiones científicas rigurosas.

3.3. El espectro electromagnético y sus manifestaciones

El espectro electromagnético representa el conjunto completo de radiaciones electromagnéticas organizadas según su frecuencia y longitud de onda. Como observaste en el simulador, todas estas radiaciones comparten la misma naturaleza ondulatoria y se propagan a la velocidad de la luz en el vacío, diferenciándose únicamente en su energía y capacidad de interacción con la materia. Esta comprensión unificada permite explicar fenómenos tan diversos como la comunicación por radio, la percepción visual del color y los efectos biológicos de la radiación solar.

3.3.1. Componentes del espectro: desde ondas de radio hasta rayos gamma, con énfasis en la región visible

El espectro electromagnético abarca más de veinte órdenes de magnitud en frecuencia, desde las ondas de radio de frecuencias extremadamente bajas hasta los rayos gamma de

energías extraordinarias. En el extremo de baja frecuencia encontramos las ondas de radio y televisión, con longitudes de onda que pueden alcanzar varios kilómetros, utilizadas diariamente en las estaciones de radio para transmitir información a través de grandes distancias. A medida que aumenta la frecuencia, encontramos las microondas, empleadas en hornos domésticos y comunicaciones satelitales, seguidas por la radiación infrarroja que percibimos como calor del sol en las playas.

La región visible del espectro, que experimenta directamente como luz, ocupa una franja extremadamente estrecha entre aproximadamente 400 y 700 nanómetros de longitud de onda. Esta región corresponde a las frecuencias para las cuales nuestros ojos han evolucionado como detectores, optimizados para aprovechar la radiación solar más intensa que llega a la superficie terrestre. La relación fundamental que observaste en el simulador se expresa mediante $c = \lambda f$. Esta ecuación explica por qué las ondas de radio de baja frecuencia (60 Hz) tienen longitudes de onda enormes (5000 km), mientras que los rayos gamma poseen longitudes de onda menores que el tamaño de un átomo.

James Clerk Maxwell predijo teóricamente en 1865 la existencia de ondas electromagnéticas, demostrando que la luz es una manifestación de este fenómeno. Heinrich Hertz confirmó experimentalmente esta predicción en 1888, generando y detectando ondas de radio en su laboratorio. Posteriormente, Wilhelm Röntgen descubrió los rayos X en 1895, y Paul Villard identificó los rayos gamma en sustancias radioactivas, completando gradualmente nuestro mapa del espectro electromagnético.

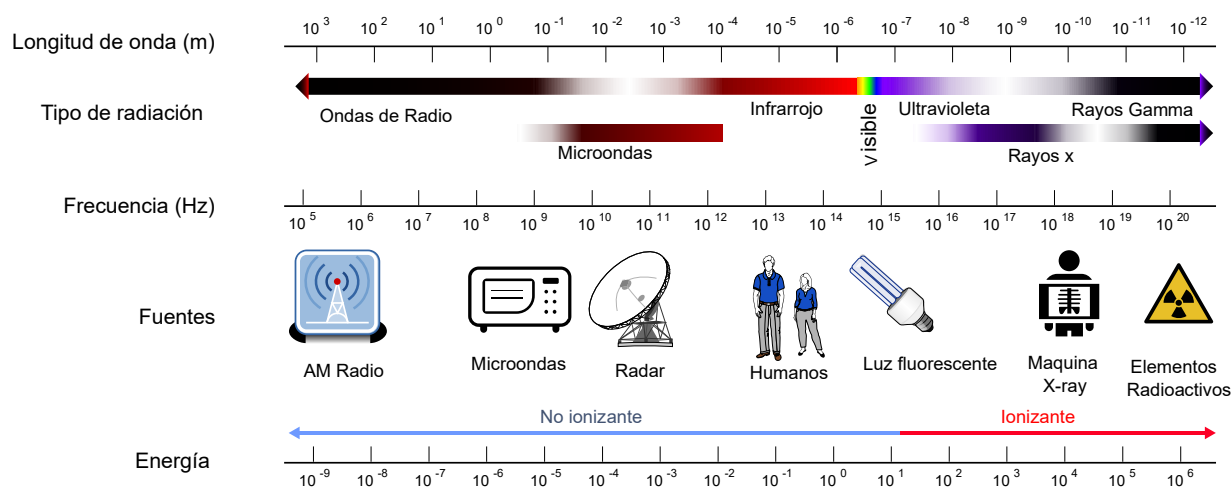


Fig. 2-P3. Diagrama del espectro electromagnético mostrando frecuencias, longitudes de onda y aplicaciones típicas.

3.3.2. Características de la luz visible: relación entre longitud de onda y percepción de color

La luz visible representa menos del 1% del espectro electromagnético total, pero constituye la ventana a través de la cual percibimos el mundo cromático que nos rodea. Esta riqueza espectral en los amaneceres dorados sobre el mar, el verde intenso de los campos de cultivo y el azul profundo del cielo despejado. Cada color corresponde a un rango específico de longitudes de onda, como demostró Isaac Newton en 1666 al descomponer la luz blanca mediante un prisma.

La correspondencia entre longitud de onda y color se establece de la siguiente manera: el violeta ocupa el rango de 400 a 436 nm, el añil de 436 a 450 nm, el azul de 450 a 495 nm, el verde de 495 a 566 nm, el amarillo de 566 a 589 nm, el naranja de 589 a 627 nm, y el rojo de 627 a 700 nm. Esta división, aunque convencional, refleja la sensibilidad de nuestro sistema visual y la respuesta de diferentes tipos de células fotorreceptoras en la retina.

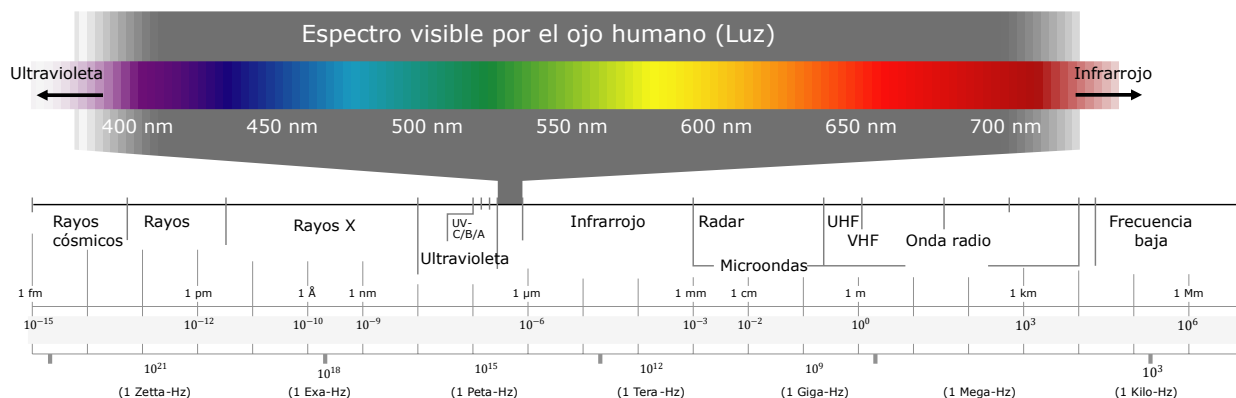


Fig. 3-P3. Diagrama del espectro electromagnético resaltando el espectro visible por el ojo humano.

El color que percibimos de un objeto no es una propiedad intrínseca del objeto mismo, sino el resultado de su interacción con la luz incidente. Cuando la luz solar, que contiene todas las longitudes de onda visibles, incide sobre una superficie, esta absorbe selectivamente ciertas longitudes de onda y refleja otras. Las longitudes de onda reflejadas determinan el color percibido. Por ejemplo, una hoja de maíz parece verde porque sus pigmentos (principalmente clorofilas) absorben eficientemente la luz roja y azul para realizar fotosíntesis, pero reflejan la luz verde.

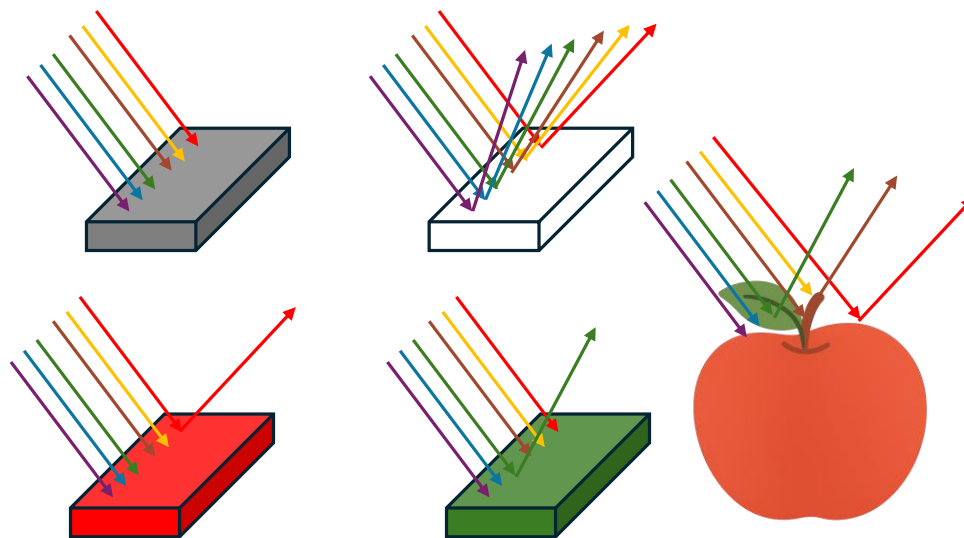


Fig. 4-P3. Fenómeno de absorción y reflexión de la luz visible.

La energía transportada por cada fotón de luz visible se relaciona con su frecuencia mediante la ecuación de Planck:

$$E = hf$$

donde E representa la energía del fotón en joules, $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ es la constante de Planck, y f es la frecuencia en hertz. Esto significa que un fotón de luz violeta (frecuencia alta) transporta aproximadamente el doble de energía que un fotón de luz roja (frecuencia baja), explicando por qué la radiación de alta frecuencia puede inducir reacciones fotoquímicas que la luz roja no puede provocar.

Fotón	Cuanto
	
$E = hf$	$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$

Fig. 5-P3. Representación de un cuanto y un fotón.

3.3.3. Radiación ultravioleta: impacto ambiental y aplicaciones prácticas

La radiación ultravioleta (UV) se extiende inmediatamente más allá del violeta visible, abarcando longitudes de onda desde aproximadamente 10 hasta 400 nanómetros. Con su intensa radiación solar y extensas actividades al aire libre, comprender la radiación UV es fundamental para la protección de la salud y el aprovechamiento de sus propiedades beneficiosas. Aunque invisible a nuestros ojos, sus efectos son evidentes en el bronceado de la piel, la desinfección natural del agua en estanques expuestos al sol, y el crecimiento optimizado de ciertos cultivos.

La radiación UV se clasifica en tres categorías según su energía: UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm), y UVC (100-280 nm). La capa de ozono estratosférica absorbe prácticamente toda la radiación UVC y gran parte de la UVB, actuando como un filtro protector esencial. La radiación UV incide con considerable intensidad los días de verano, especialmente durante las horas centrales del día y en superficies reflectantes como el agua del mar y la arena de las playas.

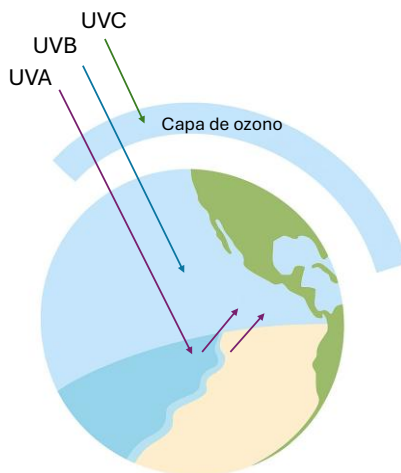


Fig. 6-P3. Comportamiento de la radiación ultravioleta al pasar por la atmosfera terrestre.

La alta energía de los fotones UV permite romper enlaces químicos en moléculas orgánicas, incluyendo el ADN celular.

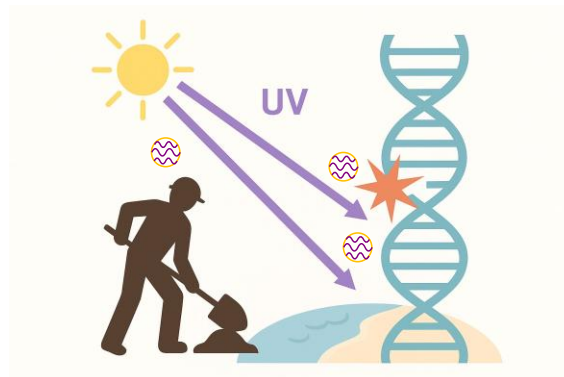


Fig. 7-P3. Representación de fotones rompiendo enlaces del ADN.

Esta capacidad se puede calcular utilizando la ecuación de energía mínima para disociar un enlace:

$$E_{\text{mín}} = hf_{\text{mín}}$$

donde $E_{\text{mín}}$ representa la energía de enlace de la molécula objetivo. Por ejemplo, para romper un enlace en una molécula de ADN se requiere una energía aproximada de $6.2 \times 10^{-19} \text{ J}$, lo que corresponde a una frecuencia mínima de $9.4 \times 10^{14} \text{ Hz}$, ubicada en la región UVB del espectro.

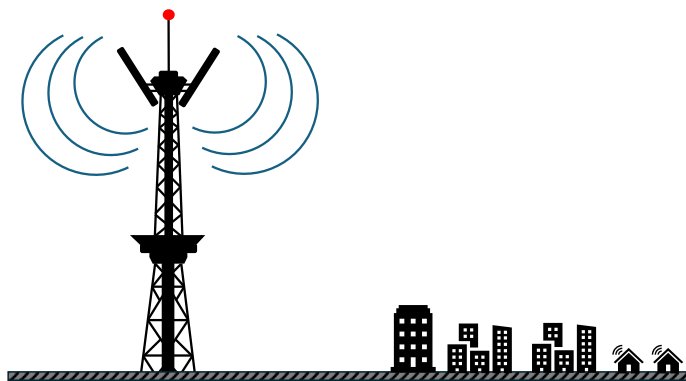
En la agricultura, la radiación UV presenta efectos duales. Por un lado, estimula la síntesis de compuestos fenólicos en las plantas, mejorando su resistencia a plagas y incrementando sus propiedades antioxidantes, lo que es particularmente valioso en cultivos como el tomate y los chiles que se exportan con altos estándares de calidad. Por otro lado, la exposición excesiva puede dañar los tejidos vegetales, reducir la eficiencia fotosintética y afectar el rendimiento de los cultivos.

En las actividades pesqueras, los trabajadores experimentados han desarrollado estrategias empíricas de protección UV, utilizando ropa de manga larga de colores claros que reflejan la radiación, sombreros de ala ancha y gafas con filtros UV. Estas medidas se basan en principios físicos sólidos: los materiales claros reflejan más radiación que los oscuros, y los filtros UV selectivos bloquean las longitudes de onda dañinas mientras permiten el paso de la luz visible necesaria para la visión.

4. Elaborar (Elaborate)

En esta fase, aplicarás los conocimientos adquiridos sobre el espectro electromagnético en situaciones reales del contexto que conecten con tu entorno cotidiano, fortaleciendo habilidades de pensamiento crítico, resolución de problemas y análisis reflexivo mediante casos auténticos.

Ejercicio 1: Una estación de radio comercial transmite en la frecuencia de 98.5 MHz ($98.5 \times 10^6 \text{ Hz}$) para alcanzar toda la región metropolitana. Los ingenieros necesitan calcular la longitud de onda de esta señal para diseñar antenas eficientes y determinar su alcance óptimo. ¿Cuál es la longitud de onda de la señal de radio transmitida?



Solución:

Análisis del proceso:

Este problema aplica directamente la relación fundamental entre velocidad, frecuencia y longitud de onda que observaste en el simulador de ondas electromagnéticas. Las ondas de radio, como cualquier radiación electromagnética, se propagan a la velocidad de la luz en el vacío y siguen la ecuación $c = \lambda f$. En el diseño de antenas de radiocomunicación, la longitud de onda determina las dimensiones óptimas de la antena, ya que para una recepción eficiente, la antena debe tener dimensiones comparables a la longitud de onda de la señal.

Identificación de los datos:

$$f = 98.5 \text{ MHz} = 98.5 \times 10^6 \text{ Hz.}$$

Sustituciones y cálculos:

Aplicando la ecuación fundamental $c = \lambda f$ y despejando la longitud de onda:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Sustituyendo los valores numéricos:

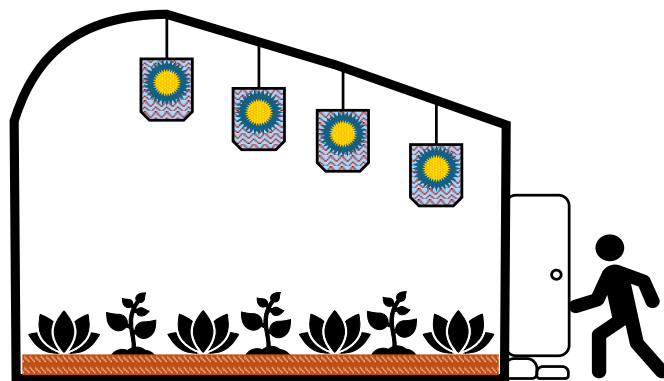
$$\lambda = \frac{3.0 \times 10^8 \text{ m/s}}{98.5 \times 10^6 \text{ Hz}} = 3.05 \text{ m}$$

Este resultado indica que la longitud de onda de la señal de radio es aproximadamente 3 metros.

Conclusión:

La longitud de onda de 3.05 metros explica por qué las antenas de radio FM tienen dimensiones del orden de metros, no centímetros como las antenas de telefonía celular que operan en frecuencias más altas.

Ejercicio 2: Un invernadero tecnificado utiliza lámparas LED especializadas que emiten luz azul de 450 nm de longitud de onda para optimizar el crecimiento vegetativo de plántulas de tomate. Los agrónomos necesitan determinar la frecuencia y la energía por fotón de esta radiación para calcular la potencia lumínica requerida y comparar la eficiencia energética con otras tecnologías de iluminación. Considera que cada plántula requiere un flujo de 10^{15} fotones por segundo para su desarrollo óptimo. ¿Cuál es la frecuencia de la luz azul emitida y la potencia mínima requerida por plántula?



Solución:

Análisis del proceso:

Este problema integra los conceptos de relación frecuencia-longitud de onda y energía por fotón que exploraste en las fases anteriores. La optimización del crecimiento vegetal mediante iluminación LED se basa en que las plantas tienen picos de absorción específicos en ciertas longitudes de onda. La luz azul (450 nm) corresponde a uno de los máximos de absorción de la clorofila, siendo especialmente eficiente para promover el crecimiento vegetativo. El cálculo de la potencia permite evaluar el costo energético y la viabilidad económica de esta tecnología en la agricultura.

Identificación de los datos:

$\lambda = 450 \text{ nm} = 450 \times 10^{-9} \text{ m}$ y $N = 10^{15} \text{ fotones/s}$. L

Sustituciones y cálculos:

Primero calculamos la frecuencia usando

$$f = \frac{c}{\lambda}; f = \frac{3.0 \times 10^8 \text{ m/s}}{450 \times 10^{-9} \text{ m}} = 6.67 \times 10^{14} \text{ Hz}.$$

Luego determinamos la energía por fotón:

$$E = hf = (6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})(6.67 \times 10^{14} \text{ Hz}) = 4.42 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Finalmente, calculamos la potencia mínima multiplicando la energía por fotón por el flujo de fotones:

$$P = E \times N = (4.42 \times 10^{-19} \text{ J})(10^{15} \text{ fotones/s}) = 4.42 \times 10^{-4} \text{ W} = 0.442 \text{ mW}.$$

Conclusión:

La luz azul de 450 nm tiene una frecuencia de $6.67 \times 10^{14} \text{ Hz}$ y cada plántula requiere una potencia mínima de 0.442 mW para su crecimiento óptimo.

5. Evaluar (Evaluate)

En esta fase final, pondrás a prueba tus conocimientos sobre el espectro electromagnético mediante actividades de evaluación que integren comprensión conceptual, aplicación práctica y reflexión crítica, fomentando también la revisión de tu propio proceso de aprendizaje científico.

5.1. Preguntas cualitativas

1. Explica como funcionan los filtros de los celulares para que personas al lado no puedan observar las conversaciones.
2. Analiza por qué las antenas de telefonía celular tienen dimensiones mucho menores que las antenas de radio AM.
3. Evalúa por qué los invernaderos tecnificados utilizan cubiertas plásticas que filtran selectivamente ciertas longitudes de onda de la radiación solar.
4. ¿Cómo explicas que el cielo se observe azul durante el mediodía, pero adquiera tonalidades rojizas al amanecer y atardecer?
5. Indaga una estrategia para aprovechar diferentes regiones del espectro electromagnético en una operación acuícola.

5.2. Problemas cuantitativos

1. Una empresa de telecomunicaciones instala antenas que operan en 2.4 GHz para servicios de internet inalámbrico. ¿Cuál es la longitud de onda de esta señal?

Respuesta: 0.125 m.

2. Un sistema de desinfección UV para plantas purificadoras de agua en comunidades rurales utiliza lámparas que emiten radiación de 254 nm. ¿Cuál es la energía por fotón de esta radiación UV?

Respuesta: 7.8×10^{-19} J.

3. En un laboratorio de biotecnología marina se utiliza luz verde de 520 nm para estudiar fluorescencia en microalgas. Si el flujo de fotones está dado por 5×10^{14} fotones/s. ¿Cuál es la potencia óptica del haz láser utilizado?

Respuesta: 1.91×10^{-4} W.

4. Una estación meteorológica mide radiación solar con un sensor que detecta el rango visible completo (400-700 nm). ¿Cuál es la diferencia de frecuencia entre los extremos azul y rojo del espectro visible?

Respuesta: 3.21×10^{14} Hz.

5. Un sistema de iluminación LED para cultivo de chiles en invernadero combina luz roja (660 nm) y azul (450 nm) con igual número de fotones por segundo. ¿Cuál es la diferencia de potencia consumida entre ambos colores?

Respuesta: 2.0×10^{-3} W.

CÁPSULA SEMANAL

4

Asesoría presencial grupal (APG)	Asesorías personalizadas o por equipo (AP)	Autoestudio (AUTE)
1 hora	1 hora	2 hora

Cápsula Semanal 4: Propagación rectilínea de la luz y sus implicaciones

Progresión de Aprendizaje 4
Demostrar el principio de propagación rectilínea de la luz mediante el análisis de fenómenos cotidianos como la formación de sombras y el funcionamiento de cámaras oscuras. Examinar las mediciones históricas de la velocidad lumínica y su relevancia en las comunicaciones contemporáneas, clasificando los medios ópticos según sus propiedades de transmisión.
Metas de aprendizaje
CC. Aplicar el principio de propagación rectilínea en la explicación de fenómenos ópticos básicos.
CT2. Analizar la causa y efecto en la formación de sombras y penumbras.
CT3. Realizar mediciones relacionadas con la velocidad de la luz y sus aplicaciones tecnológicas.
CT4. Modelar la propagación lumínica como sistema de transmisión de información.
CT6. Clasificar medios ópticos según su estructura y función transmisiva.
Concepto central
CC. Óptica
Conceptos transversales
CT2. Causa y efecto
CT3. Medición
CT4. Sistemas
CT6. Estructura y función

1. Introducción General

Esta cápsula te guiará en el descubrimiento de la propagación rectilínea de la luz, un fenómeno que observas diariamente. A través de experimentos virtuales, actividades prácticas y análisis de situaciones cotidianas, explorarás cómo se forman las sombras, funcionan las cámaras oscuras, y por qué la velocidad de la luz es fundamental para las comunicaciones modernas. Desarrollarás habilidades de observación, medición y análisis

crítico mientras construyes una comprensión sólida de los principios ópticos que explican desde los eclipses hasta las tecnologías de fibra óptica que conectan nuestras comunidades.

2. Empezar (Engage) y Explorar (Explore)

En esta fase inicial, asumirás el rol de investigador para explorar activamente el comportamiento de la luz mediante experimentos virtuales y observaciones sistemáticas. Manipularás variables relacionadas con fuentes luminosas y objetos opacos, observarás la formación de imágenes y construirás explicaciones fundamentadas sobre los fenómenos ópticos que experimentas cotidianamente en tu entorno.

Actividad práctica: Explorando la refracción lumínica con diferentes materiales transparentes.

Objetivo: Investigar cómo la luz se comporta al atravesar materiales transparentes con diferentes índices de refracción, comparando vidrio y cristal, para descubrir las relaciones entre las propiedades ópticas de los materiales y la desviación de los rayos luminosos en medios homogéneos.

Contexto científico:

El simulador de la bola de cristal te permite explorar el principio de propagación rectilínea y el fenómeno de refracción simultáneamente. Cuando la luz pasa de un medio a otro con diferente índice de refracción, se desvía siguiendo la ley de Snell, pero continúa propagándose en línea recta dentro de cada medio homogéneo. El simulador modela una esfera transparente que puede estar hecha de vidrio ($n = 1.52$) o cristal ($n = 1.46$), permitiendo comparar cómo estas diferencias en el índice de refracción afectan las trayectorias de los rayos luminosos. La utilidad de este modelo radica en visualizar conceptos abstractos como la refracción, que normalmente son invisibles, facilitando la comprensión de cómo las propiedades microscópicas de los materiales determinan el comportamiento macroscópico de la luz.

Enlace Web:

https://javalab.org/en/crystal_ball_en/



Fig. 1-P4. Simulador virtual sobre el fenómeno de refracción. Fuente: javalab.org.

Procedimiento:

Accede al simulador y observa la configuración inicial, donde aparece una esfera gris en el centro de la pantalla con rayos de luz incidiendo desde la izquierda. Identifica los controles en la parte inferior que te permiten seleccionar entre dos materiales diferentes.

Selecciona primero la opción “con 1.52” que corresponde al vidrio con ese índice de refracción. Observa cuidadosamente la trayectoria del rayo de luz: cómo entra a la esfera, su comportamiento dentro del material, y la dirección en que sale. Nota que la luz se desvía al entrar y salir de la esfera, pero mantiene trayectorias rectilíneas dentro del vidrio.

Cambia ahora al material “con 1.46” que representa un cristal con índice de refracción antes mencionado. Compara las trayectorias de los rayos con las observadas anteriormente en el vidrio. Identifica las diferencias en la desviación de la luz y relaciona estos cambios con los valores numéricos de los índices de refracción de cada material.

Preguntas guía:

1. Compara las trayectorias de los rayos luminosos en el vidrio ($n = 1.52$) versus el cristal ($n = 1.46$).
2. Describe cómo se mantiene el principio de propagación rectilínea dentro de cada medio homogéneo, a pesar de que los rayos se desvían al cambiar de un material a otro, y relaciona esto con las observaciones de sombras nítidas que puedes ver en tu entorno cotidiano.
3. Basándote en tus observaciones, predice qué ocurriría con la trayectoria de la luz si tuvieras un material con un índice de refracción aún mayor (por ejemplo, $n = 1.8$).

3. Explicar (Explain)

En esta fase, profundizarás en los conceptos fundamentales de la óptica geométrica, integrando las observaciones realizadas en el simulador con explicaciones científicas estructuradas. Mediante discusiones guiadas y análisis conceptual, formalizarás tu comprensión sobre la propagación rectilínea de la luz, las mediciones históricas de su velocidad y la clasificación de medios ópticos según sus propiedades de transmisión.

3.4. Propagación rectilínea de la luz y sus implicaciones

La luz, como fenómeno electromagnético, exhibe comportamientos complejos que pueden explicarse mediante diferentes modelos según la escala de observación. En el contexto de la óptica geométrica, el modelo de rayos luminosos permite explicar numerosos fenómenos cotidianos mediante el principio fundamental de propagación rectilínea: en medios homogéneos y transparentes, la luz viaja en línea recta a velocidad constante. Este principio, que experimentaste directamente en el simulador virtual al observar las trayectorias lineales de los rayos luminosos, constituye la base para comprender desde la formación de sombras hasta el funcionamiento de sofisticados instrumentos ópticos utilizados en medicina, astronomía y telecomunicaciones. La progresión conceptual que desarrollaremos parte de tus observaciones experimentales

para construir un marco teórico sólido que explique tanto fenómenos cotidianos como aplicaciones tecnológicas avanzadas.

3.4.1. Principio de propagación rectilínea: sombras, penumbras y formación de imágenes en cámaras oscuras

El principio de propagación rectilínea establece que la luz se desplaza en trayectorias lineales cuando atraviesa medios homogéneos, comportamiento que confirmaste experimentalmente en el simulador virtual al observar que los rayos luminosos mantienen trayectorias perfectamente rectas tanto en el vidrio como en el cristal. Esta característica es evidente en múltiples situaciones observables: las sombras bien definidas que proyectan los árboles bajo el intenso sol del mediodía, los rayos de luz que penetran por las ventanas en habitaciones con polvo suspendido, o la imposibilidad de ver objetos ubicados detrás de obstáculos opacos. Históricamente, este principio fue reconocido desde la antigüedad, siendo formalizado por Euclides en el siglo III a.n.e., aunque probablemente era utilizado empíricamente por diversas culturas anteriores.

La propagación rectilínea explica la formación de sombras mediante un mecanismo geométrico simple: cuando un objeto opaco se interpone entre una fuente luminosa y una superficie receptora, los rayos de luz que inciden sobre el objeto son bloqueados, creando una región de ausencia de luz llamada sombra. En el caso de fuentes luminosas puntuales, se forma una sombra nítida con bordes bien definidos. Sin embargo, cuando la fuente es extensa, como el Sol, se generan dos regiones diferenciadas: la umbra o sombra total, donde la luz es completamente bloqueada, y la penumbra, región parcialmente iluminada donde solo algunos rayos alcanzan la superficie.

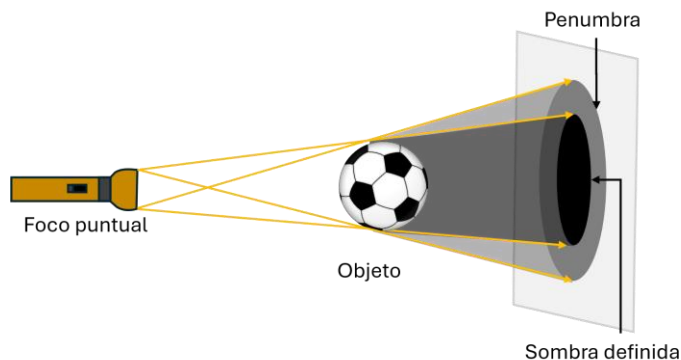


Fig. 2-P4. Diagrama mostrando la formación de umbra y penumbra con una fuente extensa.

Los eclipses solares constituyen manifestaciones espectaculares de este principio. Durante un eclipse, la Luna actúa como objeto opaco interpuesto entre el Sol y la Tierra, proyectando su sombra sobre regiones específicas de nuestro planeta. Los observadores ubicados en la umbra experimentan un eclipse total, mientras que aquellos en la penumbra observan un eclipse parcial. La ecuación que relaciona las dimensiones de la sombra con las características geométricas del sistema es:

$$\frac{d_s}{D} = \frac{d_o}{D - L}$$

donde d_s representa el diámetro de la sombra, D el diámetro de la fuente luminosa, d_o el diámetro del objeto opaco y L la distancia entre la fuente y el objeto.

La cámara oscura ejemplifica de manera contundente la propagación rectilínea de la luz. Este dispositivo, consistente en una caja con un pequeño orificio en una de sus caras, forma una imagen invertida del exterior en la pared opuesta. El fenómeno se explica mediante el principio de que cada punto del objeto exterior emite rayos luminosos en todas las direcciones, pero solo uno de estos rayos pasa a través del orificio para proyectarse en un punto específico de la pantalla. La inversión de la imagen resulta del cruzamiento de los rayos luminosos al atravesar el orificio.

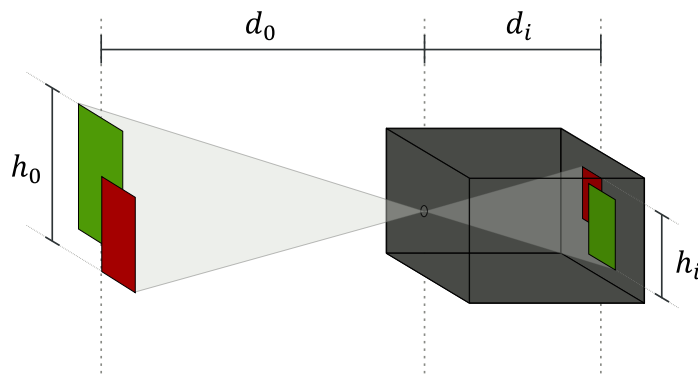


Fig. 3-P4. Corte transversal de una cámara oscura mostrando el trazado de rayos desde un objeto exterior hasta la formación de la imagen invertida

3.4.2. Velocidad de la luz: mediciones históricas y su relevancia en comunicaciones modernas

La velocidad de la luz en el vacío, denotada universalmente como c , representa una constante fundamental de la naturaleza con valor $c = 2.998 \times 10^8$ m/s, frecuentemente aproximado como 3.00×10^8 m/s para cálculos prácticos. La determinación precisa de este valor constituyó uno de los desafíos científicos más significativos de la historia, requiriendo el desarrollo de técnicas experimentales innovadoras y sofisticados análisis teóricos.

Galileo Galilei realizó los primeros intentos sistemáticos de medición hacia 1638, utilizando linternas y colaboradores ubicados en colinas distantes. Aunque su método era conceptualmente válido, la velocidad de la luz resultó excesivamente alta para la resolución temporal disponible en esa época. El primer éxito cuantitativo lo logró Olaus Rømer en 1676, mediante observaciones astronómicas de los eclipses de Ío, una de las lunas de Júpiter. Rømer notó variaciones sistemáticas en los tiempos de los eclipses según la posición orbital de la Tierra, concluyendo que estas discrepancias resultaban del tiempo finito requerido para que la luz viajara distancias variables entre Júpiter y la Tierra.

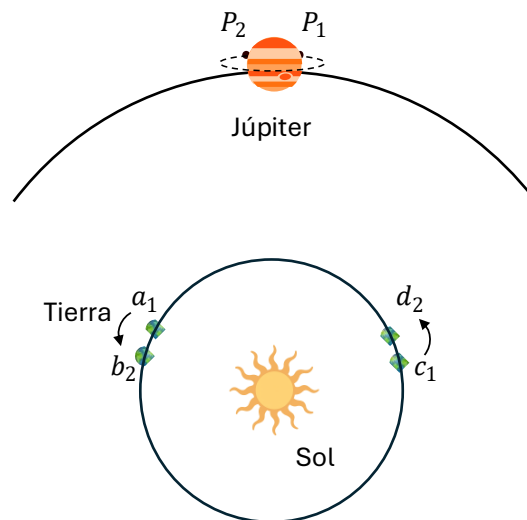


Fig. 4-P4. Demostración de Olaus Rømer al medir la velocidad de la luz mediante observaciones astronómicas de los eclipses de Ío, una de las lunas de Júpiter

En 1849, Armand Fizeau desarrolló el primer método terrestre exitoso, utilizando una rueda dentada giratoria y un espejo ubicado a 8.6 km de distancia. Su técnica consistía en hacer pasar un haz de luz entre los dientes de la rueda giratoria, dirigirlo hacia el espejo distante y medir la velocidad de rotación necesaria para que la luz reflejada pasara por el siguiente espacio entre dientes. Este experimento proporcionó un valor de 3.13×10^8 m/s, notablemente cercano al valor actualmente aceptado.

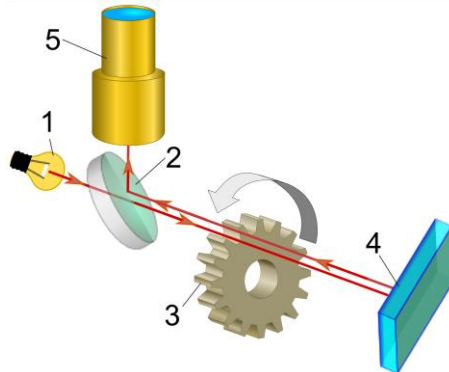


Fig. 5-P4. Esquema del experimento de Fizeau mostrando la rueda dentada y el espejo distante.

La constancia de la velocidad de la luz, independiente del movimiento de la fuente o el observador, constituye un pilar fundamental de la teoría de la relatividad especial de Einstein. Esta característica única tiene implicaciones prácticas directas en tecnologías modernas. En el sistema GPS, por ejemplo, los relojes atómicos de los satélites deben sincronizarse considerando tanto los efectos relativistas como los retrasos en la transmisión de señales.

La relación fundamental entre distancia, velocidad y tiempo se expresa mediante:

$$d = ct$$

Esta ecuación explica por qué las comunicaciones satelitales experimentan retrasos perceptibles. Una señal dirigida a un satélite geoestacionario, ubicado aproximadamente a 35,786 km de altura, requiere:

$$t = \frac{2 \times 35,786 \times 10^3 \text{ m}}{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}} \approx 0.24 \text{ s}$$

para completar el viaje de ida y vuelta, generando el retraso característico en las comunicaciones internacionales vía satélite.

En las telecomunicaciones por fibra óptica, utilizadas extensivamente en las redes de comunicación que conectan las ciudades, la velocidad efectiva de la luz se reduce debido al índice de refracción del material. En fibras de vidrio típicas, con $n \approx 1.46$, la velocidad se convierte en $v = c/n \approx 2.05 \times 10^8 \text{ m/s}$, lo que debe considerarse en el diseño de sistemas de comunicación de alta velocidad.

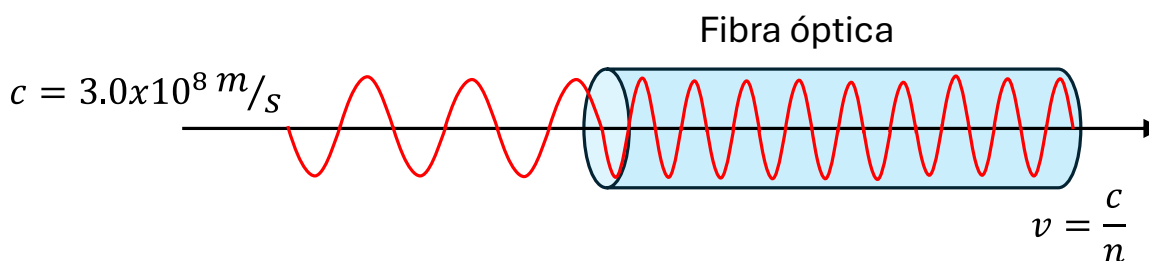


Fig. 6-P4. Reducción de la velocidad al cambiar el medio por donde se propaga la luz.

3.4.3. Clasificación de medios ópticos: transparentes, translúcidos y opacos en materiales cotidianos

Los materiales exhiben comportamientos diversos frente a la radiación luminosa, clasificándose según sus propiedades de transmisión en tres categorías fundamentales: transparentes, translúcidos y opacos. Esta clasificación refleja los mecanismos microscópicos mediante los cuales los fotones interactúan con la estructura atómica y molecular de los materiales.

Los medios transparentes, como el vidrio de alta calidad o el agua destilada, permiten la transmisión de la luz con mínima absorción y dispersión. A nivel molecular, estos materiales poseen estructuras ordenadas donde los electrones no pueden absorber la energía de los fotones visibles, permitiendo su paso prácticamente inalterado.

Los medios translúcidos, ejemplificados por el vidrio esmerilado, el papel pergamino o el plástico texturizado, transmiten la luz pero la dispersan debido a irregularidades microscópicas en su estructura. Estas irregularidades, del orden de la longitud de onda de la luz visible (400-700 nm), provocan múltiples reflexiones y refracciones internas que destruyen la coherencia direccional de los rayos luminosos. Aunque la energía luminosa se transmite, la información espacial se pierde, impidiendo la formación de imágenes nítidas.

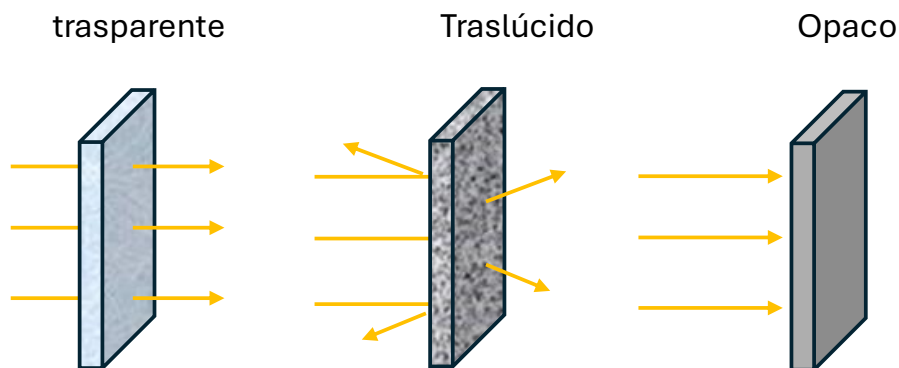


Fig. 7-P4. Comparación de la estructura de materiales transparentes, translúcidos y opacos.

Los medios opacos, incluyendo metales, maderas y la mayoría de materiales cerámicos, absorben o reflejan la mayor parte de la radiación incidente. En los metales, los electrones libres interactúan fuertemente con los fotones, absorbiendo su energía y reemitiéndola como calor. En materiales no metálicos, la absorción ocurre cuando la energía de los fotones coincide con las diferencias energéticas entre niveles electrónicos moleculares.

En el contexto cotidiano, estos principios tienen aplicaciones prácticas inmediatas. Los invernaderos agrícolas utilizan materiales transparentes para maximizar la transmisión de radiación solar, mientras emplean elementos translúcidos para difundir la luz y evitar puntos de concentración que podrían dañar los cultivos. Las viviendas incorporan ventanas transparentes para iluminación natural y cortinas translúcidas para privacidad manteniendo la entrada de luz.

El coeficiente de transmisión T cuantifica la fracción de luz incidente que atraviesa un material:

$$T = \frac{I_t}{I_0}$$

donde I_t es la intensidad transmitida e I_0 la intensidad incidente. Para materiales transparentes ideales, $T \approx 1$, mientras que para materiales opacos, $T \approx 0$.

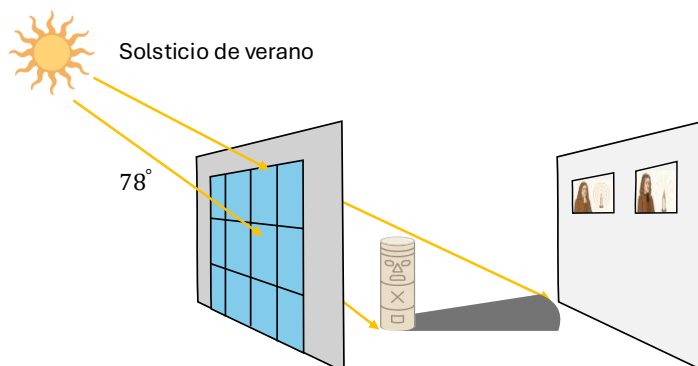
La comprensión de estas propiedades resulta esencial para aplicaciones tecnológicas locales, desde la selección de materiales para sistemas de iluminación eficiente hasta el diseño de estructuras arquitectónicas que optimicen el aprovechamiento de la luz solar en el clima, caracterizado por alta radiación solar durante la mayor parte del año.

4. Elaborar (Elaborate)

En esta fase, aplicarás los conocimientos adquiridos sobre propagación rectilínea de la luz en situaciones reales que conectan directamente con tu entorno. Mediante la resolución de problemas situados, fortalecerás tus habilidades de pensamiento crítico y análisis reflexivo, integrando los principios de geometría óptica, velocidad lumínica e índices de refracción con aplicaciones prácticas en contextos arquitectónicos y tecnológicos de tu región.

Ejercicio 1: En el diseño de una nueva biblioteca, se debe calcular las sombras que proyectará una columna cilíndrica decorativa de 3.2 m de altura durante el solsticio de verano, cuando el Sol alcanza su máxima elevación de 78° sobre el horizonte al mediodía.

La columna se ubicará a 12.0 m de la fachada sur del edificio, donde se planea instalar ventanales de cristal. Determina si la sombra interferirá con la iluminación natural del edificio.



Solución:

Análisis del proceso:

Este problema aplica directamente el principio de propagación rectilínea desarrollado en la sección 4.1, donde establecimos que la luz solar viaja en línea recta y, al encontrar objetos opacos como la columna, genera sombras cuya geometría puede calcularse mediante relaciones trigonométricas. La ecuación $L_s = h / \tan \theta$ permite determinar la longitud de la sombra proyectada, confirmando que la formación de sombras resulta de la propagación rectilínea de los rayos solares.

Identificación de los datos:

$h = 3.2 \text{ m}$, $\theta = 78^\circ$ y $d = 12.0 \text{ m}$.

Sustituciones y cálculos:

Aplicamos la ecuación de geometría de sombras desarrollada en la fase Explicar:

$$L_s = \frac{h}{\tan \theta} = \frac{3.2 \text{ m}}{\tan 78^\circ} = \frac{3.2 \text{ m}}{4.705} = 0.68 \text{ m}$$

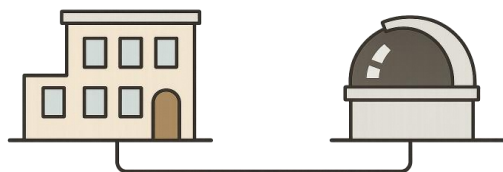
La sombra se extiende solamente 0.68 m desde la base de la columna, mientras que la distancia a la fachada es de 12.0 m. Por tanto, existe una separación de:

$$d_{\text{libre}} = 12.0 \text{ m} - 0.68 \text{ m} = 11.32 \text{ m}$$

Conclusión:

La sombra de la columna no interferirá con la iluminación natural de los ventanales, manteniendo una distancia libre de 11.32 m.

Ejercicio 2: Un instituto instala un sistema de comunicación por fibra óptica para conectar sus laboratorios de física con el observatorio astronómico universitario, separados por 8.5 km. El sistema utiliza fibra óptica de vidrio con índice de refracción $n = 1.48$ y requiere sincronización de relojes atómicos con precisión de microsegundos. Calcula el tiempo de propagación de las señales ópticas y determina si el sistema cumple con los requisitos de precisión temporal para experimentos de interferometría láser.



Solución:

Análisis del proceso:

Este problema integra los conceptos de velocidad de la luz (sección 4.2) y clasificación de medios ópticos (sección 4.3), aplicando la relación $v = \frac{c}{n}$ para determinar la velocidad efectiva en medios transparentes. La fibra óptica constituye un medio transparente homogéneo donde la luz se propaga rectilíneamente, pero a velocidad reducida respecto al vacío debido a su índice de refracción específico.

Identificación de los datos:

$$d = 8.5 \text{ km} = 8.5 \times 10^3 \text{ m y } n = 1.48,$$

Sustituciones y cálculos:

Calculamos primero la velocidad efectiva de la luz en la fibra óptica usando la relación desarrollada en la sección 4.3:

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{1.48} = 2.03 \times 10^8 \text{ m/s}$$

El tiempo de propagación para recorrer la distancia total se obtiene mediante la ecuación fundamental $d = vt$ desarrollada en la sección 4.2:

$$t = \frac{d}{v} = \frac{8.5 \times 10^3 \text{ m}}{2.03 \times 10^8 \text{ m/s}} = 4.19 \times 10^{-5} \text{ s} = 41.9 \mu\text{s}$$

Conclusión:

El tiempo de propagación de $41.9 \mu\text{s}$ es significativamente mayor que la precisión requerida de microsegundos para experimentos de interferometría. El sistema requiere calibración temporal que compense este retraso para mantener sincronización precisa entre laboratorios.

5. Evaluar (Evaluate)

En esta fase final, pondrás a prueba tus conocimientos sobre óptica mediante actividades de evaluación que integran comprensión conceptual, aplicación práctica y reflexión crítica. Estas actividades te permitirán demostrar tu dominio de los principios de propagación rectilínea, velocidad de la luz y clasificación de medios ópticos, mientras desarrollas habilidades de autoevaluación y pensamiento científico riguroso.

5.1. Preguntas cualitativas

1. Durante un eclipse solar total observado, explica científicamente por qué los observadores ubicados en la zona de umbra experimentan oscuridad total mientras que aquellos en la penumbra ven un eclipse parcial.
2. Analiza por qué las comunicaciones telefónicas vía satélite presentan un retraso perceptible de aproximadamente 0.5 segundos en conversaciones internacionales, mientras que las llamadas locales por fibra óptica son prácticamente instantáneas.
3. En los invernaderos agrícolas utilizan diferentes tipos de cubiertas: plástico transparente, mallas translúcidas y láminas opacas. Explica cómo cada tipo de material afecta la propagación de la luz solar.
4. ¿Por qué una cámara oscura casera construida con una caja de zapatos produce imágenes invertidas del exterior y qué evidencias proporciona este fenómeno para demostrar que la luz se propaga en línea recta?
5. Evalúa cómo los principios ópticos estudiados explican el fenómeno de la formación de sombras bajo el sol.

5.2. Problemas cuantitativos

1. Una antena de telefonía celular proyecta su sombra sobre un edificio cercano. Si la antena mide 35 m de altura y el Sol forma un ángulo de 60° con la horizontal, ¿cuál es la longitud de la sombra proyectada?

Respuesta: 20.2 m.

2. Un sistema de comunicación conecta dos ciudades mediante fibra óptica de 250 km de longitud. Si el índice de refracción de la fibra es 1.46, ¿cuánto tiempo requiere una señal para recorrer esta distancia?

Respuesta: 1.22 ms.

3. En un invernadero, una estructura de soporte circular de 40 cm de diámetro se ubica a 12 m de las plantas. Si el Sol está a 30° sobre el horizonte, ¿qué área de sombra circular se proyecta sobre el cultivo?

Respuesta: 0.126 m^2 .

4. Un técnico ajusta una cámara oscura turística con apertura de 2 mm para fotografiar paisajes ubicados a 50 m de distancia. Si la caja mide 30 cm de profundidad, ¿qué altura tendrá la imagen de una persona de 1.8 m en la pantalla de la cámara?

Respuesta: 10.8 mm.

5. Una señal de internet viaja desde ciudad hasta un servidor en situada en otro estado (distancia de 1,200 km) a través de fibra óptica con $n = 1.48$, y luego regresa. ¿Cuál es el tiempo total de ida y vuelta de la señal?

Respuesta: 11.8 ms.

CÁPSULA SEMANAL

5

Asesoría presencial grupal (APG)	Asesorías personalizadas o por equipo (AP)	Autoestudio (AUTE)
1 hora	1 hora	2 hora

Cápsula Semanal 5: Reflexión de la Luz

Progresión de Aprendizaje 5
Aplicar las leyes fundamentales de la reflexión luminosa en el análisis de superficies especulares y difusas presentes en entornos naturales y artificiales. Evaluar las aplicaciones prácticas de la reflexión en sistemas de seguridad vial y diseño arquitectónico, considerando las particularidades del contexto.
Metas de aprendizaje
CC. Dominar las leyes de la reflexión y sus aplicaciones en sistemas ópticos cotidianos.
CT2. Establecer relaciones causa-efecto entre ángulos de incidencia y reflexión.
CT3. Medir ángulos de reflexión en diferentes tipos de superficies.
CT6. Contrastar la estructura y función de superficies especulares versus difusas.
CT7. Evaluar la estabilidad y cambio en aplicaciones arquitectónicas bajo condiciones climáticas locales.
Concepto central
CC. Óptica
Conceptos transversales
CT2. Causa y efecto
CT3. Medición
CT6. Estructura y función
CT7. Estabilidad y cambio

1. Introducción General

La reflexión de la luz constituye un fenómeno óptico fundamental que experimentamos diariamente en múltiples contextos, desde observar nuestro reflejo en superficies acuáticas hasta aprovechar sistemas reflectantes en arquitectura bioclimática. Durante esta cápsula semanal, analizarás las leyes que rigen este fenómeno mediante experimentos virtuales y observaciones controladas, desarrollarás habilidades de medición angular y establecerás conexiones entre principios físicos y aplicaciones tecnológicas contemporáneas. Este conocimiento te permitirá comprender cómo la reflexión especular y difusa impacta en sistemas de seguridad vial, eficiencia energética

arquitectónica y diseño de dispositivos ópticos, fortaleciendo tu pensamiento científico y capacidad de análisis crítico.

2. Empezar (Engage) y Explorar (Explore)

En esta fase inicial, asumirás el rol de investigador óptico, manipulando variables como ángulos de incidencia, tipos de superficies reflectantes y características geométricas para observar patrones sistemáticos en el comportamiento luminoso y construir explicaciones fundamentadas sobre los mecanismos físicos que gobiernan la reflexión.

Actividad práctica: Investigación experimental de las leyes de reflexión

Objetivo: Investigar experimentalmente las relaciones angulares en procesos de reflexión especular mediante simulación interactiva que permite manipular directamente la fuente láser, medir ángulos con transportador virtual y analizar la distribución de energía luminosa entre rayos reflejados y refractados para establecer conexiones cuantitativas con las leyes geométricas de la reflexión.

Contexto científico:

La reflexión especular ocurre cuando la luz incide sobre interfaces entre medios transparentes diferentes, donde parte de la energía luminosa regresa al medio original siguiendo leyes geométricas precisas, mientras otra parte se transmite al segundo medio mediante refracción. Este comportamiento dual es característico de superficies como vidrios, agua tranquila, o cualquier interfaz óptica lisa donde ambos fenómenos coexisten simultáneamente. El simulador PhET reproduce estas condiciones utilizando un rayo láser virtual que puedes manipular directamente, permitiendo observar en tiempo real cómo se comportan los rayos reflejado y refractado al cambiar el ángulo de incidencia. La herramienta incluye un transportador integrado para mediciones precisas y un medidor de intensidad que cuantifica qué porcentaje de energía se refleja versus se refracta, proporcionando datos experimentales que puedes analizar para verificar las leyes fundamentales de reflexión sin las limitaciones de equipos físicos tradicionales.

Enlace Web:

<https://phet.colorado.edu/es/simulations/bending-light>



Fig. 1-P5. Simulador virtual la reflexión y refracción. Fuente: PhET Interactive Simulations.

Procedimiento:

Accede al simulador PhET “Bending Light” y selecciona la pestaña “Introducción” para trabajar con la configuración básica de reflexión y refracción. Asegúrate de que esté seleccionada la opción “Rayo” en lugar de “Onda” para visualizar trayectorias lineales claras. Activa la casilla “Normal” para mostrar la línea punteada vertical que servirá como referencia para medir todos los ángulos, y verifica que el transportador esté visible arrastrándolo si es necesario desde la parte inferior izquierda.

Configura el experimento estableciendo “Aire” en el medio superior y “Agua” en el medio inferior usando los paneles de material del lado derecho. Observa que el simulador muestra automáticamente tanto el rayo rojo incidente, el rayo rosa reflejado (que regresa al aire), como el rayo rojo refractado (que entra al agua). Para este experimento, concentra tu atención principalmente en el rayo reflejado menos visible que permanece en el medio superior.

Manipula directamente la fuente láser roja arrastrándola con el cursor para crear diferentes ángulos de incidencia. Comienza con un ángulo pequeño (aproximadamente 15°) y aumenta gradualmente hasta ángulos grandes (75°). Para cada posición, utiliza el transportador amarillo para medir con precisión tanto el ángulo de incidencia como el ángulo de reflexión, siempre tomando como referencia la línea normal (punteada vertical). Registra estos valores y observa el porcentaje de intensidad reflejada que aparece en el medidor verde.

Cambia el material del medio inferior a “Vidrio” y repite las mediciones con los mismos ángulos de incidencia, verificando si las relaciones angulares se mantienen constantes independientemente de los materiales involucrados. Presta atención especial a cómo cambia el porcentaje de energía reflejada (mostrado en el medidor de intensidad) conforme aumentas el ángulo de incidencia, y anota estos valores junto con tus mediciones angulares para analizar patrones.

Preguntas guía:

1. ¿Qué relación matemática específica observas entre los ángulos de incidencia y reflexión en todas tus mediciones, independientemente del material del medio inferior?
2. ¿Cómo varía el porcentaje de energía reflejada (mostrado por el medidor de intensidad) conforme aumentas el ángulo de incidencia?
3. ¿De qué manera la observación simultánea de reflexión y refracción en el simulador te ayuda a comprender fenómenos cotidianos como ver simultáneamente tu reflejo y objetos del interior a través de una ventana de vidrio?

3. Explicar (Explain)

En esta fase, profundizarás en los conceptos ópticos fundamentales retomando las observaciones experimentales previas, mediante explicaciones estructuradas que integran principios físicos, desarrollos matemáticos y aplicaciones contextuales para consolidar tu comprensión de los mecanismos que gobiernan la reflexión luminosa.

3.5. Reflexión de la luz: principios y aplicaciones prácticas

La reflexión de la luz constituye uno de los fenómenos ópticos más fundamentales y omnipresentes en nuestro entorno, manifestándose desde las interacciones cotidianas con espejos hasta aplicaciones tecnológicas sofisticadas en sistemas de comunicación por fibra óptica. Este fenómeno obedece a principios físicos precisos que pueden formularse mediante leyes matemáticas exactas, permitiendo predecir y controlar el comportamiento luminoso en una amplia variedad de configuraciones geométricas. La comprensión integral de estos principios resulta esencial para explicar observaciones experimentales, desarrollar aplicaciones tecnológicas y establecer conexiones entre teoría física y experiencias perceptuales directas.

3.5.1. Leyes de la reflexión: ángulos de incidencia y reflexión en superficies cotidianas

El comportamiento de la luz durante procesos de reflexión se rige por dos leyes fundamentales que describen con precisión matemática las trayectorias luminosas en interfaces entre medios distintos. La primera ley establece que el rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a la superficie en el punto de incidencia permanecen coplanares, es decir, se encuentran contenidos dentro del mismo plano geométrico. Esta condición garantiza que la reflexión ocurra de manera ordenada y predecible, eliminando componentes tridimensionales complejas del fenómeno.

La segunda ley, conocida como ley de Snell para reflexión, establece la relación cuantitativa fundamental:

$$\theta_i = \theta_r$$

donde θ_i representa el ángulo de incidencia y θ_r el ángulo de reflexión, ambos medidos respecto a la normal a la superficie. Esta expresión matemática, aparentemente simple, encapsula siglos de observaciones experimentales y constituye la base para predecir trayectorias luminosas en sistemas ópticos complejos.

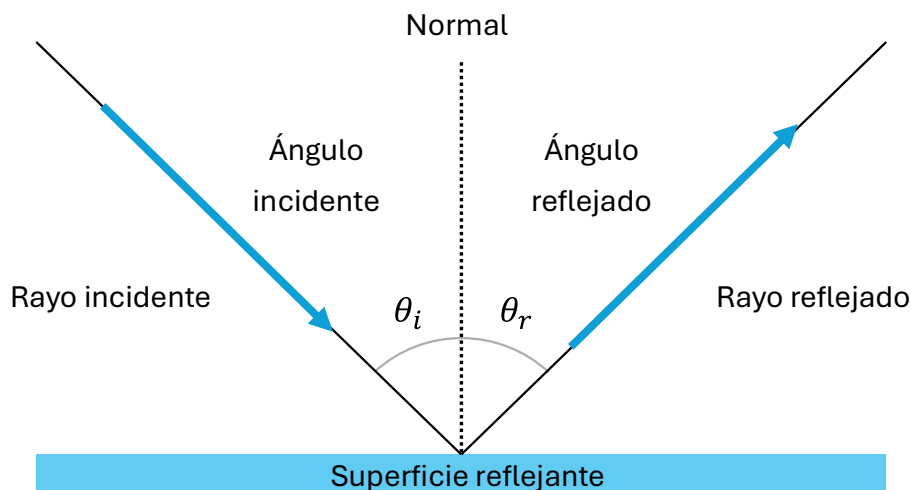


Fig. 2-P5. Diagrama geométrico que muestre un rayo incidente, la normal y el rayo reflejado.

Históricamente, estos principios fueron reconocidos por civilizaciones antiguas, aunque su formulación matemática rigurosa se desarrolló gradualmente. Euclides, en el siglo III a.n.e., documentó observaciones sistemáticas sobre reflexión en espejos planos, mientras que matemáticos islámicos medievales como Ibn al-Haytham refinaron estas descripciones mediante experimentos controlados. La formulación moderna de las leyes de reflexión se consolidó durante el desarrollo de la óptica geométrica en los siglos XVII y XVIII, proporcionando fundamentos teóricos para la revolución científica.

Estas leyes explican fenómenos cotidianos diversos: la formación de imágenes en superficies acuáticas tranquilas de esteros y lagunas, el diseño óptimo de retrovisores vehiculares para maximizar campos de visión, y la orientación estratégica de paneles reflectantes en sistemas de iluminación natural arquitectónica. La reversibilidad óptica, principio derivado de estas leyes, establece que si invirtiéramos la dirección del haz reflejado, este seguiría exactamente la trayectoria del haz incidente original, facilitando el diseño de sistemas ópticos bidireccionales.

3.5.2. Reflexión difusa: características y ejemplos en entornos naturales

La naturaleza de la superficie reflectante determina fundamentalmente el tipo de reflexión observado, clasificándose en dos categorías principales con características ópticas distintivas y aplicaciones específicas. La reflexión especular ocurre cuando la luz incide sobre superficies lisas cuyas irregularidades microscópicas son significativamente menores que la longitud de onda de la radiación incidente, típicamente menores a 0.1 micrómetros para luz visible. En estas condiciones, los rayos paralelos mantienen su paralelismo tras la reflexión, produciendo imágenes definidas y coherentes.

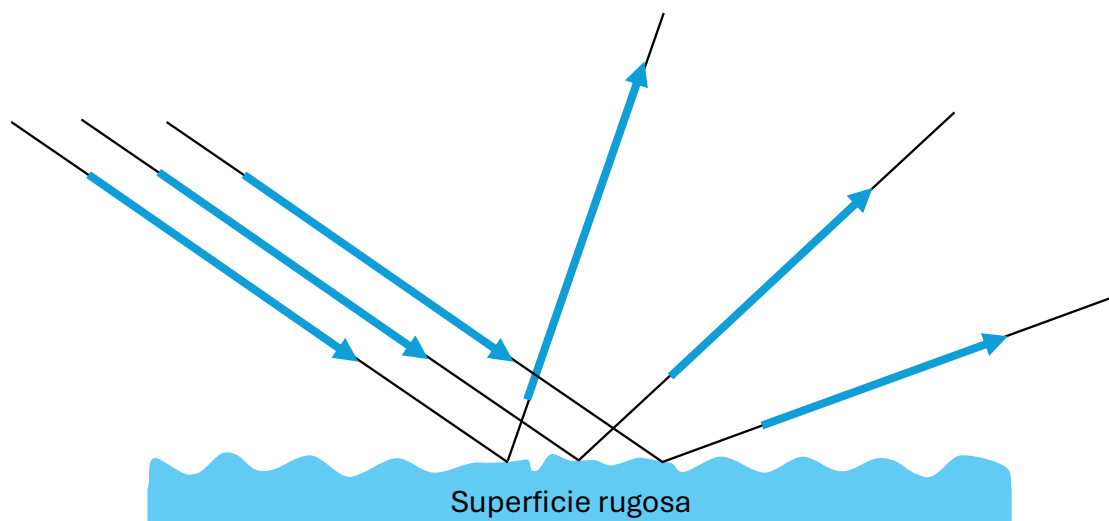


Fig. 3-P5. Rayos paralelos reflejándose difusamente.

Pero la mayoría de los objetos que nos rodean como una hoja de papel, una pared de concreto, la tela de tu mochila o incluso tu piel no son perfectamente lisos. Aunque a simple vista parezcan suaves, al microscopio están llenos de pequeñas irregularidades. Cuando la luz incide en estas superficies, rebota en muchas direcciones distintas, como si cada microscópica protuberancia la lanzara hacia un lugar diferente. A este fenómeno se le conoce como reflexión difusa.

La reflexión difusa es fundamental para nuestra vida diaria. Gracias a ella, podemos ver los objetos desde casi cualquier ángulo, no solo desde uno específico. Además, es la que nos permite percibir las formas, las texturas y la profundidad de lo que nos rodea. Las sombras suaves, los contornos de un rostro, la curva de una montaña en el horizonte, todo eso lo vemos gracias a que la luz se dispersa de manera difusa.

Imagina un mundo sin reflexión difusa: los objetos solo serían visibles si estuvieras exactamente en el ángulo correcto para ver su reflejo especular. El resto del tiempo, parecerían oscuros, planos o incluso invisibles. Sería como vivir en un laberinto de espejos donde casi nada se distingue con claridad.

Por fortuna, la naturaleza combina ambos tipos de reflexión. Esa mezcla es la que hace que nuestro entorno sea rico, tridimensional y lleno de matices visuales que nuestro cerebro interpreta constantemente para entender el mundo.

3.5.3. Aplicaciones prácticas en seguridad vial y diseño arquitectónico

Las aplicaciones tecnológicas de principios de reflexión impactan directamente en la seguridad ciudadana y eficiencia energética regional, integrando conocimiento científico fundamental con soluciones prácticas para desafíos locales. En sistemas de seguridad vial, las señales viales brillan intensamente cuando las ilumina la luz de los faros del automóvil. Ese efecto no es casualidad: ocurre gracias a una propiedad de ciertos materiales llamados retrorreflectores, capaces de devolver la luz casi exactamente en la misma dirección de donde provino.

Para medir qué tan bien un material devuelve la luz, los especialistas utilizan una cantidad llamada coeficiente de retrorreflexión. En palabras sencillas, este valor indica cuánta luz refleja una superficie respecto a cuánta recibe, considerando también el área del material y el ángulo desde el que se observa.

Cuanto mayor sea este coeficiente, más brillante aparecerá la superficie cuando se ilumine de frente, lo cual es crucial en objetos como los chalecos de seguridad, las señales de tránsito o las marcas en las bicicletas. Estos materiales no solo reflejan la luz, sino que lo hacen de manera dirigida hacia la fuente, aumentando la visibilidad nocturna y reduciendo accidentes.

El diseño arquitectónico bioclimático integra principios de reflexión para optimizar confort térmico y lumínico en edificaciones regionales. Los sistemas de iluminación natural pasiva emplean superficies especulares controladas para redirigir radiación solar hacia espacios interiores profundos, reduciendo dependencia de iluminación artificial durante horas diurnas. Estas configuraciones resultan particularmente efectivas, donde la abundante radiación solar permite implementar estrategias de aprovechamiento energético pasivo.

Los recubrimientos arquitectónicos especializados combinan propiedades de reflexión térmica en infrarrojo cercano para rechazar calor solar excesivo, mientras mantienen transmisión visible adecuada para iluminación natural. Estos materiales incorporan nanopartículas metálicas que proporcionan selectividad espectral específica, optimizando balance entre ganancia lumínica y control térmico en climas cálidos característicos de la región.

4. Elaborar (Elaborate)

En esta fase, aplicarás los principios ópticos estudiados mediante la resolución de problemas contextualizados que integran múltiples variables y restricciones prácticas, fortaleciendo tus habilidades de análisis cuantitativo, toma de decisiones técnicas y transferencia de conocimiento a situaciones auténticas del entorno.

Ejercicio 1: Un rayo incidente sobre un espejo plano con un ángulo de 30° respecto a la normal y recorre 1.2 m antes de reflejarse. Calcula la altura del punto de incidencia sobre el espejo y determina la distancia total recorrida si el rayo regresa a un punto situado al mismo nivel del origen.

Solución:

Análisis del proceso:

Cuando un rayo de luz incide sobre un espejo plano, la ley de la reflexión establece que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

En este problema, el rayo llega con un ángulo de 30° y viaja una distancia horizontal hasta impactar el espejo.

Identificación de los datos:

$$\theta_i = 30^\circ \text{ y } x = 1.2 \text{ m.}$$

Sustituciones y cálculos:

Cálculo de la altura del punto de incidencia.

$$\tan(30^\circ) = \frac{h}{1.2 \text{ m}}$$

$$h = (1.2 \text{ m})\tan(30^\circ)$$

$$h = 0.70 \text{ m}$$

Distancia total recorrida.

$$d_t = 2\sqrt{x^2 + h^2}$$

$$d_t = 2\sqrt{(1.2 \text{ m})^2 + (0.70 \text{ m})^2}$$

$$d_t = 2.8 \text{ m}$$

Conclusión:

El rayo de luz incide sobre el espejo a una altura de 0.70 m respecto a su punto de origen y, al reflejarse, recorre un trayecto total de 2.8 m.

Ejercicio 2: Un rayo luminoso se refleja con un ángulo de 40° . Si el rayo reflejado viaja 2.0 m antes de impactar en la pared, calcula la altura del punto donde incide y determina la separación horizontal entre la pared y el espejo.

Solución:

Análisis del proceso:

Cuando un rayo de luz incide sobre un espejo plano y se refleja, se forma un triángulo rectángulo entre el rayo reflejado, la superficie horizontal y la línea vertical del espejo.

Identificación de los datos:

$$\theta_r = 40^\circ \text{ y } d = 2.0 \text{ m.}$$

Sustituciones y cálculos:

Altura del punto donde incide el rayo.

$$\sin(40^\circ) = \frac{h}{2.0 \text{ m}}$$

$$h = (2.0 \text{ m})\sin(40^\circ)$$

$$h = 1.3 \text{ m}$$

Distancia horizontal entre el espejo y la pared.

$$\cos(40^\circ) = \frac{x}{2.0 \text{ m}}$$

$$x = (2.0 \text{ m})\cos(40^\circ)$$

$$x = 1.5 \text{ m}$$

Conclusión:

El rayo reflejado alcanza una altura máxima de 1.3 m al impactar la pared y recorre una distancia horizontal de 1.5 m desde el espejo.

5. Evaluar (Evaluate)

En esta fase final, pondrás a prueba tus conocimientos mediante actividades evaluativas que integran comprensión conceptual, aplicación práctica y reflexión crítica sobre los principios de reflexión luminosa, fomentando también la revisión sistemática de tu proceso de aprendizaje y la transferencia de conocimientos a contextos diversos.

5.1. Preguntas cualitativas

1. Durante tus experimentos virtuales observaste que el ángulo de reflexión siempre igualaba al ángulo de incidencia independientemente de los materiales utilizados. Explica por qué esta relación se mantiene universal en la interfaz entre cualquier par de medios ópticos.
2. Analiza las diferencias estructurales y funcionales entre superficies especulares y difusas observadas en tu entorno cotidiano.
3. Los pescadores han observado tradicionalmente que pueden ver objetos sumergidos únicamente desde ciertos ángulos específicos cuando las aguas están tranquilas. Explica este fenómeno integrando principios de reflexión total interna con las leyes básicas de reflexión estudiadas.
4. Evalúa críticamente la eficacia de diferentes estrategias de iluminación natural pasiva implementadas en edificaciones modernas, analizando cómo los principios de reflexión

especular y difusa se aplican para optimizar confort lumínico interior mientras se minimiza ganancia térmica excesiva.

5. Propón como se puede mejorar la seguridad vial para una nueva carretera costera que atraviesa zonas propensas a neblina marina, integrando múltiples aplicaciones de reflexión luminosa estudiadas.

5.2. Problemas cuantitativos

1. En una práctica de laboratorio, un puntero láser incide con un ángulo de 45° sobre un espejo colocado a nivel del suelo. El rayo reflejado viaja hasta una pantalla situada a 1.5 m del espejo. Calcula la altura del punto donde impacta el rayo sobre la pantalla y la distancia total recorrida desde el láser hasta la pantalla.

Respuesta: $h = 1.5$ m y $d = 2.1$ m.

2. Un espejo plano se inclina 15° hacia arriba con respecto a su posición original. Determina cuántos grados cambia la dirección del rayo reflejado y a qué altura llegará el nuevo rayo si recorre 2.5 m después de la reflexión.

Respuesta: $\theta = 30^\circ$ y $h = 1.3$ m.

3. Un haz de luz incide con un ángulo de 60° sobre una superficie reflectante horizontal. La fuente de luz se encuentra a 1.0 m del espejo, y el rayo reflejado se proyecta hacia adelante. Calcula el ángulo que forma el rayo reflejado con el suelo y la altura máxima que alcanzará a una distancia horizontal de 1.5 m.

Respuesta: $\theta = 60^\circ$ y $h = 2.6$ m.

4. Un rayo incide sobre un espejo formando un ángulo de 25° respecto a la normal. El punto de emisión y el espejo están separados 0.80 m. Calcula la longitud del trayecto recorrido por el rayo hasta chocar con el espejo y el desplazamiento vertical entre el punto de emisión y el punto de reflexión.

Respuesta: $d = 0.88$ y $h = 0.34$ m.

5. Dos espejos están dispuestos formando un ángulo recto entre sí. Un rayo de luz incide sobre el primero con un ángulo de 35° respecto a la normal y luego se refleja hacia el segundo espejo. Determina el ángulo con el que el rayo sale tras la segunda reflexión y el cambio total en la dirección del rayo respecto a la trayectoria inicial.

Respuesta: $\theta = 35^\circ$ y $\Delta\theta = 70^\circ$.

CÁPSULA SEMANAL

6

Asesoría presencial grupal (APG)	Asesorías personalizadas o por equipo (AP)	Autoestudio (AUTE)
1 hora	1 hora	2 hora

Cápsula Semanal 6: Refracción de la Luz

Progresión de Aprendizaje 6
Explicar el fenómeno de refracción mediante el análisis del cambio direccional de la luz al atravesar diferentes medios transparentes. Relacionar el índice de refracción con la velocidad lumínica en distintas sustancias, aplicando estos conceptos en la comprensión científica de espejismos frecuentes en las carreteras.
Metas de aprendizaje
CC. Comprender las leyes de la refracción y su dependencia de las propiedades del medio.
CT1. Identificar patrones en el comportamiento refractivo de diferentes materiales.
CT2. Analizar la causa y efecto entre índice de refracción y desviación lumínica.
CT3. Realizar mediciones del índice de refracción en sustancias comunes.
CT4. Modelar la formación de espejismos como sistema óptico multicapa.
Concepto central
CC. Óptica
Conceptos transversales
CT1. Patrones
CT2. Causa y efecto
CT3. Medición
CT4. Sistemas

1. Introducción General

La refracción de la luz constituye uno de los fenómenos ópticos más fascinantes y cotidianos que experimentamos, desde el clásico ejemplo de una cuchara aparentemente quebrada en un vaso de agua hasta los espejismos que observamos en las carreteras durante el verano. A través de esta cápsula semanal, explorarás las leyes fundamentales que rigen este fenómeno mediante simulaciones interactivas, experimentos guiados y análisis cuantitativos, desarrollando competencias científicas que te permitirán explicar con rigor estos eventos aparentemente misteriosos y comprender su aplicación en tecnologías modernas como las fibras ópticas y los sistemas de comunicación.

2. Empezar (Engage) y Explorar (Explore)

En esta fase inicial, asumirás el rol de investigador científico, manipulando variables experimentales, observando resultados cuantitativos y construyendo explicaciones fundamentadas sobre el comportamiento de la luz al interactuar con diferentes medios transparentes, estableciendo las bases conceptuales para la comprensión profunda del fenómeno refractivo.

Actividad práctica: Descubriendo los secretos de la refracción

Objetivo: Investigar experimentalmente cómo la luz modifica su dirección y velocidad al atravesar diferentes medios transparentes, mediante la manipulación sistemática de variables en el simulador virtual, para descubrir los patrones matemáticos que rigen el fenómeno de la refracción y relacionarlos con las propiedades físicas de los materiales.

Contexto científico:

El simulador que utilizarás reproduce fielmente el comportamiento de la luz en condiciones reales de laboratorio. Te permite controlar múltiples variables experimentales: el ángulo de incidencia del láser, los tipos de materiales (aire, agua, vidrio), la forma geométrica de los objetos, e incluso la frecuencia de la luz empleada. El sistema calcula automáticamente los ángulos de refracción según las leyes físicas reales, muestra mediciones precisas de intensidad luminosa y te permite visualizar el fenómeno tanto como rayos individuales como ondas propagándose. Esta versatilidad experimental te permitirá descubrir por ti mismo las relaciones cuantitativas que han fascinado a los científicos durante siglos, desde las primeras observaciones de Ptolomeo hasta las aplicaciones modernas en fibras ópticas.

Enlace Web:

<https://phet.colorado.edu/es/simulations/bending-light>



Fig. 1-P6. Simulador virtual la refracción. Fuente: PhET Interactive Simulations.

Procedimiento:

Inicia el simulador y selecciona la pestaña “Introducción”. Asegúrate de que esté marcada la opción “Rayo” y activa la casilla “Normal” para visualizar la línea perpendicular a la superficie. Configura el sistema con aire como medio superior y agua como medio inferior usando los controles deslizantes del panel derecho. Observa cómo los valores de índice de refracción aparecen automáticamente: aire ($n = 1.00$) y agua ($n = 1.33$).

Manipula el láser rojo arrastrándolo para modificar el ángulo de incidencia desde aproximadamente 10° hasta 60° . En cada posición, utiliza el transportador integrado para registrar tanto el ángulo de incidencia como el ángulo de refracción, anotando también el valor de intensidad que aparece en el detector verde. Observa atentamente cómo evoluciona la relación entre estos ángulos y si existe algún patrón matemático predecible.

Cambia el material inferior a vidrio mediante el control deslizante y repite las mediciones angulares manteniendo los mismos ángulos de incidencia. Compara sistemáticamente los ángulos de refracción obtenidos con agua versus vidrio, y relaciona estas diferencias con los valores de índice de refracción mostrados en pantalla ($n_{\text{vidrio}} = 1.50$).

Activa la opción “Onda” en lugar de “Rayo” y ajusta la velocidad a “Lento” para visualizar cómo se propagan las ondas luminosas a través de la interfaz. Observa las diferencias en la longitud de onda y velocidad de propagación entre ambos medios, relacionando estos cambios con los índices de refracción correspondientes.

Experimenta con la sección “Prismas” seleccionando diferentes formas geométricas (triángulo, círculo, semicírculo) y modifica la longitud de onda usando el selector de color (desde azul 450 nm hasta rojo 650 nm). Activa las opciones “Reflexiones” para observar simultáneamente los fenómenos de reflexión y refracción, especialmente cuando incrementas el ángulo de incidencia hacia valores cercanos a 90° .

Preguntas guía:

1. ¿Qué relación cuantitativa puedes establecer entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción cuando la luz pasa de aire a agua, y cómo se modifica esta relación cuando cambia el material a vidrio?
2. Al visualizar el modo “Onda”, ¿cómo explicas los cambios observados en la velocidad de propagación y longitud de onda de la luz al atravesar diferentes medios?
3. ¿Por qué al experimentar con diferentes colores de luz observas variaciones en los ángulos de refracción?

3. Explicar (Explain)

En esta fase profundizarás en los principios científicos fundamentales que explican tus observaciones experimentales, mediante el análisis estructurado de las leyes de la refracción, la comprensión del concepto de índice refractivo y la explicación rigurosa de fenómenos ópticos complejos como los espejismos.

3.6. Refracción de la luz: fenómenos y principios básicos

La refracción representa uno de los fenómenos ópticos más significativos para comprender cómo la luz interactúa con la materia. Este comportamiento, observable en múltiples situaciones cotidianas desde la aparente deformación de objetos sumergidos

hasta los espejismos en las carreteras, obedece a leyes físicas precisas que conectan las propiedades de los materiales con el comportamiento lumínico. El estudio de la refracción no solo proporciona herramientas para explicar fenómenos naturales, sino que constituye la base científica de tecnologías modernas como las lentes ópticas, las fibras de comunicación y los sistemas de imagen médica.

3.6.1. Leyes de la refracción: cambio de dirección al atravesar distintos medios transparentes

La refracción ocurre cuando un rayo luminoso atraviesa la interfaz entre dos medios transparentes con diferentes propiedades ópticas, experimentando un cambio en su dirección de propagación. Este fenómeno, estudiado sistemáticamente desde la antigüedad, fue formalizado matemáticamente por Willebrord Snellius en 1621, aunque las observaciones cuantitativas se remontan a Ptolomeo en el siglo II d.n.e.

Las leyes que gobiernan la refracción establecen, en primer lugar, que el rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie en el punto de incidencia se encuentran contenidos en un mismo plano. Esta condición geométrica fundamental garantiza la predictibilidad del fenómeno y permite su análisis bidimensional sin pérdida de generalidad.

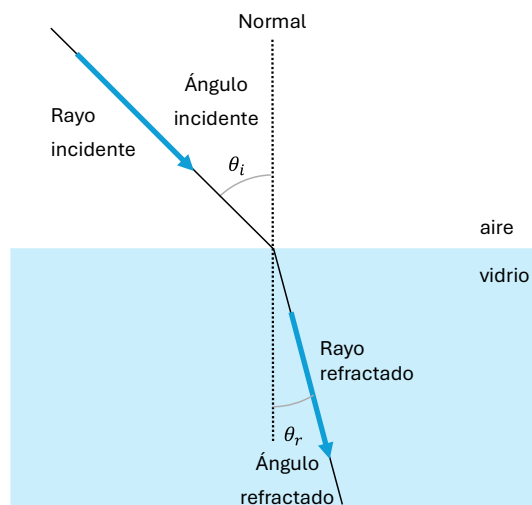


Fig. 2-P6. Diagrama de la primera ley de la refracción de la luz.

La segunda ley, conocida como ley de Snell, establece la relación cuantitativa entre los ángulos y las propiedades de los medios:

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$$

donde n_1 y n_2 representan los índices de refracción de los medios inicial y final respectivamente, mientras que θ_i y θ_r corresponden a los ángulos de incidencia y refracción medidos respecto a la normal. Esta ecuación fundamental permite predecir exactamente la dirección del rayo refractado conociendo las propiedades ópticas de los materiales involucrados.

La aplicación práctica de estas leyes explica fenómenos cotidianos como la aparente menor profundidad de las piscinas o la necesidad de los pescadores de apuntar por debajo

de la posición aparente de los peces. El principio de reversibilidad garantiza que si invirtiéramos la dirección del rayo refractado, este seguiría exactamente la trayectoria del rayo incidente original, propiedad fundamental en el diseño de sistemas ópticos complejos.

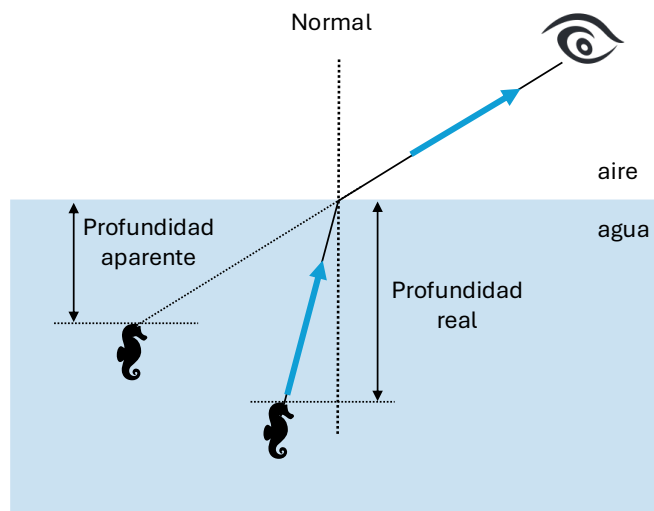


Fig. 3-P6. Diagrama del fenómeno óptico de la profundidad aparente.

3.6.2. Índice de refracción: relación con la velocidad de la luz en diferentes sustancias

El índice de refracción constituye la propiedad fundamental que caracteriza el comportamiento óptico de los materiales transparentes. Este índice indica cuantitativamente cuánto disminuye la velocidad lumínica al propagarse por el material comparada con su velocidad en el vacío.

Los valores típicos de índice de refracción para materiales comunes ilustran esta relación: el aire presenta $n = 1.0003$ (prácticamente idéntico al vacío), el agua $n = 1.33$, el vidrio crown $n = 1.52$, y el diamante $n = 2.42$. Estos valores implican que la luz viaja aproximadamente 33% más lentamente en agua que en aire, y más del doble de lentamente en diamante.

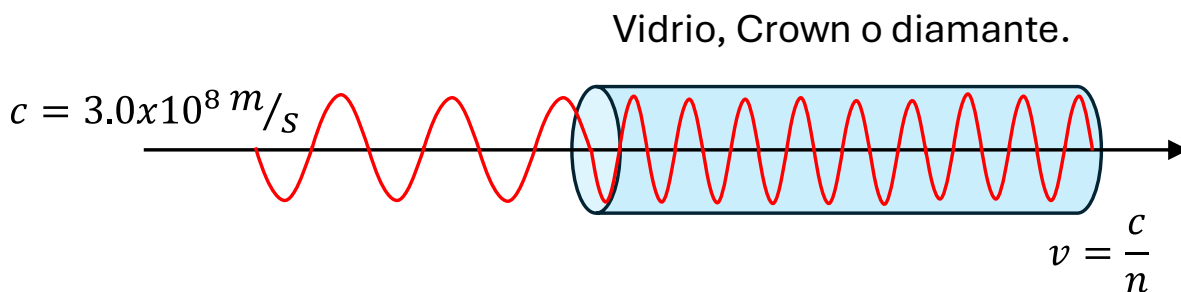


Fig. 4-P6. Diagrama de la velocidad relativa en la refracción en diferentes medios.

El comportamiento direccional del rayo refractado depende directamente de la relación entre los índices de refracción de los medios involucrados. Cuando la luz pasa de un medio con menor índice a uno con mayor índice (por ejemplo, aire a agua), el rayo refractado se

acerca a la normal. Conversamente, cuando pasa de mayor a menor índice, el rayo se aleja de la normal.

Un fenómeno especialmente relevante ocurre cuando la luz intenta propagarse desde un medio de mayor índice hacia uno de menor índice con ángulos de incidencia superiores al ángulo límite crítico:

$$\theta_L = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

donde $n_1 > n_2$. En estas condiciones se produce la reflexión total interna, fenómeno que impide la transmisión de luz y constituye el principio físico fundamental de las fibras ópticas utilizadas en comunicaciones modernas.

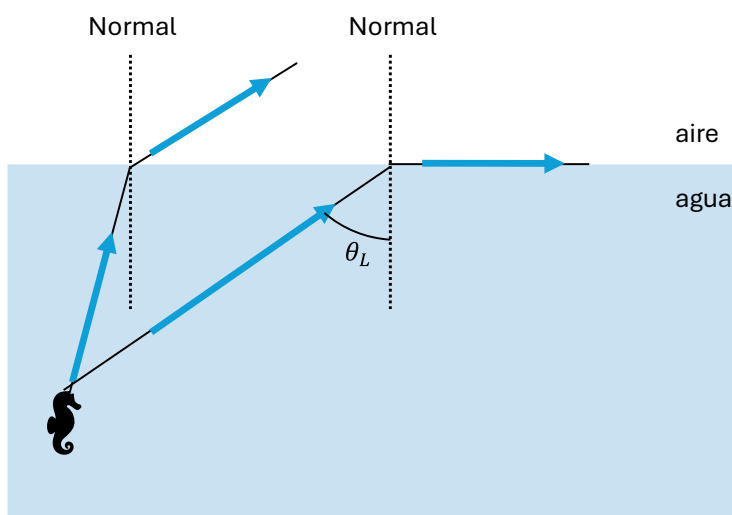


Fig. 5-P6. Diagrama de la reflexión total interna.

3.6.3. Espejismos: refracción en medios con propiedades variables

Los espejismos que frecuentemente observas en las carreteras durante el verano representan una aplicación fascinante de los principios que acabas de estudiar, pero en un contexto más complejo: un medio (el aire) cuyas propiedades cambian gradualmente en el espacio. Lejos de ser ilusiones misteriosas, estos fenómenos demuestran cómo pequeñas variaciones en el índice de refracción pueden producir efectos ópticos espectaculares.

El mecanismo físico es una extensión directa de lo que observaste en el simulador. Recordarás que diferentes materiales tienen diferentes índices de refracción; pues bien, el mismo material puede tener diferentes índices dependiendo de sus condiciones físicas. El aire caliente es menos denso que el aire frío, y esta diferencia de densidad se traduce en una variación del índice de refracción: el aire caliente tiene un índice ligeramente menor.

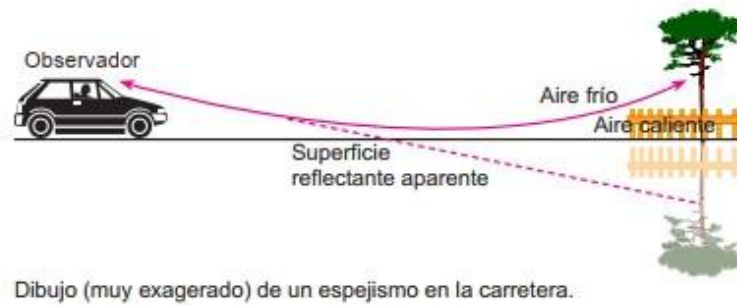


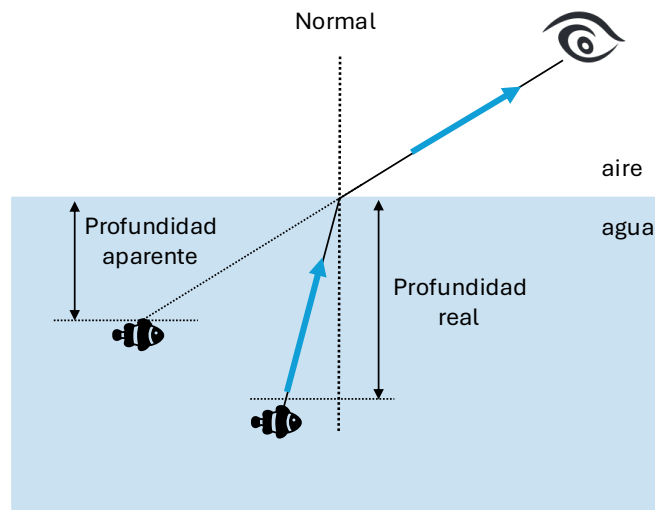
Fig. 6-P6. Diagrama esquemático de temperatura sobre pavimento caliente junto a la variación correspondiente del índice de refracción del aire.

Durante los días calurosos en carreteras, el pavimento puede alcanzar temperaturas superiores a 60°C , calentando el aire adyacente mientras las capas superiores permanecen más frescas. Esta estratificación térmica crea un “gradiente” de índice de refracción: el aire tiene índice menor cerca del suelo (más caliente) e índice mayor en las alturas (más fresco).

4. Elaborar (Elaborate)

En esta fase aplicarás los conocimientos adquiridos sobre refracción en situaciones reales que conectan directamente con tu entorno, fortaleciendo tus habilidades de pensamiento crítico, resolución de problemas cuantitativos y análisis reflexivo mediante la interpretación de fenómenos ópticos cotidianos.

Ejercicio 1: Un buzo en las aguas cristalinas observa un pez que aparenta estar a 1.20 m de profundidad desde la superficie. Si el índice de refracción del agua marina es 1.34, calcula la profundidad real del pez y explica por qué la percepción visual difiere de la realidad física.



Solución:

Análisis del proceso:

Este problema ilustra cómo la refracción afecta la percepción de distancias bajo el agua. Cuando la luz reflejada por el pez viaja del agua (mayor índice de refracción) al aire (menor índice), se refracta alejándose de la normal según la ley de Snell. Esta desviación hace que el objeto sumergido parezca más cercano a la superficie de lo que realmente está. La relación entre profundidad real y aparente en observación vertical se establece mediante la razón de índices de refracción.

Identificación de los datos:

$d_{\text{aparente}} = 1.20 \text{ m}$, $n_{\text{agua}} = 1.34$ y $n_{\text{aire}} = 1.00$.

Sustituciones y cálculos:

Para observación vertical, la relación entre profundidades real y aparente se expresa como:

$$\frac{d_{\text{real}}}{d_{\text{aparente}}} = \frac{n_{\text{agua}}}{n_{\text{aire}}}$$

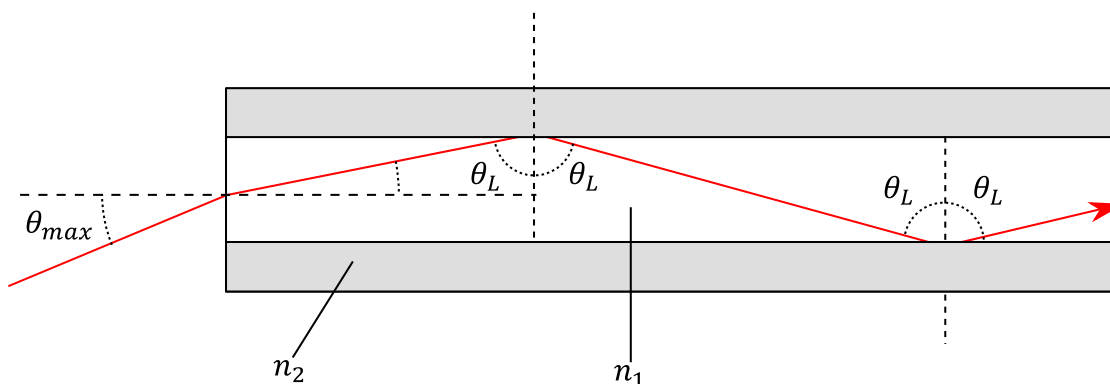
Sustituyendo los valores conocidos:

$$d_{\text{real}} = d_{\text{aparente}} \times \frac{n_{\text{agua}}}{n_{\text{aire}}} = 1.20 \text{ m} \times \frac{1.34}{1.00} = 1.61 \text{ m}$$

Conclusión:

La profundidad real del pez es 1.61 m, aproximadamente 34% mayor que la percibida visualmente.

Ejercicio 2: Un técnico en fibras ópticas debe determinar el ángulo límite para reflexión total interna en una fibra de vidrio con núcleo de índice 1.48 y revestimiento de índice 1.46. Calcula este ángulo crítico y explica su importancia en el diseño de sistemas de comunicación eficientes, considerando las pérdidas de señal por transmisión.



Solución:

Análisis del proceso:

La reflexión total interna en fibras ópticas permite confinar la luz dentro del núcleo mediante múltiples reflexiones en la interfaz núcleo-revestimiento. El ángulo límite representa el mínimo ángulo de incidencia necesario para que no ocurra transmisión hacia el revestimiento, garantizando la propagación eficiente de señales luminosas a

largas distancias. Este principio es fundamental para minimizar pérdidas en sistemas de telecomunicaciones modernos.

Identificación de los datos:

$$n_{\text{núcleo}} = 1.48 \text{ y } n_{\text{revestimiento}} = 1.46.$$

Sustituciones y cálculos:

El ángulo límite para reflexión total interna se calcula mediante:

$$\sin \theta_L = \frac{n_{\text{revestimiento}}}{n_{\text{núcleo}}}$$

$$\sin \theta_L = \frac{1.46}{1.48} = 0.9865$$

$$\theta_L = \sin^{-1}(0.9865) = 80.4^\circ$$

La diferencia relativa de índices determina la eficiencia: $\Delta n = n_{\text{núcleo}} - n_{\text{revestimiento}} = 0.02$, representando una diferencia del 1.35%.

Conclusión:

El ángulo límite es 80.4° , permitiendo un amplio rango angular para propagación eficiente. La pequeña diferencia de índices (1.35%) es intencionalmente diseñada para maximizar la reflexión total mientras mantiene flexibilidad mecánica.

5. Evaluar (Evaluate)

En esta fase final pondrás a prueba tu comprensión integrada mediante actividades que combinan explicación científica, aplicación práctica y reflexión crítica, evaluando simultáneamente tu dominio conceptual y tu capacidad para transferir conocimientos a situaciones nuevas dentro de contextos auténticos.

5.1. Preguntas cualitativas

1. Durante una tarde calurosa en una carretera observas un espejismo que simula la presencia de agua en el pavimento. Explica detalladamente el mecanismo físico que produce este fenómeno.
2. Un ingeniero óptico debe diseñar un sistema de lentes para un telescopio que minimice la dispersión cromática. Analiza cómo las variaciones del índice de refracción con la frecuencia luminosa afectan la formación de imágenes.
3. Al observar un pez desde la orilla de una playa, notas que su posición aparente cambia cuando lo ves desde diferentes ángulos de observación. Explica por qué ocurre este fenómeno.
4. Las fibras ópticas utilizadas en las redes de telecomunicaciones requieren un diseño específico de índices de refracción para funcionar eficientemente. Analiza los principios físicos que permiten el confinamiento de luz mediante reflexión total interna.
5. Durante un experimento escolar observas que un láser verde se desvía más que uno rojo al atravesar un prisma de vidrio. Explica el fundamento físico de la dispersión cromática relacionándola con la dependencia del índice de refracción con la frecuencia.

5.2. Problemas cuantitativos

1. Un técnico en una empresa acuícola debe calcular la profundidad real de los estanques observando desde la superficie. Si un objeto en el fondo aparenta estar a 0.85 m de profundidad y el agua tiene índice de refracción 1.33, ¿cuál es la profundidad real del estanque?

Respuesta: 1.13 m.

2. Una fibra óptica instalada en la red de internet tiene núcleo con índice 1.52 y revestimiento con índice 1.48. Calcula el ángulo límite para reflexión total interna necesario en el diseño del sistema de comunicaciones.

Respuesta: 76.7°.

3. Un rayo láser incide desde el aire sobre una ventana de vidrio con ángulo de 35° respecto a la normal. Si el vidrio tiene índice de refracción 1.54, determina el ángulo de refracción dentro del material.

Respuesta: 21.8°.

4. En un laboratorio de óptica, un estudiante mide que la luz viaja a 2.25×10^8 m/s en cierto material transparente. Calcula el índice de refracción de esta sustancia tomando la velocidad de la luz en el vacío como 3.00×10^8 m/s.

Respuesta: 1.33.

5. Una lámina de vidrio de 4.5 cm de espesor con índice 1.50 es atravesada por un rayo que incide con ángulo de 42°. Determina el desplazamiento lateral que experimenta el rayo al emerger paralelo a su dirección original.

Respuesta: 1.73 cm.

CÁPSULA SEMANAL

7

Asesoría presencial grupal (APG)	Asesorías personalizadas o por equipo (AP)	Autoestudio (AUTE)
1 hora	1 hora	2 hora

Cápsula Semanal 7: Fundamentos de la óptica geométrica

Progresión de Aprendizaje 7
Establecer los fundamentos de la óptica geométrica mediante el modelo de rayos luminosos como herramienta de análisis. Aplicar el principio de reversibilidad en la propagación lumínica y desarrollar conceptos básicos sobre formación de imágenes en sistemas ópticos simples, preparando el marco teórico para análisis más complejos.
Metas de aprendizaje
CC. Dominar los principios fundamentales de la óptica geométrica y su aplicación predictiva.
CT1. Reconocer patrones en la propagación de rayos luminosos.
CT4. Construir modelos geométricos para predecir trayectorias lumínicas.
CT6. Relacionar la estructura geométrica de sistemas con su función óptica.
Concepto central
CC. Óptica
Conceptos transversales
CT1. Patrones
CT4. Sistemas
CT6. Estructura y función

1. Introducción General

En esta cápsula explorarás los fundamentos de la óptica geométrica mediante el modelo de rayos luminosos, desarrollando habilidades para predecir y explicar fenómenos ópticos cotidianos. A través de simulaciones interactivas, experimentos conceptuales y análisis de casos reales, construirás una comprensión sólida del comportamiento de la luz en espejos, lentes y sistemas ópticos simples que te rodean diariamente.

2. Empezar (Engage) y Explorar (Explore)

En esta fase inicial, asumirás el rol de investigador óptico para manipular variables en sistemas luminosos, observar patrones de propagación y construir explicaciones fundamentadas sobre el comportamiento de rayos y la formación de imágenes mediante experimentación digital.

Actividad práctica: Explorando la propagación de rayos luminosos y formación de imágenes.

Objetivo: Investigar experimentalmente el comportamiento de rayos luminosos en diferentes sistemas ópticos para identificar patrones de reflexión, refracción y formación de imágenes mediante la manipulación de variables en un simulador interactivo.

Contexto científico:

La óptica geométrica modela la luz como rayos que se propagan en líneas rectas, cambiando de dirección únicamente al encontrar interfaces entre diferentes medios o superficies reflectoras. Este enfoque simplifica enormemente el análisis de fenómenos ópticos cotidianos como la formación de imágenes en espejos, la refracción en lentes y la propagación de luz a través de diferentes materiales. El simulador que utilizarás representa fielmente estos principios físicos, permitiendo explorar cómo la geometría de los sistemas ópticos determina las trayectorias luminosas y las características de las imágenes formadas. Esta herramienta digital funciona como un laboratorio virtual donde puedes experimentar con variables que serían difíciles de controlar en experimentos reales, proporcionando una base sólida para comprender los principios fundamentales que rigen el comportamiento de la luz en sistemas ópticos simples y complejos.

Enlace Web:

<https://phet.colorado.edu/es/simulations/geometric-optics>



Fig. 1-P7. Simulador virtual la óptica geométrica. Fuente: PhET Interactive Simulations.

Procedimiento:

Inicia el simulador seleccionando la pestaña “Lente” y configura una lente convergente con un radio de curvatura de 50 cm. Coloca un objeto en forma de flecha a diferentes distancias de la lente (100 cm, 75 cm, 50 cm, 25 cm) y observa cómo cambia la posición, tamaño y orientación de la imagen formada.

Activa la opción “Rayos principales” para visualizar los tres rayos característicos que determinan la formación de imágenes: el rayo paralelo al eje que pasa por el foco, el rayo que pasa por el centro óptico sin desviarse, y el rayo que pasa por el foco y emerge paralelo al eje. Registra tus observaciones sobre cómo estos rayos convergen para formar la imagen.

Cambia a la pestaña “Espejo” y experimenta con un espejo cóncavo de radio de curvatura 160 cm. Posiciona objetos a diferentes distancias del espejo y observa las características de las imágenes formadas, prestando especial atención a los cambios cuando el objeto se encuentra más cerca o más lejos del punto focal.

Preguntas guía:

1. ¿Cómo se relaciona la distancia del objeto a la lente con las características de la imagen formada (posición, tamaño, orientación)?
2. ¿Qué diferencias observas en el comportamiento de los rayos principales entre lentes convergentes y espejos cóncavos?
3. Describe las imágenes generadas tanto en el lente como en el espejo cóncavo.

3. Explicar (Explain)

En esta fase, profundizarás en los conceptos fundamentales de la óptica geométrica retomando las observaciones experimentales realizadas, mediante explicaciones estructuradas y discusiones guiadas que formalizarán tu comprensión del comportamiento luminoso.

3.7. Fundamentos de la óptica geométrica

Durante tu exploración con el simulador, observaste cómo la luz se comporta de manera predecible y sistemática. ¿Te has preguntado por qué los rayos luminosos siguen patrones tan regulares? La respuesta está en los fundamentos de la óptica geométrica, una disciplina que nos permite comprender y predecir el comportamiento de la luz utilizando principios geométricos elegantemente simples.

La óptica geométrica trata la luz como rayos que se propagan en líneas rectas, una aproximación que, aunque simplificada, resulta extraordinariamente poderosa para explicar los fenómenos que experimentas diariamente. Piensa en las sombras nítidas que proyecta el intenso sol del mediodía, los haces luminosos visibles cuando la luz atraviesa el polvo atmosférico, o el funcionamiento de los anteojos que quizás uses para leer este texto. Todos estos fenómenos pueden explicarse perfectamente sin considerar la naturaleza ondulatoria de la luz, utilizando únicamente geometría euclidiana básica.

Esta aproximación funciona excepcionalmente bien cuando las dimensiones de los objetos y sistemas ópticos son mucho mayores que la longitud de onda de la luz (aproximadamente 500 nanómetros para luz visible). Históricamente, estos principios fueron sistematizados por primera vez por Euclides en el siglo III a.n.e., quien estableció las bases matemáticas para explicar la reflexión y la visión. Sus ideas evolucionaron a lo largo de los siglos hasta convertirse en las herramientas indispensables que hoy utilizamos para diseñar todo, desde simples espejos hasta complejos telescopios espaciales.

3.7.1. Modelo de rayos luminosos: la herramienta fundamental del análisis óptico

Cuando experimentaste con el simulador, probablemente notaste que la luz parecía viajar en líneas perfectamente rectas. Esta observación no es casualidad, sino la manifestación de uno de los conceptos más fundamentales de la óptica geométrica: el modelo de rayos luminosos.

¿Pero qué es exactamente un rayo luminoso? En términos físicos, un rayo es una idealización matemática que representa la dirección de propagación de la energía luminosa. Imagínalo como una flecha invisible que nos indica hacia dónde se mueve la luz. Esta representación geométrica nos permite simplificar enormemente el análisis de sistemas ópticos complejos, convirtiendo problemas de electromagnetismo en ejercicios de geometría.

El poder de este modelo se hace evidente cuando analizas la formación de sombras. Observa lo que sucede durante un día soleado: cuando un objeto opaco intercepta los rayos solares, se forma una sombra con bordes claramente definidos. Si el Sol fuera una fuente puntual, la sombra tendría bordes perfectamente nítidos. Sin embargo, como el Sol tiene un diámetro aparente considerable, se forma también una zona de penumbra alrededor de la sombra principal. ¿Por qué ocurre esto?

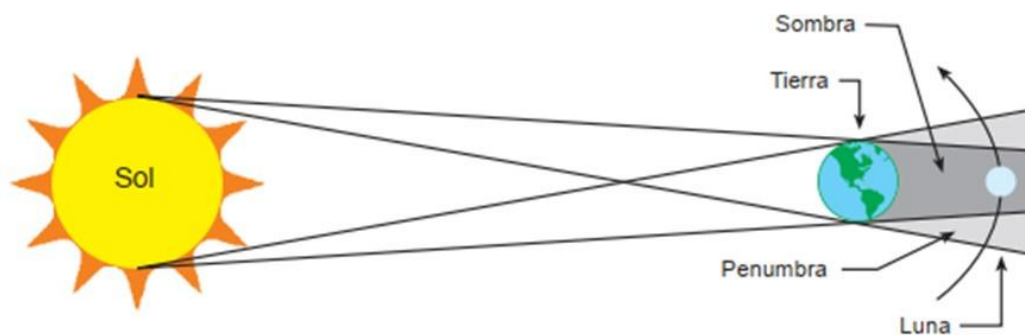


Fig. 2-P7. Diagrama mostrando rayos paralelos del Sol creando sombras nítidas de objetos, con trazado geométrico que incluye zona de sombra y penumbra.

La respuesta se encuentra en el trazado de rayos: algunos rayos procedentes del borde del Sol llegan a la región de penumbra, mientras que la zona de sombra completa es aquella donde no llega ningún rayo solar directo. Este fenómeno, que puedes observar claramente durante los eclipses solares parciales que ocasionalmente son visibles, demuestra la validez y utilidad del modelo de rayos.

La propagación rectilínea de la luz en medios homogéneos se fundamenta en el principio de Fermat, que establece que la luz siempre sigue la trayectoria que minimiza el tiempo de viaje entre dos puntos. En un medio uniforme como el aire, esta trayectoria de tiempo mínimo resulta ser precisamente una línea recta. Este principio no solo explica la propagación rectilínea, sino que también predice lo que sucede cuando la luz encuentra obstáculos o cambia de medio.

3.7.2. Principio de reversibilidad: la simetría fundamental de la luz

Durante tus experimentos con espejos y lentes en el simulador, quizás observaste algo sorprendente: si podías ver la formación de una imagen desde una posición específica, también podías “ver” hacia atrás siguiendo la misma trayectoria. Esta observación revela uno de los principios más elegantes de la óptica: el principio de reversibilidad.

¿Qué significa exactamente que la luz sea reversible? Imagina que grabas un video de un rayo láser viajando a través de un sistema de espejos y lentes. Si reproduces ese video al revés, verás que el rayo sigue exactamente la misma trayectoria, pero en sentido contrario. Esta no es solo una curiosidad matemática, sino una propiedad fundamental que tiene aplicaciones prácticas extraordinarias.

El principio de reversibilidad surge de la simetría temporal de las leyes del electromagnetismo en medios no absorbentes. En términos simples, las ecuaciones que describen la propagación de la luz no cambian si invertimos la dirección del tiempo. Pierre de Fermat fue el primero en reconocer esta propiedad en el siglo XVII, aunque su comprensión completa llegó siglos después con el desarrollo de la física moderna.

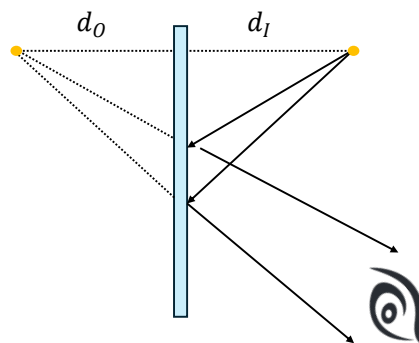


Fig. 3-P7. Diagrama mostrando la trayectoria ida y vuelta de un rayo en un sistema de espejos.

¿Cómo puedes aplicar este principio en situaciones cotidianas? Considera el caso de los agricultores que utilizan espejos para dirigir luz solar adicional hacia sus invernaderos. Si colocas una fuente luminosa donde normalmente estaría tu ojo observando la luz reflejada, esa luz seguirá exactamente la misma trayectoria en sentido inverso, llegando al punto donde originalmente se encontraba la fuente solar. Esta propiedad permite diseñar sistemas de iluminación complejos simplemente invirtiendo el problema: en lugar de preguntar “¿hacia dónde va la luz?”, puedes preguntar “¿de dónde debe venir la luz para llegar donde la necesito?”

3.7.3. Formación de imágenes: cuando la geometría crea representaciones visuales

Ahora llegamos al corazón de la óptica geométrica aplicada: la formación de imágenes. Durante tus experimentos con el simulador, observaste cómo lentes y espejos pueden crear representaciones visuales de objetos. Pero ¿qué significa realmente “formar una imagen” desde el punto de vista científico?

Comencemos estableciendo definiciones precisas. Un objeto óptico es cualquier fuente de luz o superficie que refleja luz, enviando rayos en múltiples direcciones. Una imagen, por su parte, es el lugar donde estos rayos convergen (o aparentan converger) después de

interactuar with un sistema óptico. Esta definición aparentemente simple encierra toda la riqueza de la óptica aplicada.

La distinción más importante que debes comprender es entre imágenes reales e imágenes virtuales. ¿Recuerdas cuando en el simulador observaste que en algunos casos podías “capturar” la imagen en una pantalla, mientras que en otros casos la imagen solo podía verse mirando hacia el sistema óptico? Esta diferencia fundamental determina las aplicaciones prácticas de cada configuración.

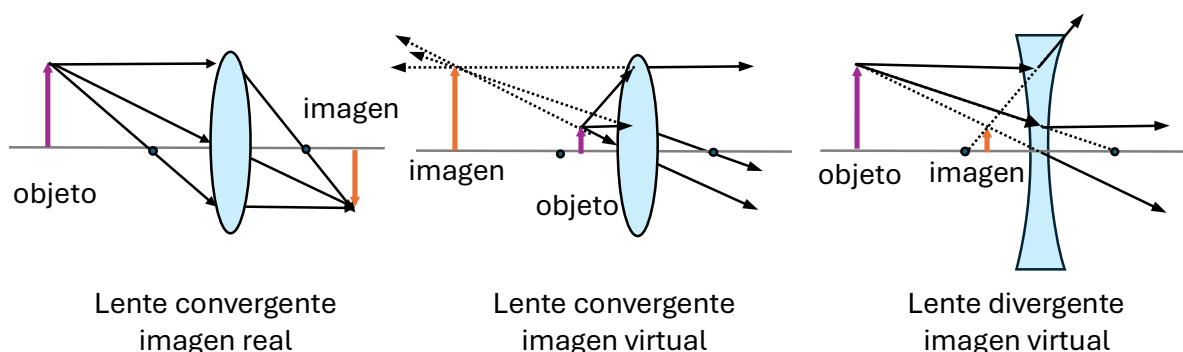


Fig. 4-P7. Comparación lado a lado de formación de imagen real e imagen virtual.

Las imágenes reales se forman cuando los rayos luminosos convergen físicamente en un punto del espacio. Puedes colocar una pantalla en ese lugar y ver la imagen proyectada. Las cámaras fotográficas, los proyectores y tus propios ojos forman imágenes reales. En contraste, las imágenes virtuales resultan de la divergencia aparente de los rayos: parece que provienen de un punto específico, pero los rayos nunca se encuentran realmente allí. Los espejos planos y las lupas comunes forman imágenes virtuales.

Analicemos primero el caso más simple: los espejos planos. Cuando te miras en el espejo cada mañana, ¿alguna vez te has preguntado por qué tu imagen aparece exactamente detrás del espejo? La respuesta está en el comportamiento geométrico de los rayos reflejados.

Cada punto de tu rostro emite (o refleja) luz en todas las direcciones, pero solo algunos rayos llegan a tus ojos después de reflejarse en el espejo. Estos rayos obedecen la ley de reflexión: el ángulo de incidencia (θ_i) es igual al ángulo de reflexión (θ_r), ambos medidos respecto a la normal de la superficie:

$$\theta_i = \theta_r$$

Cuando tu cerebro interpreta estos rayos reflejados, los proyecta hacia atrás siguiendo líneas rectas, creando la ilusión de que provienen de un punto detrás del espejo. La imagen resultante tiene características muy específicas: es virtual (no puede proyectarse), del mismo tamaño que el objeto, y se encuentra a la misma distancia del espejo, pero del lado opuesto. Matemáticamente:

$$d_i = -d_o$$

donde d_i es la distancia de la imagen al espejo y d_o es la distancia del objeto al espejo. El signo negativo es una convención que indica que la imagen es virtual.

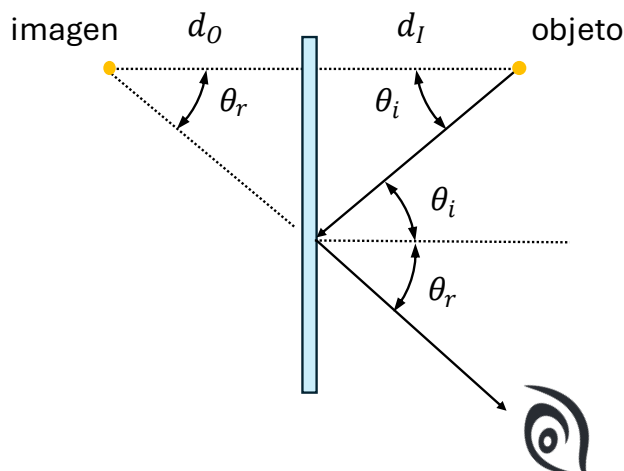


Fig. 5-P7. punto que emite luz. Estos rayos obedecen la ley de reflexión, la proyección crea la ilusión de que provienen de un punto detrás del espejo.

Cuando avanzamos a sistemas más complejos como las lentes, la situación se enriquece considerablemente. ¿Observaste en el simulador cómo cambiaban las características de la imagen cuando movías el objeto a diferentes distancias de la lente? Este comportamiento sigue una relación matemática precisa conocida como la ecuación gaussiana de las lentes:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

donde f es la distancia focal de la lente, una propiedad intrínseca que depende de su curvatura y del material del que está hecha. Esta ecuación fundamental te permite predecir exactamente dónde se formará la imagen conociendo la posición del objeto. Pero las lentes no solo cambian la posición de las imágenes, también pueden amplificarlas o reducirlas. El aumento lateral describe esta transformación:

$$m = -\frac{d_i}{d_o}$$

donde m es el factor de aumento. Un valor de $m = -2$, por ejemplo, significa que la imagen es dos veces más grande que el objeto, pero está invertida (indicado por el signo negativo). Un valor de $m = +0.5$ indica una imagen derecha pero de la mitad del tamaño original.

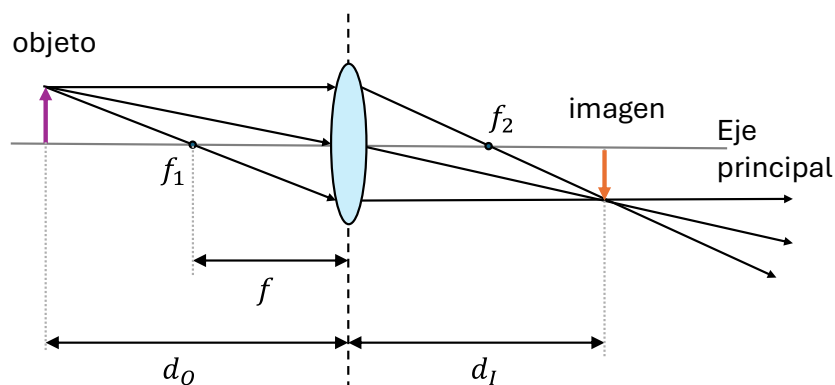


Fig. 6-P7. Diagrama de rayos principales en una lente convergente mostrando la formación de imagen real invertida, con medidas claras de d_o , d_i , y f marcadas

¿Por qué son importantes estas ecuaciones? Porque te permiten diseñar sistemas ópticos con propósitos específicos. Si necesitas proyectar una imagen ampliada en una pantalla (como en un proyector), sabes que necesitas una lente convergente y debes colocar el objeto a una distancia mayor que la distancia focal. Si quieres crear una lupa para examinar objetos pequeños, necesitas que el objeto esté más cerca del foco para crear una imagen virtual ampliada.

Estos principios encuentran aplicaciones inmediatas en tu entorno: desde el diseño de sistemas solares concentradores que aprovechan la intensa radiación de la región, hasta la comprensión de cómo funcionan los instrumentos ópticos utilizados en agricultura de precisión, medicina y comunicaciones. La belleza de la óptica geométrica radica en que, con estas herramientas conceptuales relativamente simples, puedes analizar y diseñar sistemas ópticos de complejidad considerable, desde una simple lupa hasta un telescopio astronómico profesional.

4. Elaborar (Elaborate)

En esta fase, aplicarás los conocimientos adquiridos sobre óptica geométrica en situaciones reales del contexto, fortaleciendo habilidades de pensamiento crítico y resolución de problemas mediante análisis reflexivo de aplicaciones prácticas.

Ejercicio 1: Un agricultor instala un sistema de espejos planos para dirigir luz solar adicional hacia su invernadero. El espejo principal, de $2.0 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$, se coloca a 8.0 m del invernadero formando un ángulo de 45° con la horizontal. Si los rayos solares inciden con un ángulo de 30° respecto a la normal del espejo, determina el ángulo con el cual los rayos reflejados llegan al invernadero.

Solución:

Análisis del proceso:

Este problema aplica la ley de reflexión especular, donde el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, ambos medidos respecto a la normal de la superficie reflectora. El principio físico fundamental establece que la luz sigue trayectorias deterministas al reflejarse en superficies planas, permitiendo predecir con precisión la dirección de los rayos reflejados. Esta aplicación conecta directamente con los conceptos de trazado de rayos y aprovechamiento de la geometría para dirigir luz solar.

Identificación de los datos:

$\theta_i = 30^\circ$, el espejo está orientado 45° respecto a la horizontal, $d = 8.0$ m.

Sustituciones y cálculos:

Aplicando la ley de reflexión:

$$\theta_r = \theta_i = 30^\circ$$

donde θ_r es el ángulo de reflexión y θ_i es el ángulo de incidencia, ambos medidos desde la normal.

Para encontrar el ángulo con el cual los rayos llegan al invernadero, consideramos que el rayo reflejado forma un ángulo de 30° con la normal del espejo. Como el espejo está inclinado 45° respecto a la horizontal, la normal forma un ángulo de 45° con la vertical. Por lo tanto, el rayo reflejado forma un ángulo con la horizontal de:

$$\theta_{horizontal} = 45^\circ + 30^\circ = 75^\circ$$

Conclusión:

Los rayos solares reflejados llegan al invernadero con un ángulo de 75° respecto a la horizontal.

Ejercicio 2: Una escuela utiliza una lente convergente de distancia focal 20 cm para proyectar imágenes en experimentos de física. Si se coloca un objeto de 5.0 cm de altura a 30 cm de la lente, calcula la posición, tamaño y naturaleza de la imagen formada, considerando las limitaciones prácticas del aula donde la pantalla de proyección puede colocarse hasta 1.2 m de la lente.

Solución:

Análisis del proceso:

Este problema integra la ecuación gaussiana de las lentes con consideraciones prácticas de diseño experimental. La formación de imágenes en lentes convergentes sigue principios geométricos precisos que permiten predecir las características de las imágenes. El análisis debe considerar tanto los aspectos teóricos como las restricciones físicas del entorno educativo, evaluando la viabilidad práctica de la configuración propuesta.

Identificación de los datos:

$f = 20$ cm, $d_o = 30$ cm, $h_o = 5.0$ cm y $d_{max} = 120$ cm.

Sustituciones y cálculos:

Aplicando la ecuación gaussiana de las lentes:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

Sustituyendo los valores conocidos:

$$\frac{1}{20} = \frac{1}{30} + \frac{1}{d_i}$$

Despejando d_i :

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{20} - \frac{1}{30} = \frac{3-2}{60} = \frac{1}{60}$$

Por lo tanto: $d_i = 60$ cm

El aumento lateral se calcula mediante:

$$m = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{60}{30} = -2$$

La altura de la imagen es:

$$h_i = m \cdot h_o = (-2) \cdot (5.0) = -10 \text{ cm}$$

El signo negativo indica que la imagen está invertida.

Conclusión:

La imagen se forma a 60 cm de la lente, tiene una altura de 10 cm (invertida) y es real ya que $d_i > 0$. Esta configuración es viable para el aula ya que la distancia requerida (60 cm) está dentro del límite disponible (120 cm).

5. Evaluar (Evaluate)

En esta fase final, pondrás a prueba tus conocimientos sobre óptica geométrica mediante actividades de evaluación que integren comprensión, aplicación y reflexión, fomentando la revisión crítica de tu proceso de aprendizaje.

5.1. Preguntas cualitativas

1. Explica por qué los espejismos que se observan en las carreteras calurosas durante el verano aparecen como si hubiera agua en el pavimento, utilizando los principios de refracción y el modelo de rayos luminosos para justificar científicamente este fenómeno óptico.
2. Indaga sobre aplicaciones de lentes divergentes en la vida cotidiana.
3. Investiga sobre un sistema óptico utilizando espejos planos para iluminar eficientemente el interior de una vivienda rural que recibe luz solar directa solo durante parte del día.
4. Evalúa por qué las lentes de los anteojos para corregir miopía son divergentes mientras que para hipermetropía son convergentes.
5. Propón una explicación científica de por qué durante los eclipses solares parciales que ocasionalmente pueden observarse múltiples imágenes en forma de media luna bajo la sombra de los árboles.

5.2. Problemas cuantitativas

1. Una empresa acuícola utiliza lentes convergentes para concentrar luz solar y calentar estanques de cultivo. Si una lente de 30 cm de distancia focal concentra la imagen del Sol a 2.0 m de diámetro en una imagen de 5.0 cm, ¿cuál es la distancia del Sol a la lente?

Respuesta: 3.0×10^{11} m.

2. Un espejo cóncavo en un restaurante amplifica 3 veces la imagen del rostro de una persona situada a 15 cm del espejo. ¿Cuál es el radio de curvatura del espejo?

Respuesta: 120 cm

3. En un laboratorio, un rayo láser pasa del aire al agua con un ángulo de incidencia de 45° . ¿Cuál es el ángulo de refracción en el agua?

Respuesta: 32° .

4. Una lupa utilizada por un joyero tiene una distancia focal de 8.0 cm y forma una imagen virtual de 4.0 cm de altura de un objeto de 1.0 cm. ¿A qué distancia está el objeto de la lupa?

Respuesta: 6.0 cm.

5. Un telescopio refractor en un observatorio tiene un objetivo de 120 cm de distancia focal y un ocular de 20 cm. ¿Cuál es el aumento angular del telescopio?

Respuesta: $6\times$.

CÁPSULA SEMANAL

8

Asesoría presencial grupal (APG)	Asesorías personalizadas o por equipo (AP)	Autoestudio (AUTE)
1 hora	1 hora	2 hora

Cápsula Semanal 8: Espejos y formación de imágenes

Progresión de aprendizaje 8
Caracterizar los diferentes tipos de espejos y sus propiedades en la formación de imágenes, distinguiendo entre espejos planos y esféricos según su geometría. Analizar las características de las imágenes producidas por espejos cóncavos y convexos, evaluando sus aplicaciones prácticas en seguridad vial y sistemas ópticos especializados.
Metas de aprendizaje
CC. Predecir la formación de imágenes en diferentes tipos de espejos mediante análisis geométrico.
CT2. Establecer relaciones causa-efecto entre curvatura del espejo y características de la imagen.
CT3. Medir distancias focales y magnificaciones en sistemas especulares.
CT4. Modelar sistemas de espejos como componentes de dispositivos ópticos complejos.
CT6. Evaluar la estructura y función de diferentes geometrías especulares.
Concepto central
CC. Óptica
Conceptos transversales
CT2. Causa y efecto
CT3. Medición
CT4. Sistemas
CT6. Estructura y función

1. Introducción General

En esta cápsula semanal analizarás las propiedades fundamentales de los espejos planos y esféricos mediante experimentación virtual y observación directa, estableciendo conexiones entre la geometría de la superficie reflectora y las características específicas de las imágenes formadas. Desarrollarás habilidades para predecir la formación de imágenes aplicando principios ópticos, mientras exploras aplicaciones tecnológicas

relevantes en seguridad vial, medicina y astronomía que encuentras cotidianamente, fortaleciendo tu comprensión de cómo los fenómenos físicos fundamentales se materializan en soluciones prácticas para mejorar la calidad de vida en nuestra región.

2. Empezar (Engage) y Explorar (Explore)

En esta fase inicial, actuarás como investigador óptico manipulando variables geométricas, observando transformaciones en las imágenes y construyendo explicaciones fundamentadas sobre los mecanismos de reflexión que operan en diferentes configuraciones especulares.

Actividad práctica: Investigando la formación de imágenes en espejos cóncavos.

Objetivo: Descubrir mediante experimentación virtual cómo la distancia del objeto al espejo cóncavo determina las características de la imagen formada, estableciendo patrones entre posición del objeto y propiedades observables como tamaño, orientación y naturaleza de la imagen resultante.

Contexto científico:

Los espejos cóncavos actúan como concentradores de luz debido a su superficie curva, permitiendo que rayos paralelos converjan en un punto específico llamado foco. El simulador reproduce fielmente este comportamiento, mostrando automáticamente tres rayos fundamentales: el rayo paralelo al eje que se refleja hacia el foco, el rayo que pasa por el foco y se refleja paralelo, y el rayo dirigido al centro de curvatura que regresa sobre sí mismo. Esta herramienta virtual elimina imperfecciones de espejos reales, permitiendo observar claramente los principios ópticos fundamentales que rigen la formación de imágenes en sistemas convergentes.

Enlace Web:

<https://thephysicsaviary.com/Physics/Programs/Labs/ConvergingMirrorLab/>

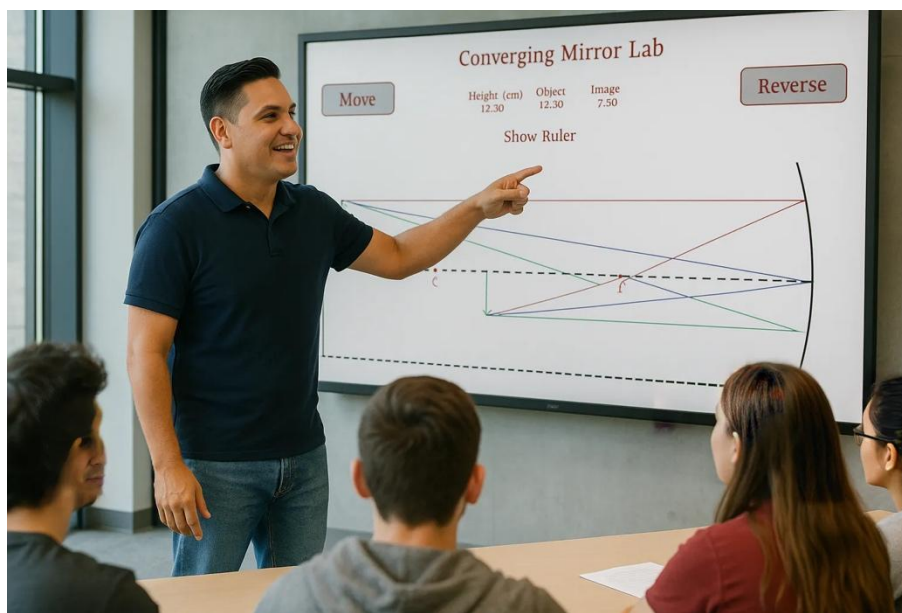


Fig. 1-P8. Simulador virtual espejos cóncavos. Fuente: thephysicsaviary.com.

Procedimiento:

Inicia el simulador haciendo clic en “Begin” y observa la configuración inicial: un espejo cóncavo con el objeto (flecha verde) posicionado a la izquierda y los puntos característicos marcados como “C” (centro de curvatura) y “f” (foco). Activa la regla presionando “Show Ruler” para poder medir distancias precisas durante tu exploración.

Utiliza el botón “Move” para desplazar el objeto a diferentes posiciones, comenzando desde la posición más lejana (aproximadamente 80 cm) y acercándolo gradualmente hacia el espejo. En cada posición significativa, presiona “Pause” para detener el movimiento y registra cuidadosamente: la altura del objeto mostrada en pantalla, la altura de la imagen correspondiente, y la apariencia visual de la imagen (si está invertida o derecha, si parece real o virtual).

Presta especial atención a cinco configuraciones clave: cuando el objeto está muy lejos del espejo, cuando cruza el centro de curvatura “C”, cuando se sitúa exactamente en “C”, cuando se ubica entre “C” y “f”, y finalmente cuando se coloca entre el foco “f” y el espejo. Para cada caso, utiliza el botón “Reverse” si necesitas cambiar la orientación del objeto para observar mejor los efectos.

Registra en una tabla las mediciones mostradas en pantalla (Object height y Image height) para al menos cinco posiciones diferentes del objeto. Calcula para cada caso el factor de magnificación dividiendo la altura de la imagen entre la altura del objeto, y observa cómo este valor cambia conforme mueves el objeto hacia el espejo.

Preguntas guía:

1. ¿Cómo se modifica la naturaleza de la imagen (real o virtual) cuando el objeto se desplaza desde una posición lejana hacia el foco del espejo cóncavo?
2. ¿Qué relación cuantitativa observas entre la posición del objeto y el factor de magnificación?
3. ¿Por qué los rayos reflejados se vuelven paralelos cuando el objeto se sitúa exactamente en el foco?

3. Explicar (Explain)

En esta fase, profundizarás en los principios fundamentales de la óptica especular retomando tus observaciones experimentales del simulador, mediante explicaciones estructuradas que conectan la teoría con la evidencia empírica obtenida durante la exploración y establecen las bases conceptuales para aplicaciones prácticas.

3.8. Espejos y formación de imágenes

¿Recuerdas las observaciones que realizaste en el simulador cuando modificabas la posición del objeto respecto al espejo cóncavo? Esos cambios sistemáticos en las características de la imagen no son casuales, sino manifestaciones de principios físicos fundamentales que gobiernan la propagación y reflexión de la luz. La formación de imágenes en espejos constituye un ejemplo extraordinario de cómo la geometría

determina el comportamiento óptico, desde los espejos planos cotidianos hasta los sistemas especulares sofisticados que permiten explorar el cosmos o examinar células microscópicas.

3.8.1. Espejos planos: fundamentos de la reflexión especular y simetría geométrica

Iniciamos nuestro análisis con los espejos planos porque representan el sistema óptico más simple y familiar, donde cada punto del objeto genera una imagen correspondiente mediante un proceso geométrico predecible. Cuando observas tu rostro en un espejo plano, estás presenciando un fenómeno que Euclides formalizó matemáticamente en el siglo III a.n.e., la reflexión especular obedece leyes geométricas invariables que permiten predecir exactamente dónde se formará cada punto de la imagen.

El mecanismo físico subyacente radica en que cada punto del objeto emite luz en múltiples direcciones, pero solamente los rayos que cumplen la ley fundamental de reflexión — ángulo de incidencia igual al ángulo de reflexión— alcanzan tu ojo desde la superficie especular.

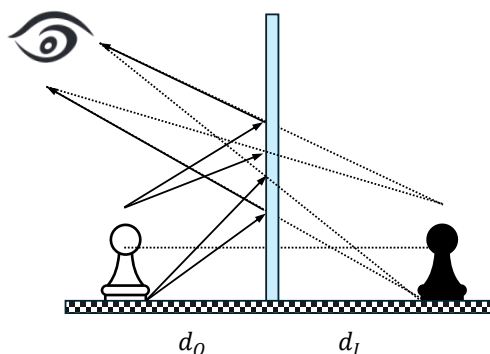


Fig. 2-P8. Diagrama detallado mostrando múltiples rayos desde un punto objeto, pero solo algunos llegando al ojo después de cumplir la ley de reflexión.

Este proceso selectivo crea la ilusión óptica de que los rayos divergen desde un punto localizado simétricamente detrás del espejo. ¿Por qué la imagen mantiene el mismo tamaño que el objeto? La respuesta radica en la geometría: como la superficie del espejo es perfectamente plana, cada punto del objeto se refleja preservando exactamente las relaciones angulares originales. Matemáticamente, esta simetría especular se expresa mediante:

$$d_i = -d_o$$

donde d_i representa la distancia de la imagen al espejo y d_o la distancia del objeto al espejo. El signo negativo en esta ecuación no es meramente convencional, sino que indica físicamente que la imagen es virtual: los rayos luminosos no convergen realmente en esa posición, sino que parecen diverger desde allí cuando se observan desde el lado del objeto.

Esta comprensión explica fenómenos naturales como las reflexiones en los esteros, donde la superficie acuática tranquila actúa como un espejo plano natural, creando imágenes simétricas de la vegetación y fauna que ilustran estos principios en entornos cotidianos. La aplicación tecnológica se extiende a sistemas de seguridad, donde espejos planos estratégicamente ubicados eliminan puntos ciegos en establecimientos comerciales.

3.8.2. Espejos esféricos cóncavos: convergencia óptica y formación de imágenes múltiples

La transición de superficies planas a curvas introduce complejidades fascinantes que observaste directamente en el simulador. Los espejos cóncavos, denominados convergentes debido a su capacidad para concentrar rayos luminosos, demuestran cómo la curvatura geométrica modifica radicalmente el comportamiento óptico.

¿Qué ocurre físicamente cuando los rayos paralelos inciden sobre una superficie cóncava? A diferencia del espejo plano, donde cada rayo se refleja en dirección diferente, la curvatura sistemática hace que todos los rayos paralelos al eje óptico converjan en un punto específico: el foco principal (F). Esta convergencia no es accidental sino consecuencia directa de que cada punto de la superficie curva presenta una normal diferente, modificando progresivamente el ángulo de reflexión según la ley fundamental.

La distancia focal (f) relaciona directamente con el radio de curvatura (R) mediante $f = R/2$, expresando matemáticamente cómo la geometría determina las propiedades ópticas.

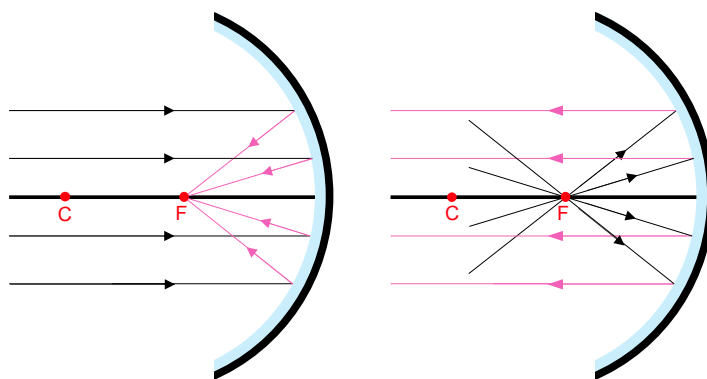


Fig. 3-P8. Diagrama mostrando cómo diferentes normales en puntos de la superficie curva producen la convergencia en el foco.

La ecuación fundamental de los espejos: $1/f = 1/d_o + 1/d_i$ no es simplemente una fórmula para memorizar, sino la expresión matemática de principios geométricos profundos. Esta ecuación predice que las características de la imagen dependen críticamente de la relación entre d_o y f , estableciendo una relación causa-efecto entre posición del objeto y propiedades de la imagen.

Cuando experimentaste en el simulador moviendo el objeto desde posiciones lejanas hacia el foco, observaste transiciones sistemáticas que ahora pueden explicarse científicamente:

Para $d_o > 2f$ (objeto más allá del centro de curvatura), la convergencia de rayos reflejados produce una imagen real, invertida y reducida, localizándose entre el centro y el foco. Esta configuración explica el funcionamiento de telescopios reflectores, donde estrellas distantes forman imágenes reales que pueden registrarse fotográficamente.

La situación $d_o = 2f$ representa un caso especial donde la imagen se forma exactamente en el centro de curvatura, real, invertida, y del mismo tamaño. Este equilibrio geométrico tiene aplicaciones en calibración de sistemas ópticos.

Cuando $f < d_o < 2f$ (objeto entre centro y foco), la imagen resulta real, invertida, pero magnificada, formándose más allá del centro. Esta propiedad permite que proyectores cinematográficos amplíen imágenes pequeñas sobre pantallas grandes.

La configuración más intrigante ocurre para $d_o < f$, donde observaste en el simulador que la imagen se vuelve virtual, erecta y magnificada. Físicamente, esto sucede porque los rayos reflejados divergen tanto que sus prolongaciones se intersectan detrás del espejo, creando una imagen virtual que no puede proyectarse pero sí observarse directamente.

El factor de magnificación $m = -d_i/d_o$ cuantifica estas transformaciones: valores negativos indican inversión (imágenes reales), mientras valores positivos corresponden a imágenes erectas (virtuales). Esta relación matemática explica por qué los espejos de aumento odontológicos funcionan: mantienen la orientación natural facilitando exámenes detallados.

3.8.3. Espejos esféricos convexos: divergencia óptica y ampliación del campo visual

Los espejos convexos representan el caso opuesto a los cóncavos, ilustrando cómo la estructura determina función de manera contraria. Mientras la curvatura cóncava concentra rayos, la convexa los dispersa sistemáticamente, creando efectos ópticos que, aunque opuestos, obedecen las mismas leyes físicas fundamentales.

¿Por qué los rayos paralelos se dispersan al incidir sobre una superficie convexa? La explicación radica en que cada punto de la superficie presenta su normal orientada hacia el exterior, invirtiendo el efecto concentrador observado en espejos cóncavos.

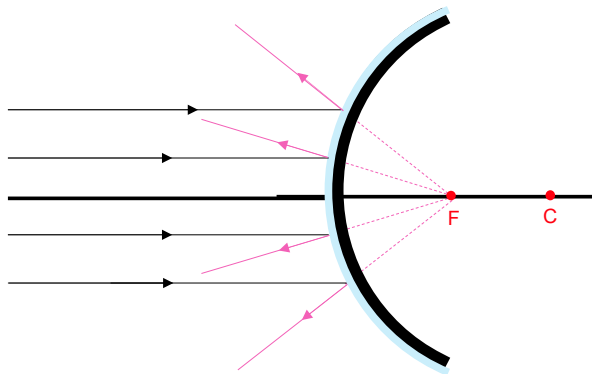


Fig. 4-P8. lado convexas, esta dispersión hace que los rayos reflejados parezcan provenir de un foco virtual localizado detrás del espejo.

Esta dispersión sistemática hace que los rayos reflejados parezcan provenir de un foco virtual localizado detrás del espejo.

La distancia focal negativa ($f < 0$) en espejos convexos no es mera convención matemática, sino representación física de que el foco es virtual: los rayos no convergen realmente allí, sino que sus prolongaciones se intersectan en ese punto. Esta característica fundamental determina que la ecuación de espejos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

siempre produce $d_i < 0$ (imagen virtual) independientemente del valor de d_o , explicando por qué los espejos convexos invariablemente generan imágenes virtuales, erectas y reducidas.

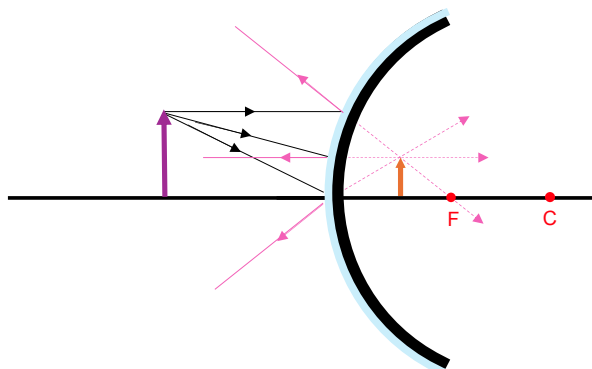


Fig. 5-P8. Los espejos convexos forman imágenes virtuales, derechas y reducidas.

Esta predictibilidad tiene implicaciones prácticas extraordinarias. La magnificación $m = -d_i/d_o$ resulta siempre positiva (imagen erecta) y menor que 1 (imagen reducida), pero el campo visual se amplía significativamente.

En aplicaciones de seguridad vial, esta compensación es ventajosa: aunque los objetos parezcan más pequeños y distantes, el conductor obtiene información visual de un área mucho mayor. La advertencia “Los objetos están más cerca de lo que parecen” refleja comprensión práctica de que la magnificación reducida altera la percepción de distancia, pero este compromiso se acepta por el beneficio del campo visual ampliado.

En intersecciones peligrosas de comunidades rurales, los espejos convexos representan una solución tecnológica que ejemplifica cómo principios físicos fundamentales se materializan en herramientas prácticas para desafíos específicos. Su efectividad deriva directamente de comprender la relación causa-efecto entre curvatura geométrica y características de imagen, demostrando que la física no es meramente académica sino también para soluciones tecnológicas que mejoran la seguridad comunitaria.



Fig. 6-P8. Los lentes convexos se aplicaciones en retrovisores, el conductor obtiene información visual de un área mucho mayor.

4. Elaborar (Elaborate)

En esta fase, aplicarás los conocimientos adquiridos en situaciones reales del contexto que conecten con tu entorno cotidiano, fortaleciendo habilidades de pensamiento crítico, resolución de problemas cuantitativos y análisis reflexivo mediante la transferencia de principios ópticos a escenarios auténticos.

Ejercicio 1: Un espejo cóncavo para un consultorio de dermatología con radio de curvatura de 40 cm. Un dermatólogo necesita examinar una lesión cutánea colocando el espejo a 15 cm del área a observar. Determina las características de la imagen formada y explica por qué esta configuración es adecuada para exámenes médicos detallados.

Solución:

Análisis del proceso:

Este problema ilustra la aplicación práctica de espejos cóncavos en medicina, específicamente cuando el objeto se sitúa entre el foco y el vértice del espejo. En esta configuración, el espejo produce una imagen virtual, erecta y magnificada, características esenciales para exámenes médicos detallados. La situación conecta directamente con los principios explicados sobre formación de imágenes en espejos convergentes.

Identificación de los datos:

$R = 40 \text{ cm}$, $f = R/2 = 20 \text{ cm}$ y $d_o = 15 \text{ cm}$.

Sustituciones y cálculos:

Aplicando la ecuación fundamental de los espejos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

Sustituyendo valores conocidos:

$$\frac{1}{20} = \frac{1}{15} + \frac{1}{d_i}$$

Despejando $\frac{1}{d_i}$:

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{20} - \frac{1}{15} = \frac{3 - 4}{60} = -\frac{1}{60}$$

Por tanto:

$$d_i = -60 \text{ cm}$$

El signo negativo indica que la imagen es virtual, localizándose detrás del espejo.

Calculando la magnificación:

$$m = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{(-60)}{15} = +4$$

El signo positivo confirma que la imagen mantiene su orientación (erecta), y la magnitud indica un aumento de 4 veces.

Conclusión:

El espejo produce una imagen virtual, erecta y magnificada 4 veces, localizada a 60 cm detrás del espejo. Esta configuración es ideal para exámenes dermatológicos porque permite observar detalles amplificados manteniendo la orientación natural, facilitando la identificación de características específicas de lesiones cutáneas. La magnificación de 4x proporciona resolución suficiente para detectar detalles que serían imperceptibles a simple vista.

Ejercicio 2: La secretaría de seguridad pública instala espejos convexos en el cruce peligroso de la carretera. El espejo tiene distancia focal de -25 cm y debe mostrar un vehículo ubicado a 8 metros de distancia. Calcula la posición y características de la imagen, evaluando la efectividad de esta medida de seguridad considerando que la percepción de distancia se ve alterada por la magnificación.

Solución:

Análisis del proceso:

Este problema aborda la aplicación de espejos convexos en seguridad vial, donde la geometría divergente produce sistemáticamente imágenes virtuales, erectas y reducidas. El análisis debe considerar tanto las características geométricas de la imagen como las implicaciones prácticas para la percepción de distancia, aspecto crucial en aplicaciones de seguridad. La distancia focal negativa caracteriza la naturaleza divergente del espejo.

Identificación de los datos:

$$f = -25 \text{ cm} = -0.25 \text{ m y } d_o = 8 \text{ m.}$$

Sustituciones y cálculos:

Aplicando la ecuación de los espejos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

Sustituyendo valores:

$$\frac{1}{-0.25} = \frac{1}{8} + \frac{1}{d_i}$$

$$-4 = 0.125 + \frac{1}{d_i}$$

Despejando:

$$\frac{1}{d_i} = -4 - 0.125 = -4.125$$

$$d_i = -\frac{1}{4.125} = -0.242 \text{ m} = -24.2 \text{ cm}$$

Calculando la magnificación:

$$m = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{(-0.242)}{8} = +0.0303$$

La imagen aparece reducida aproximadamente 30 veces (factor de magnificación 0.03).

Para evaluar la percepción de distancia, si la imagen reduce el tamaño aparente por un factor de 0.03, un vehículo a 8 m reales podría percibirse como si estuviera a una distancia aproximada de $8/0.03 = 267$ m.

Conclusión:

El espejo forma una imagen virtual, erecta, ubicada a 24.2 cm detrás del espejo, con magnificación de 0.03 (reducción de 97%). Aunque la medida mejora significativamente el campo visual permitiendo detectar vehículos en puntos ciegos, la fuerte reducción de la imagen puede crear percepciones erróneas de distancia. Un vehículo real a 8 metros podría percibirse como si estuviera a distancia mucho mayor, requiriendo educación vial complementaria para interpretar correctamente estas imágenes y evitar errores de juicio en maniobras que comprometan la seguridad.

5. Evaluar (Evaluate)

En esta fase final, pondrás a prueba tus conocimientos mediante actividades de evaluación que integren comprensión conceptual, aplicación práctica y reflexión crítica, fomentando también la revisión analítica de tu propio proceso de aprendizaje y transferencia de principios ópticos.

5.1. Preguntas cualitativas

1. ¿Por qué los espejos retrovisores de los automóviles utilizan superficies convexas en lugar de planas, considerando las observaciones que realizaste sobre diferentes tipos de espejos?
2. Analiza el funcionamiento de los espejos de aumento utilizados por dentistas en clínicas.
3. Investiga el funcionamiento de las estufas solares.
4. ¿Cómo se explica que la superficie tranquila de los esteros actúe como espejo plano natural?
5. Indaga sobre los tipos de espejos utilizados por las personas al momento de maquillarse.

5.2. Problemas cuantitativos

1. Una clínica dermatológica usa un espejo cóncavo con distancia focal de 30 cm para examinar lesiones cutáneas colocadas a 20 cm del espejo. ¿Cuál es la magnificación obtenida?

Respuesta: 1.5 veces.

2. El retrovisor convexo de un autobús de transporte público tiene radio de curvatura de 60 cm. Un vehículo se aproxima a 12 m de distancia. ¿A qué distancia del espejo se forma la imagen?

Respuesta: -28.6 cm.

3. Un telescopio reflector utiliza un espejo cóncavo de 80 cm de distancia focal para observar la Luna, situada a distancia prácticamente infinita. ¿Dónde se forma la imagen lunar?

Respuesta: 80 cm del espejo.

4. Un espejo de maquillaje cóncavo produce una imagen ampliada 2.5 veces cuando el rostro se coloca a 18 cm de su superficie. ¿Cuál es la distancia focal del espejo?

Respuesta: 30 cm.

5. En una intersección se instala un espejo convexo con distancia focal de -40 cm para vigilancia. Un peatón a 5 m de distancia aparece en la imagen con factor de magnificación. ¿Cuál es este factor?

Respuesta: 0.079.

CÁPSULA SEMANAL

9

Asesoría presencial grupal (APG)	Asesorías personalizadas o por equipo (AP)	Autoestudio (AUTE)
1 hora	1 hora	2 hora

Cápsula Semanal 9: Lentes delgadas y sus propiedades

Progresión de aprendizaje 9
Distinguir los tipos fundamentales de lentes delgadas y sus propiedades convergentes o divergentes, relacionando la geometría con la función óptica. Definir conceptos de distancia focal y potencia óptica, realizando análisis cualitativo de la formación de imágenes según la posición relativa del objeto respecto al sistema de lentes.
Metas de aprendizaje
CC. Analizar la formación de imágenes con lentes delgadas y calcular sus propiedades fundamentales.
CT1. Identificar patrones en la relación posición-objeto/imagen-características.
CT2. Establecer causa-efecto entre geometría de lente y tipo de imagen formada.
CT3. Realizar mediciones de distancias focales y magnificaciones.
CT4. Integrar lentes en sistemas ópticos más complejos.
Concepto central
CC. Óptica
Conceptos transversales
CT1. Patrones
CT2. Causa y efecto
CT3. Medición
CT4. Sistemas

1. Introducción General

Durante esta experiencia de aprendizaje descubrirás cómo las lentes delgadas, presentes en anteojos, lupas y cámaras fotográficas de tu entorno, obedecen a principios físicos precisos que determinan la formación de imágenes. A través de simulaciones interactivas y análisis experimentales, comprenderás la relación entre la geometría de las lentes y sus propiedades ópticas, desarrollando habilidades de medición y análisis que te permitirán explicar fenómenos cotidianos y diseñar aplicaciones prácticas para tu comunidad.

2. Empezar (Engage) y Explorar (Explore)

En esta fase inicial, asumirás el papel de investigador óptico, manipulando variables en simulaciones digitales, observando la formación de imágenes con diferentes tipos de lentes y construyendo explicaciones fundamentadas sobre los patrones observados en el comportamiento de la luz.

Actividad práctica: Investigando la formación de imágenes con lentes mediante simulación interactiva

Objetivo: Explorar experimentalmente cómo la posición del objeto y la distancia focal de una lente afectan las características de la imagen formada (tamaño, orientación, posición y naturaleza real o virtual), mediante manipulación directa de variables en un simulador que permite visualizar el trazado completo de rayos luminosos y medir distancias con precisión.

Contexto científico:

El simulador “Lens Lab” reproduce fielmente el comportamiento óptico de lentes delgadas, permitiendo observar en tiempo real cómo los rayos luminosos se refractan al atravesar la lente y convergen para formar imágenes. Esta herramienta digital elimina las limitaciones de equipos físicos, proporcionando trazado preciso de rayos, mediciones exactas y la capacidad de modificar instantáneamente parámetros como la distancia focal de la lente y la posición del objeto. El simulador utiliza una vela como objeto de prueba, facilitando la identificación visual de las características de la imagen formada, y presenta una cuadrícula graduada que permite realizar mediciones cuantitativas precisas para validar las predicciones teóricas.

Enlace Web:

<https://thephysicsaviary.com/Physics/Programs/Labs/LensLab/>



Fig. 1-P9. Simulador virtual lentes convergente. Fuente: thephysicsaviary.com.

Procedimiento:

Accede al simulador y haz clic en “Begin” para iniciar la experiencia. Observa la interfaz principal que muestra una lente convergente representada por líneas verticales negras, con una vela (objeto) posicionada del lado izquierdo y la cuadrícula de fondo que te permitirá realizar mediciones. Nota la escala de referencia de 10 cm en la parte inferior, fundamental para determinar distancias y tamaños.

Utiliza el botón “f length” para modificar la distancia focal de la lente. Experimenta con diferentes valores, observando cómo cambia la curvatura de los rayos refractados y la posición donde convergen. Cada cambio en la distancia focal modifica las características ópticas de la lente, simulando el uso de lentes con diferentes potencias dioptrías. Registra al menos tres valores diferentes de distancia focal y anota sus efectos sobre el comportamiento de los rayos.

Emplea el botón “candle” para desplazar la vela (objeto) a diferentes distancias de la lente. El simulador te permite posicionar el objeto desde muy cerca de la lente hasta distancias considerables, cubriendo todas las regiones críticas del comportamiento óptico. Para cada posición del objeto, observa cuidadosamente el trazado de rayos y determina: si la imagen se forma del mismo lado que el objeto (virtual) o del lado opuesto (real), si está derecha o invertida, si es mayor, menor o igual que el objeto original, y a qué distancia de la lente se localiza.

Inicia la simulación mediante “Start”. Utiliza la cuadrícula graduada para realizar mediciones cuantitativas. Cuenta las divisiones para determinar la distancia del objeto a la lente (d_o), la distancia de la imagen a la lente (d_i), y estima el tamaño relativo de la imagen comparado con el objeto. Estos datos te permitirán verificar experimentalmente las relaciones matemáticas que estudiarás en la fase teórica. Presta especial atención a las posiciones críticas: cuando el objeto está muy lejos, a exactamente $2f$, entre f y $2f$, y más cerca que f .

Preguntas guía:

1. ¿Qué relación observas entre la distancia focal de la lente y la distancia a la cual se forma la imagen cuando colocas el objeto muy lejos de la lente?
2. ¿En qué posiciones del objeto logras obtener una imagen real proyectable en una pantalla y en cuál una imagen virtual que solo puedes observar mirando a través de la lente?
3. ¿Cómo cambian las características de la imagen (tamaño, orientación, posición) cuando desplazas gradualmente el objeto desde una distancia mayor que $2f$ hasta una distancia menor que f ?

3. Explicar (Explain)

En esta fase profundizaremos en los conceptos fundamentales de la óptica de lentes delgadas, retomando tus observaciones experimentales previas del simulador mediante explicaciones estructuradas, desarrollo matemático riguroso y discusiones guiadas que conecten sistemáticamente la teoría con los fenómenos que observaste.

3.9. Lentes delgadas y sus propiedades

Recordando tus experimentos con el simulador, observaste que diferentes formas de lentes producían efectos distintivos sobre la luz. Ahora explicaremos científicamente estos fenómenos. Las lentes delgadas son elementos ópticos transparentes cuyo espesor es despreciable comparado con sus radios de curvatura, aproximación que simplifica considerablemente los cálculos sin perder precisión para aplicaciones prácticas. Funcionan aplicando el principio de refracción de Snell de manera controlada: cuando la luz pasa de un medio a otro con diferente índice de refracción a través de superficies curvadas, las trayectorias se desvían sistemáticamente, permitiendo concentrar, dispersar o redirigir haces luminosos según necesidades específicas.

3.9.1. Tipos de lentes: convergentes y divergentes, identificación y características básicas

En el simulador observaste comportamientos claramente diferenciados al seleccionar “lentes Convergente” y “lentes Divergente”. Esta diferencia fundamental se explica por la geometría de cada tipo de lente y su efecto sobre haces de rayos paralelos al eje óptico principal.

Las lentes convergentes o convexas, que en el simulador mostraron la capacidad de concentrar rayos paralelos en un punto, presentan mayor espesor en su región central que en sus bordes. Esta geometría causa que los rayos luminosos se desvíen hacia el eje óptico, convergiendo en un punto real llamado foco principal, ubicado del lado opuesto de la lente respecto a la fuente luminosa. La convergencia ocurre porque cada rayo experimenta refracción al entrar y salir de la lente: los rayos que pasan por zonas más gruesas (cerca del centro) se desvían menos que los que atraviesan zonas más delgadas (cerca de los bordes), creando el efecto de concentración.

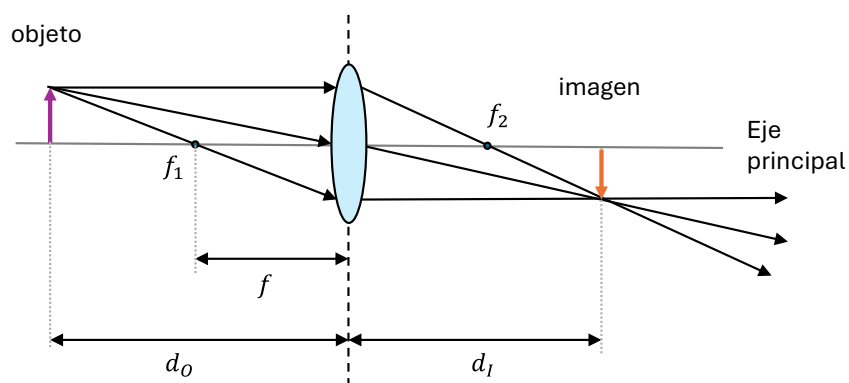


Fig. 2-P9. Formación de imagen a través de rayos principales en un lente convergente.

Dentro de las lentes convergentes distinguimos las biconvexas (curvadas hacia afuera en ambas caras), plano-convexas (una cara plana, otra convexa) y menisco convergentes (ambas caras curvadas pero con curvatura neta convergente). Todas comparten la característica de hacer converger rayos paralelos en un foco real.

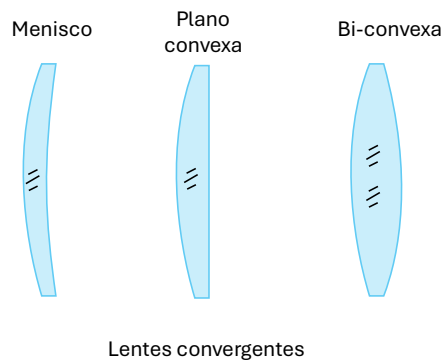


Fig. 3-P9. Lentes convergentes, lo más angosto de la lente, se encuentra en el centro.

Las lentes divergentes o cóncavas, que en el simulador observaste separando los rayos paralelos, presentan menor espesor central que en los bordes.

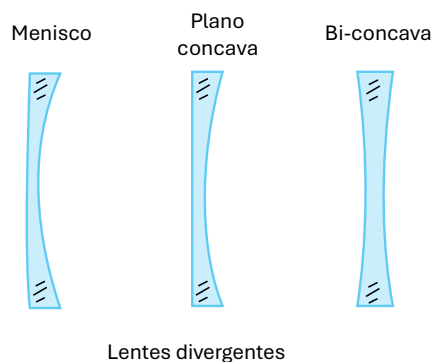


Fig. 4-P9. Lentes divergentes, lo más angosto de la lente, se encuentra en sus extremos.

Esta configuración provoca que los rayos se alejen del eje óptico, como si emanaran de un punto focal virtual situado del mismo lado de la lente que la fuente luminosa. El término “virtual” significa que los rayos no pasan realmente por ese punto, pero sus prolongaciones hacia atrás sí convergen allí, similar a como ocurre con la imagen en un espejo plano.

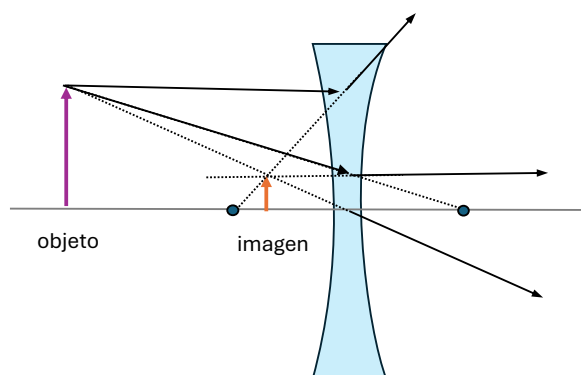


Fig. 5-P9. Formación de imagen a través de rayos principales en un lente divergentes.

La identificación práctica conecta directamente con tus observaciones del simulador: al colocar texto detrás de una lente convergente real, aparece ampliado (como una lupa),

mientras que con una divergente se ve reducido. Este efecto explica por qué encontramos lentes convergentes en lupas para examinar cultivos, anteojos para hipermetropía y cámaras fotográficas, mientras que las divergentes se usan principalmente en anteojos para miopía.

3.9.2. Distancia focal y potencia óptica: conceptos fundamentales y unidades de medida

Durante tus experimentos con el simulador, notaste puntos marcados a los lados de cada lente etiquetados como focos. Ahora explicaremos rigurosamente estos conceptos fundamentales.

La distancia focal (f) es la distancia entre el centro óptico de la lente y su foco principal, punto donde convergen (lentes convergentes) o del cual parecen divergir (lentes divergentes) los rayos paralelos al eje óptico. Esta definición establece una convención de signos crucial en óptica: las distancias focales son positivas para lentes convergentes y negativas para divergentes, reflejando la naturaleza real o virtual del foco.

Cuando modificaste los controles de distancia focal en el simulador, observaste cambios en la curvatura de las trayectorias luminosas. Físicamente, distancias focales menores corresponden a lentes con mayor curvatura, que desvían más intensamente los rayos luminosos. Esta relación se cuantifica mediante la potencia óptica (P), definida como el inverso de la distancia focal:

$$P = \frac{1}{f}$$

donde P se mide en dioptrías (D) y f en metros. Una dioptría equivale a m^{-1} , unidad que cuantifica directamente la capacidad refractiva: mayor potencia implica mayor desviación de los rayos luminosos.

Para contextualizar esta relación: una lupa típica con $f = 10.0 \text{ cm} = 0.10 \text{ m}$ tiene $P = 10.0 \text{ D}$, mientras que una lente de cámara fotográfica con $f = 50.0 \text{ mm} = 0.050 \text{ m}$ presenta $P = 20.0 \text{ D}$. Las lentes divergentes tienen potencias negativas: unos anteojos para miopía con $f = -50.0 \text{ cm}$ tienen $P = -2.0 \text{ D}$.

La determinación experimental de la distancia focal conecta con métodos accesibles. Para lentes convergentes, el método de concentración solar aprovecha que los rayos solares llegan prácticamente paralelos: al enfocar el Sol con la lente, la distancia al punto más brillante aproxima excelentemente la distancia focal. Este método es particularmente práctico en nuestro clima soleado.

La potencia óptica relaciona geometría y materiales mediante la ecuación del fabricante de lentes:

$$P = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

donde n es el índice de refracción del material de la lente, R_1 y R_2 son los radios de curvatura de las superficies primera y segunda respectivamente (con convención de signos: positivo si el centro de curvatura está del lado donde va la luz, negativo si está del lado de donde viene). Esta ecuación explica por qué los anteojos de alto índice de

refracción pueden ser más delgados manteniendo la misma potencia: materiales con mayor n requieren menor curvatura para lograr la misma desviación luminosa.

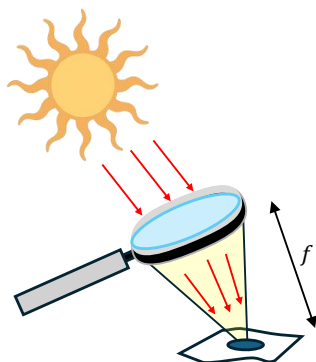


Fig. 6-P9. método que ilustra la distancia focal de una lupa con luz solar.

3.9.3. Formación de imágenes con lentes delgadas: análisis cualitativo según posición del objeto

Tus observaciones en el simulador revelaron que las características de las imágenes cambian dramáticamente según la posición del objeto. Ahora sistematizaremos estos hallazgos mediante el marco teórico de la óptica geométrica.

Lentes convergentes: análisis por regiones

Recordando tus experimentos, el comportamiento cambiaba según la distancia del objeto al foco. Sistematicemos estos casos:

Región 1: Objeto muy distante ($d_o > 2f$) Observaste en el simulador que objetos lejanos producían imágenes pequeñas e invertidas del mismo lado de la lente que tú observabas. Físicamente, la imagen es real, invertida y reducida. Este principio explica el funcionamiento de cámaras fotográficas: el objetivo forma una imagen real reducida de la escena en el sensor o película.

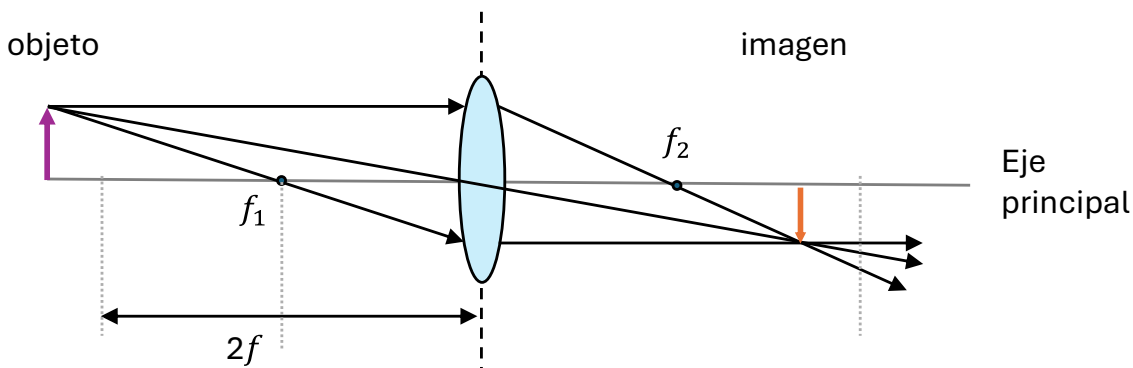


Fig. 7-P9. Imagen formada de un objeto, situado entre una distancia mayor a dos veces y la distancia focal de una lente convergente.

Región 2: Objeto a distancia $2f$ En esta posición especial, la imagen es real, invertida y del mismo tamaño que el objeto ($A = -1$), representando el punto de magnificación unitaria.

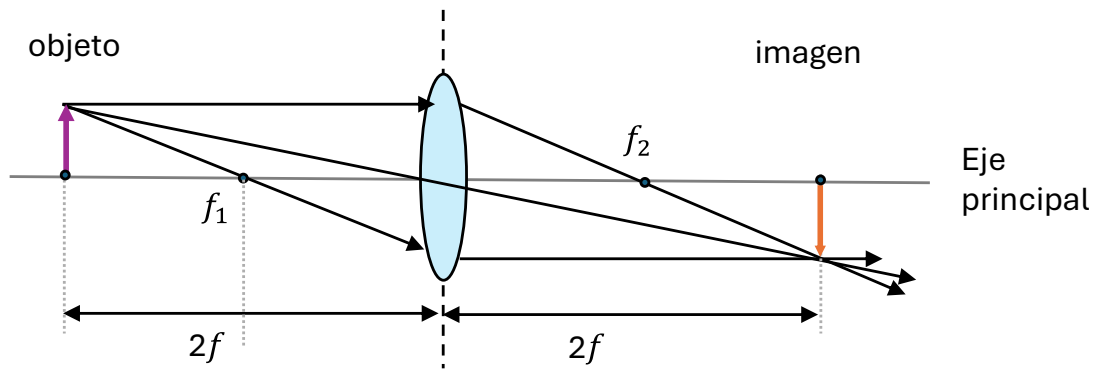


Fig. 8-P9. Imagen real, situado a dos veces la distancia focal de una lente convergente.

Región 3: Objeto entre f y $2f$ El simulador mostraba imágenes grandes e invertidas cuando colocabas objetos en esta región. La imagen es real, invertida y aumentada, principio de proyectores y microscopios compuestos.

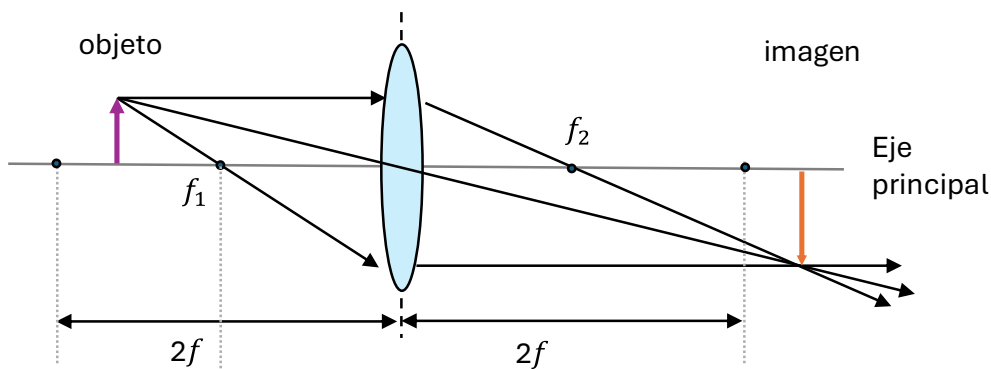


Fig. 9-P9. Imagen real situada a una distancia mayor a dos veces la distancia focal de una lente convergente.

Región 4: Objeto más cerca que el foco ($d_o < f$) Aquí observaste el comportamiento de lupa: imagen del mismo lado que el objeto, derecha y ampliada. La imagen es virtual, derecha y aumentada, visible solo mirando a través de la lente.

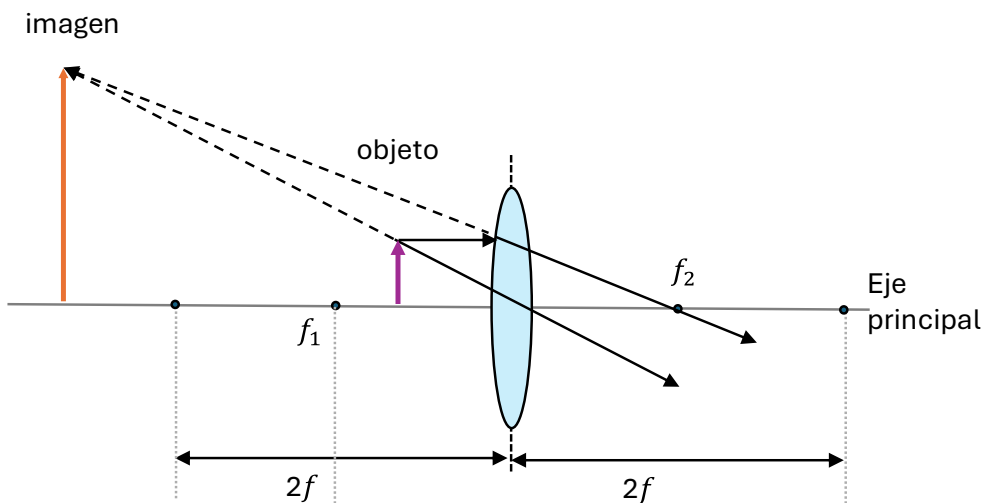


Fig. 10-P9. Imagen virtual, situado a distancia dos veces mayor que la distancia focal de una lente convergente.

El aumento lineal cuantifica la magnificación:

$$A = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o}$$

donde h_i y h_o son alturas de imagen y objeto. El signo negativo indica inversión cuando la imagen es real (A negativo), mientras que A positivo corresponde a imágenes derechas (virtuales para lentes convergentes).

Para lupas, el aumento angular resulta más relevante:

$$M = \frac{25 \text{ cm}}{f}$$

Esta fórmula asume 25 cm como distancia de visión clara promedio del ojo humano.

Lentes divergentes: comportamiento uniforme

En el simulador observaste que las lentes divergentes siempre producían imágenes del mismo lado que el objeto, derechas y reducidas, independientemente de la posición del objeto. Esto ocurre porque las lentes divergentes siempre forman imágenes virtuales, derechas y reducidas ($0 < A < 1$). Esta propiedad las hace ideales para corregir miopía: crean imágenes virtuales de objetos distantes a distancias menores, dentro del rango de enfoque del ojo miope.

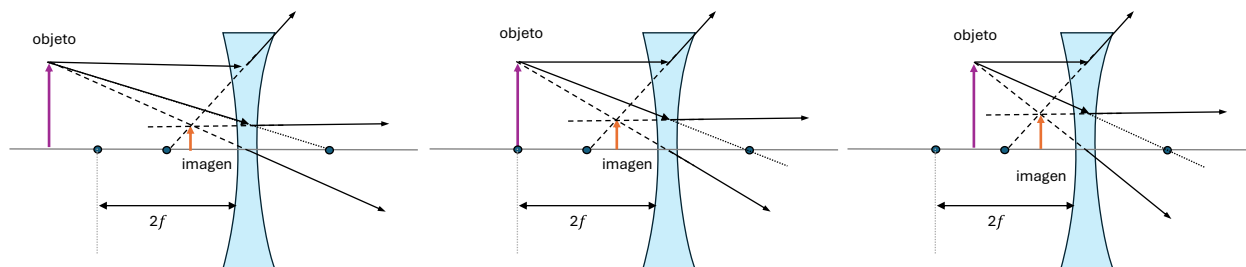


Fig. 11-P9. Imagen virtual formada por una lente divergente, cuando el objeto se encuentra a diferentes distancias de la lente.

Estas explicaciones teóricas conectan directamente con aplicaciones que observas diariamente: pescadores usando lupas para inspeccionar redes (objeto más cerca que el foco), cámaras documentando paisajes costeros (objetos muy distantes), y anteojos corrigiendo defectos visuales (lentes divergentes para miopía). La comprensión rigurosa de estos principios permite diseñar y optimizar sistemas ópticos para necesidades específicas de nuestra región.

4. Elaborar (Elaborate)

En esta fase aplicarás los conocimientos adquiridos sobre lentes delgadas a situaciones reales y contextualizadas del entorno, fortaleciendo habilidades de análisis crítico, resolución sistemática de problemas y toma de decisiones fundamentadas en principios científicos sólidos.

Ejercicio 1: Un agricultor utiliza una lupa para examinar plagas en sus cultivos de tomate. La lente convergente tiene una distancia focal de 8.0 cm y sostiene la lupa a 6.0 cm de una larva que mide 2.5 mm de longitud. ¿A qué distancia se forma la imagen de la larva y cuál es el aumento que obtiene el agricultor?



Solución:

Análisis del proceso:

Este problema aplica los principios de formación de imágenes con lentes convergentes cuando el objeto se sitúa a una distancia menor que la focal, configuración típica del uso de lupas. Según la teoría desarrollada, esperamos obtener una imagen virtual, derecha y aumentada que permita al agricultor observar detalles no visibles a simple vista. Utilizaremos la ecuación gaussiana de lentes delgadas junto con la relación de aumento lineal para determinar las características de la imagen formada.

Identificación de los datos:

$f = 8.0 \text{ cm}$, $d_o = 6.0 \text{ cm}$, y $h_o = 2.5 \text{ mm}$.

Sustituciones y cálculos:

Aplicando la ecuación gaussiana de lentes delgadas:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

Sustituyendo los valores conocidos:

$$\frac{1}{8.0 \text{ cm}} = \frac{1}{6.0 \text{ cm}} + \frac{1}{d_i}$$

Despejando el término correspondiente a la distancia de la imagen:

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{8.0 \text{ cm}} - \frac{1}{6.0 \text{ cm}} = \frac{6.0 - 8.0}{(8.0)(6.0)} = \frac{-2.0}{48.0} = -0.042 \text{ cm}^{-1}$$

Por tanto: $d_i = -24.0 \text{ cm}$

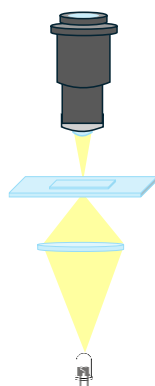
El signo negativo confirma que se trata de una imagen virtual, como era de esperarse para una lupa. Para calcular el aumento lineal:

$$A = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{(-24.0 \text{ cm})}{6.0 \text{ cm}} = 4.0$$

Conclusión:

La imagen de la larva se forma a 24.0 cm del mismo lado de la lente que el objeto, tratándose de una imagen virtual derecha con un aumento de 4.0 veces. Esto significa que el agricultor observa la larva con una longitud aparente de $2.5 \times 4.0 = 10.0$ mm, facilitando significativamente la identificación de detalles morfológicos para determinar el tipo de plaga.

Ejercicio 2: Un investigador diseña un sistema de iluminación para microscopía usando una lente convergente de 12.0 cm de distancia focal. Si necesita proyectar la imagen de una fuente luminosa LED de 3.0 mm de diámetro sobre una muestra biológica para obtener un haz concentrado de 0.8 mm de diámetro, ¿a qué distancias debe colocar la fuente LED y la muestra respecto a la lente?



Solución:

Análisis del proceso:

Este problema requiere el diseño de un sistema óptico donde se especifica tanto el aumento deseado como las características del haz resultante. La configuración corresponde a la formación de una imagen real reducida, ya que se busca concentrar la luz de una fuente mayor en un área menor. Debemos aplicar simultáneamente la ecuación gaussiana y la relación de magnificación, considerando que el aumento será negativo debido a la inversión de la imagen real.

Identificación de los datos:

$f = 12.0$ cm, $h_o = 3.0$ mm y $h_i = 0.8$ mm.

Sustituciones y cálculos:

Primero calculamos el aumento requerido considerando que la imagen debe ser reducida:

$$A = \frac{h_i}{h_o} = \frac{0.8 \text{ mm}}{3.0 \text{ mm}} = 0.267$$

Dado que se trata de una imagen real, el aumento es negativo:

$$A = -0.267$$

Utilizando la relación entre aumento y distancias:

$$A = -\frac{d_i}{d_o} = -0.267$$

Por tanto:

$$d_i = 0.267d_o$$

Sustituyendo en la ecuación gaussiana:

$$\frac{1}{12.0} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{0.267d_o} = \frac{1}{d_o} + \frac{3.75}{d_o} = \frac{4.75}{d_o}$$

$$\text{Resolviendo: } d_o = 4.75 \times 12.0 = 57.0 \text{ cm}$$

Y consecuentemente:

$$d_i = 0.267 \times 57.0 = 15.2 \text{ cm}$$

Conclusión:

La fuente LED debe colocarse a 57.0 cm de la lente, mientras que la muestra debe situarse a 15.2 cm del lado opuesto de la lente. Esta configuración produce una concentración luminosa eficiente, reduciendo el diámetro del haz en un factor de 3.75 y aumentando proporcionalmente la intensidad luminosa por unidad de área.

5. Evaluar (Evaluate)

En esta fase final pondrás a prueba tu comprensión integral de las lentes delgadas mediante actividades que evalúen tanto tu dominio conceptual como tu capacidad de aplicación práctica, integrando análisis crítico, resolución cuantitativa de problemas y reflexión sobre tu proceso de aprendizaje.

5.1. Preguntas cualitativas

1. Un optometrista debe prescribir anteojos para un pescador que presenta miopía moderada. Explica detalladamente por qué se utilizan lentes divergentes para esta corrección.
2. Analiza el funcionamiento de una lupa utilizada por un joyero para examinar detalles en piezas de plata.
3. Un estudiante construye un proyector simple para presentaciones escolares usando una lente convergente. Investiga la configuración óptica especificando la región donde debe colocar la diapositiva respecto a la distancia focal, predice las características de la imagen proyectada y explica por qué esta configuración produce imágenes reales aumentadas.
4. Compara el comportamiento óptico de lentes convergentes y divergentes cuando un objeto se coloca a la misma distancia de ambas lentes.
5. ¿Por qué un mismo lente puede ampliar la imagen de un objeto cuando lo acercas, pero invertirla completamente cuando lo alejas más allá de cierta distancia?

5.2. Problemas cuantitativos

1. Un joyero utiliza una lupa de 15.0 dioptrías para examinar detalles en piezas de plata. Si sostiene la lupa a 6.5 cm de un grabado, ¿a qué distancia se forma la imagen y cuál es la magnificación obtenida?

Respuestas: $d_i = -19.5$ cm, $A = 3.0$.

2. El taller de óptica fabrica una lente biconvexa con radios de curvatura de 25.0 cm cada uno, utilizando vidrio con índice de refracción de 1.52. ¿Cuál es la potencia óptica de esta lente?

Respuesta: $P = 4.16$ dioptrías.

3. Un fotógrafo documenta la arquitectura colonial de Álamos usando una cámara con lente de distancia focal 50.0 mm. Para fotografiar una fachada situada a 8.0 m de distancia, ¿a qué distancia del sensor se forma la imagen?

Respuesta: $d_i = 50.3$ mm

4. En el laboratorio de física, un estudiante proyecta la imagen de una diapositiva de 35.0 mm $\times$ 24.0 mm en una pantalla situada a 2.5 m de una lente convergente de distancia focal 12.0 cm. ¿A qué distancia debe colocar la diapositiva y qué dimensiones tendrá la imagen proyectada?

Respuestas: $d_o = 12.6$ cm, imagen = 70 cm $\times$ 48 cm.

5. Un técnico en el Hospital ajusta un microscopio cuyo objetivo tiene potencia de 25.0 dioptrías. Si una célula de 8.0 μm se observa a través de este objetivo colocado a 3.8 cm de la muestra, ¿qué aumento proporciona el sistema y cuál es el tamaño aparente de la célula?

Respuesta: $A = 2.63$, tamaño aparente = 21.0 μm .

CÁPSULA SEMANAL

10

Asesoría presencial grupal (APG)	Asesorías personalizadas o por equipo (AP)	Autoestudio (AUTE)
1 hora	1 hora	2 hora

Cápsula Semanal 10: Instrumentos ópticos básicos y su funcionamiento

Progresión de Aprendizaje 10
Examinar el funcionamiento de instrumentos ópticos fundamentales como la lupa, microscopio compuesto y telescopio refractor, analizando sus componentes y principios operativos. Calcular aumentos angulares y magnificaciones, relacionando las características constructivas con sus aplicaciones específicas en diferentes campos del conocimiento.
Metas de aprendizaje
CC. Comprender el funcionamiento de instrumentos ópticos básicos y sus aplicaciones científicas.
CT1. Reconocer patrones en el diseño y funcionamiento de diferentes instrumentos ópticos.
CT3. Calcular aumentos y magnificaciones en sistemas ópticos instrumentales.
CT4. Analizar instrumentos ópticos como sistemas integrados de componentes.
CT6. Relacionar la estructura constructiva con la función específica de cada instrumento.
Concepto central
CC. Óptica
Conceptos transversales
CT1. Patrones
CT3. Medición
CT4. Sistemas
CT6. Estructura y función

1. Introducción General

Durante esta cápsula semanal, examinarás el funcionamiento de tres instrumentos ópticos fundamentales que han revolucionado nuestra comprensión del mundo: la lupa simple, el microscopio compuesto y el telescopio refractor. A través de simulaciones virtuales y análisis teórico, comprenderás los principios físicos que permiten amplificar

nuestra visión tanto hacia lo microscópico como hacia lo astronómico, calculando aumentos angulares y relacionando el diseño constructivo con las aplicaciones específicas de cada instrumento en campos como la agricultura, medicina y astronomía presentes.

2. Empezar (Engage) y Explorar (Explore)

En esta fase inicial, adoptarás el rol de investigador experimental, manipulando variables ópticas en entornos virtuales para observar cómo diferentes configuraciones de lentes afectan la formación de imágenes, construyendo explicaciones fundamentadas sobre el comportamiento de sistemas ópticos instrumentales.

Actividad práctica: Construcción virtual de instrumentos ópticos fundamentales

Objetivo: Explorar experimentalmente el comportamiento de lentes convergentes mediante manipulación virtual de variables ópticas, para identificar las configuraciones específicas que reproducen el funcionamiento de la lupa simple, microscopio compuesto y telescopio refractor, estableciendo relaciones cuantitativas entre distancia focal, posición del objeto y características de las imágenes formadas.

Contexto científico:

Los instrumentos ópticos funcionan mediante el control preciso de la refracción lumínica a través de lentes convergentes, cuyas propiedades se determinan por su radio de curvatura e índice de refracción. El simulador de óptica geométrica permite manipular estas variables fundamentales de manera interactiva, proporcionando un modelo conceptual ideal donde puedes observar directamente cómo la modificación del radio de curvatura altera la distancia focal, cómo la posición del objeto respecto al foco determina el tipo de imagen formada, y cómo la combinación estratégica de lentes reproduce los principios operativos de instrumentos reales. Esta experimentación virtual facilita la comprensión de conceptos abstractos como imagen virtual, aumento angular y amplificación secuencial, estableciendo las bases teóricas necesarias para analizar sistemas ópticos complejos.

Enlace Web:

<https://phet.colorado.edu/es/simulations/geometric-optics>



Fig. 1-P10. Simulador virtual lentes convergentes. Fuente: PhET Interactive Simulations.

Procedimiento:

Accede al simulador y selecciona la pestaña “Lente” para iniciar la exploración. Configura el sistema con una lente convergente utilizando el panel de control inferior: establece un radio de curvatura de 50 cm, índice de refracción de 1.50, y diámetro de 80 cm. Activa las opciones “Puntos Focales” y “Etiquetas” para visualizar claramente los elementos del sistema. Utiliza la opción “Rayos Principales” para observar el comportamiento básico de la luz. Coloca el objeto (lápiz) a diferentes distancias de la lente arrastrándolo horizontalmente, prestando especial atención a las configuraciones donde el objeto se encuentra a distancias mayores, iguales y menores que la distancia focal.

Para simular una lupa simple, reduce el radio de curvatura a aproximadamente 20 cm mediante el deslizador correspondiente, lo que acortará la distancia focal. Posiciona el objeto dentro de la distancia focal de la lente (entre la lente y el punto focal izquierdo) y observa cómo se forma una imagen virtual ampliada del mismo lado que el objeto. Experimenta variando la distancia del objeto al foco y registra cómo cambia el tamaño de la imagen virtual. Activa la opción “Imagen Virtual” para visualizar claramente esta configuración característica de las lupas.

Modifica el sistema para simular principios telescópicos estableciendo un radio de curvatura largo (aproximadamente 100 cm) y coloca el objeto a una distancia muy grande de la lente. Observa cómo se forma una imagen real pequeña cerca del foco posterior de la lente. Cambia a la configuración “Luz” en el selector superior para utilizar una fuente luminosa como objeto, lo que simula mejor las condiciones de observación astronómica. Ajusta la pantalla del lado derecho para interceptar la imagen formada y analiza sus características.

Preguntas guía:

1. ¿Cómo varía la distancia focal de la lente cuando modificas su radio de curvatura?
2. Al simular un sistema telescópico con objeto distante, ¿qué relación observas entre el tamaño de la imagen real formada en el foco y la distancia focal de la lente?
3. ¿Qué diferencias fundamentales identificas entre las configuraciones ópticas necesarias para formar imágenes virtuales ampliadas (lupa) versus imágenes reales reducidas (objetivo de telescopio)?

3. Explicar (Explain)

En esta fase, formalizarás los descubrimientos realizados durante la exploración virtual, integrando el marco conceptual científico que explica el funcionamiento de los instrumentos ópticos fundamentales mediante principios de refracción, formación de imágenes y amplificación angular aplicados sistemáticamente.

3.10. Instrumentos ópticos básicos y su funcionamiento

Los instrumentos ópticos representan aplicaciones sofisticadas de los principios fundamentales de la óptica geométrica, diseñados específicamente para ampliar las capacidades del ojo humano. Durante tus exploraciones virtuales, observaste cómo

diferentes configuraciones de lentes convergentes producen imágenes ampliadas, fenómeno que constituye la base operativa de instrumentos fundamentales como la lupa, el microscopio y el telescopio. Estos dispositivos han transformado históricamente nuestra comprensión del mundo, desde las primeras observaciones microscópicas de Antonie van Leeuwenhoek en el siglo XVII hasta los descubrimientos astronómicos de Galileo Galilei con su telescopio refractor.

3.10.1. Lupa simple: principio de funcionamiento y cálculo del aumento angular

La lupa simple constituye el instrumento óptico más básico y representa una aplicación directa de las propiedades de las lentes convergentes que exploraste en la simulación. Su funcionamiento se fundamenta en la limitación natural del ojo humano para enfocar objetos ubicados a distancias menores de 25 cm, conocida como distancia mínima de visión clara. Cuando colocas un objeto dentro de la distancia focal de una lente convergente, como observaste en el simulador, se forma una imagen virtual, derecha y ampliada que puede visualizarse cómodamente por el ojo.

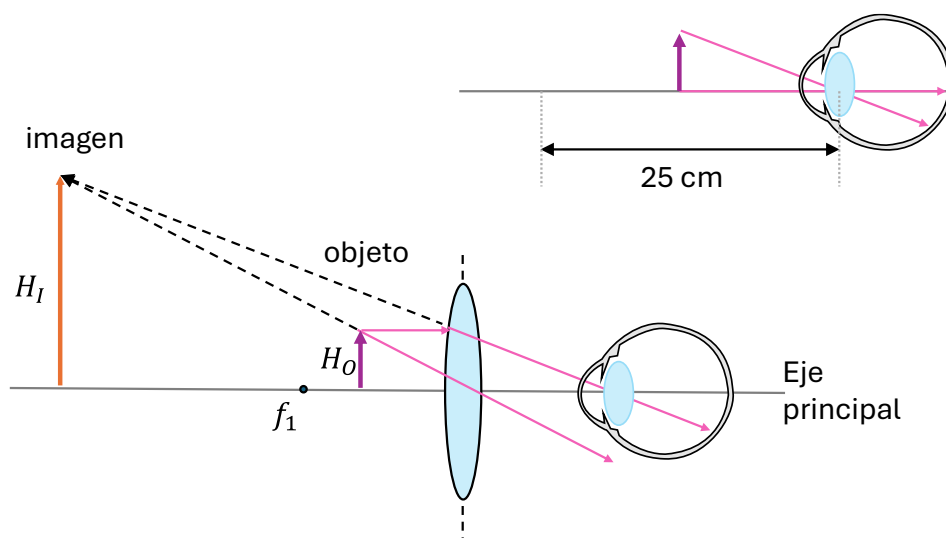


Fig. 2-P10. Acomodamiento del ojo con la lente convergente, cuando se observa un objeto a menos de 25 cm de distancia.

El aumento angular de una lupa se define matemáticamente como el cociente entre el ángulo subtendido por la imagen observada a través de la lente (θ') y el ángulo subtendido por el objeto observado directamente a la distancia mínima de visión clara (θ):

$$A = \frac{\theta'}{\theta}$$

Para obtener el máximo aumento, el objeto debe situarse muy próximo al foco de la lente, de manera que la imagen virtual se forme exactamente a 25 cm del ojo. En estas condiciones óptimas, el aumento angular se calcula mediante:

$$A = \frac{25 \text{ cm}}{f}$$

donde f representa la distancia focal de la lente expresada en centímetros. Esta relación explica por qué las lupas de mayor aumento requieren lentes con distancias focales muy cortas. Por ejemplo, una lupa con distancia focal de 3 cm proporciona un aumento aproximado de 8.3 veces, mientras que una con distancia focal de 12.5 cm produce un aumento de apenas 2 veces.

Las limitaciones prácticas de las lupas simples aparecen para aumentos superiores a 10 veces, donde las aberraciones ópticas distorsionan significativamente la imagen. Este fenómeno observado en aplicaciones reales corresponde a las imperfecciones que el simulador ideal no reproduce, pero que determinan la necesidad de sistemas ópticos más complejos para mayores ampliaciones.

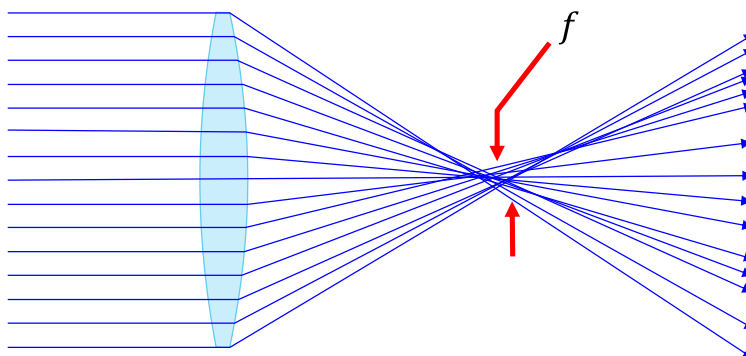


Fig. 3-P10. Aberración de una lente convergente.

3.10.2. Microscopio compuesto: componentes básicos y formación de imágenes ampliadas

El microscopio compuesto supera las limitaciones de la lupa simple mediante la combinación estratégica de dos sistemas ópticos convergentes: el objetivo y el ocular. Durante tus experimentos virtuales con configuraciones de dos lentes, observaste cómo este principio permite obtener aumentos significativamente mayores a través de dos ampliaciones sucesivas.

El objetivo, ubicado próximo al objeto de estudio, actúa como la primera etapa de ampliación. Forma una imagen real, invertida y ampliada del objeto, situada entre el objetivo y el ocular. Esta imagen intermedia sirve como objeto para la segunda etapa del sistema. El ocular funciona esencialmente como una lupa que observa la imagen intermedia producida por el objetivo, generando una imagen virtual final que puede visualizarse cómodamente por el ojo.

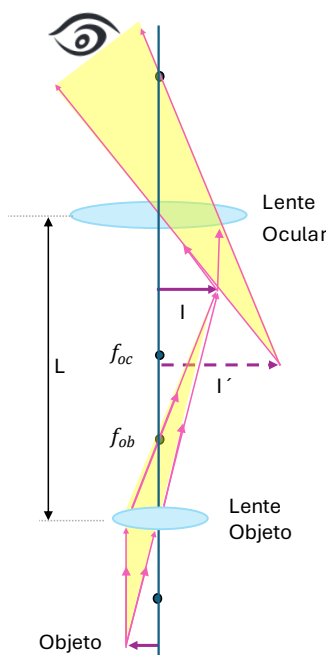


Fig. 4-P10. Modelo simple de microscopio óptico.

El aumento total del microscopio compuesto resulta del producto de los aumentos individuales de ambos componentes:

$$A_{\text{total}} = A_{\text{objetivo}} \times A_{\text{ocular}}$$

Los fabricantes indican estos valores mediante notaciones como 10x, 40x o 100x grabadas directamente en cada componente. Por ejemplo, un microscopio equipado con objetivo de 40x y ocular de 10x proporciona un aumento total de 400 veces.

La distancia mecánica del microscopio, que separa el objetivo del ocular, debe calcularse cuidadosamente para asegurar que la imagen intermedia se forme en la posición adecuada. Esta distancia se relaciona directamente con las distancias focales de ambas lentes y determina las características finales de la imagen observada. En microscopios estándar, esta separación típicamente oscila entre 15 y 20 cm.

El poder de resolución del microscopio óptico enfrenta limitaciones fundamentales impuestas por la naturaleza ondulatoria de la luz. La difracción limita la capacidad de distinguir detalles menores que aproximadamente la mitad de la longitud de onda de la luz utilizada, estableciendo un límite teórico de resolución cercano a 200 nanómetros para luz visible. Esta limitación física explica por qué resulta imposible observar estructuras moleculares mediante microscopía óptica convencional.

3.10.3. Telescopio refractor: principios fundamentales y aplicaciones en observación astronómica

El telescopio refractor adapta los principios de amplificación óptica para observar objetos distantes, invirtiendo conceptualmente el desafío del microscopio. Mientras el microscopio amplifica objetos pequeños cercanos, el telescopio amplifica el ángulo bajo el cual observamos objetos lejanos, haciéndolos aparecer más próximos y detallados.

El telescopio refractor kepleriano, configuración que exploraste en el simulador, emplea dos lentes convergentes con funciones especializadas. El objetivo, caracterizado por su gran distancia focal, recolecta la luz proveniente de objetos distantes y forma una imagen real en su plano focal. Esta imagen, aunque de tamaño reducido, contiene toda la información óptica del objeto observado. El ocular, funcionando como lupa, amplifica esta imagen intermedia para producir la imagen virtual final que observa el usuario.

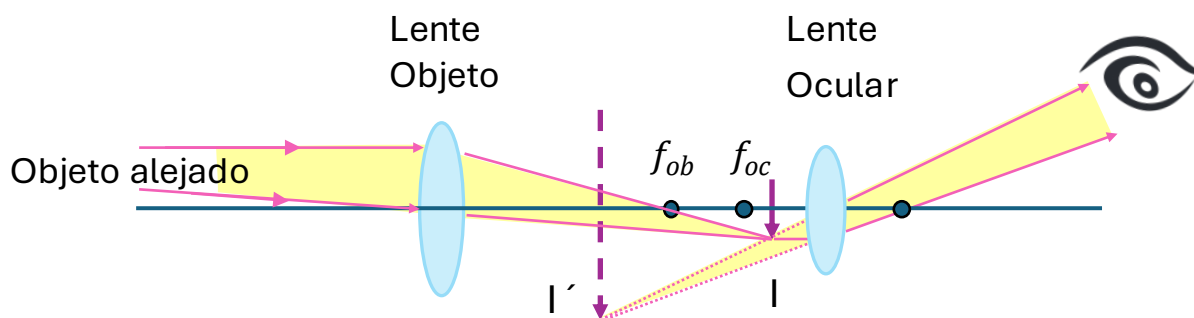


Fig. 5-P10. Esquema de la formación de imagen en un telescopio formado por dos lentes convergentes.

El aumento angular del telescopio refractor se expresa mediante la relación entre las distancias focales de sus componentes:

$$A = \frac{f_{\text{objetivo}}}{f_{\text{ocular}}}$$

Esta ecuación revela el principio de diseño fundamental: objetivos de gran distancia focal combinados con oculares de distancia focal corta producen los mayores aumentos. Por ejemplo, un telescopio con objetivo de 100 cm de distancia focal y ocular de 2.5 cm proporciona un aumento de 40 veces.

La separación entre las lentes del telescopio refractor debe igualar aproximadamente la suma de sus distancias focales cuando se enfoca al infinito, configuración óptima para observación astronómica. Esta condición asegura que los rayos paralelos provenientes de objetos muy distantes converjan adecuadamente para formar imágenes nítidas.

La capacidad de recolección de luz del telescopio, determinada por el diámetro del objetivo, constituye una característica tan importante como el aumento. Objetivos de mayor diámetro capturan más luz, permitiendo observar objetos más débiles y proporcionando imágenes más brillantes y detalladas. Esta relación explica por qué los telescopios astronómicos profesionales priorizan grandes diámetros de objetivo sobre aumentos extremos.

Las aplicaciones del telescopio refractor se extienden desde la observación astronómica amateur hasta aplicaciones terrestres especializadas. Estos instrumentos permiten la observación detallada de cráteres lunares, planetas del sistema solar y cúmulos estelares visibles desde nuestras latitudes, contribuyendo tanto a la educación científica como al desarrollo de la astronomía regional.

4. Elaborar (Elaborate)

En esta fase, aplicarás los principios ópticos fundamentales estudiados para resolver situaciones prácticas que involucren el diseño, análisis y optimización de instrumentos

ópticos en contextos reales del entorno, fortaleciendo habilidades de pensamiento crítico y aplicación tecnológica.

Ejercicio 1: Un agricultor necesita examinar detalladamente las hojas de sus plantas de tomate para detectar signos tempranos de plagas. Decide construir una lupa simple utilizando una lente convergente con distancia focal de 4.2 cm. ¿Qué aumento angular proporcionará esta lupa cuando se utilice en condiciones óptimas de observación?



Solución:

Análisis del proceso:

La lupa simple funciona creando una imagen virtual ampliada de objetos colocados dentro de su distancia focal. El aumento angular máximo se obtiene cuando el objeto se sitúa muy cerca del foco de la lente y la imagen virtual se forma a la distancia mínima de visión clara del ojo humano (25 cm). Este principio se basa en la amplificación del ángulo bajo el cual se observa el objeto, permitiendo al agricultor detectar detalles que serían imperceptibles a simple vista.

Identificación de los datos:

$d_f = 4.2 \text{ cm}$.

Sustituciones y cálculos:

El aumento angular máximo de una lupa simple se calcula mediante:

$$A = \frac{25 \text{ cm}}{f}$$

Sustituyendo la distancia focal conocida:

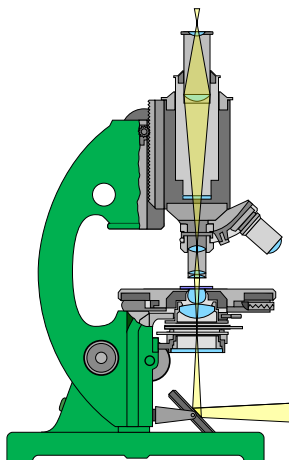
$$A = \frac{25 \text{ cm}}{4.2 \text{ cm}} = 5.95$$

Conclusión:

La lupa proporcionará un aumento angular de aproximadamente 6 veces, permitiendo al agricultor observar detalles en las hojas con una resolución significativamente mayor.

Ejercicio 2: El laboratorio de biología adquiere un nuevo microscopio compuesto para estudios de células vegetales. El microscopio cuenta con tres objetivos intercambiables de 10x, 40x y 100x, y dos oculares de 5x y 15x respectivamente. Los estudiantes necesitan observar cloroplastos en células de Elodea, estructuras que requieren un aumento

mínimo de 400 veces para ser claramente visibles. ¿Qué combinaciones de objetivo y ocular permitirán esta observación, y cuál proporcionará el aumento máximo disponible en el sistema?



Solución:

Análisis del proceso:

El microscopio compuesto logra grandes aumentos mediante la multiplicación de los aumentos individuales del objetivo y el ocular. El objetivo forma una primera imagen real ampliada del objeto, que posteriormente es amplificada por el ocular actuando como lupa. Para determinar las combinaciones viables, debemos calcular el aumento total de cada configuración posible y compararla con el requisito mínimo de 400x.

Identificación de los datos:

El microscopio dispone de objetivos de 10x, 40x y 100x, oculares de 5x y 15x, y se requiere un aumento mínimo de 400x para visualizar cloroplastos.

Sustituciones y cálculos:

El aumento total se calcula como:

$$A_{\text{total}} = A_{\text{objetivo}} \times A_{\text{ocular}}$$

Evalutando todas las combinaciones posibles:

- Objetivo 10x + Ocular 5x: $A = 10 \times 5 = 50x$ (insuficiente)
- Objetivo 10x + Ocular 15x: $A = 10 \times 15 = 150x$ (insuficiente)
- Objetivo 40x + Ocular 5x: $A = 40 \times 5 = 200x$ (insuficiente)
- Objetivo 40x + Ocular 15x: $A = 40 \times 15 = 600x$ (válida)
- Objetivo 100x + Ocular 5x: $A = 100 \times 5 = 500x$ (válida)
- Objetivo 100x + Ocular 15x: $A = 100 \times 15 = 1500x$ (máxima)

Conclusión:

Tres combinaciones permiten observar cloroplastos: objetivo 40x con ocular 15x (600x), objetivo 100x con ocular 5x (500x), y objetivo 100x con ocular 15x (1500x). La

configuración de máximo aumento utiliza el objetivo 100x con el ocular 15x, proporcionando 1500 aumentos. Para estudios detallados de cloroplastos, se recomienda iniciar con la combinación 40x/15x (600x) que ofrece un buen balance entre aumento y campo de visión, reservando la configuración máxima para análisis de estructuras ultraespecíficas dentro de los cloroplastos.

5. Evaluar (Evaluate)

En esta fase final, pondrás a prueba tu comprensión integrada de los principios ópticos instrumentales mediante actividades que evalúan tanto la aplicación conceptual como el análisis crítico de situaciones reales, promoviendo la reflexión sobre tu proceso de aprendizaje y la transferencia de conocimientos a contextos diversos.

5.1. Preguntas cualitativas

1. Un pescador observa que al utilizar una lupa para examinar sus redes de pesca sumergidas parcialmente en agua, las imágenes aparecen distorsionadas comparadas con la observación en aire.
2. Analiza las diferencias fundamentales entre el diseño de un microscopio utilizado para estudiar microorganismos en muestras de agua de esteros en una ciudad y un telescopio empleado para observar planetas desde zonas rurales del estado.
3. Si un microscopio permite observar células que no podemos ver a simple vista, ¿por qué no basta con aumentar el tamaño de las lentes para ver objetos aún más pequeños?
4. Un estudiante construye un telescopio casero utilizando lentes convergentes disponibles localmente, pero observa que las imágenes de la Luna aparecen invertidas y con bordes coloreados. Explica por qué ocurren estos fenómenos en telescopios refractores simples.
5. Si al observar una muestra con el microscopio aumentas la potencia del objetivo, ¿por qué parece que la imagen se oscurece o pierde nitidez, en lugar de volverse más clara y detallada?

5.2. Problemas cuantitativos

1. Un gemólogo utiliza una lupa con distancia focal de 2.8 cm para examinar piedras preciosas. ¿Cuál es el aumento angular máximo que proporciona esta lupa?

Respuesta: 8.9 veces.

2. El laboratorio del Hospital adquiere un microscopio con objetivo de 60x y ocular de 12x, separados por una distancia mecánica de 18 cm. ¿Cuál es el aumento total del sistema microscópico?

Respuesta: 720 veces.

3. Un astrónomo amateur construye un telescopio refractor utilizando un objetivo de 80 cm de distancia focal y un ocular de 4.0 cm de distancia focal. ¿Qué aumento angular proporciona este telescopio?

Respuesta: 20 veces.

4. Una estudiante necesita una lupa que proporcione exactamente 12 aumentos para sus estudios de biología marina. ¿Qué distancia focal debe tener la lente convergente utilizada?

Respuesta: 2.1 cm.

5. El observatorio astronómico planea adquirir un telescopio con aumento de 150x utilizando un ocular de 6.0 mm de distancia focal. ¿Qué distancia focal debe tener el objetivo del telescopio?

Respuesta: 90 cm.

CÁPSULA SEMANAL

11

Asesoría presencial grupal (APG)	Asesorías personalizadas o por equipo (AP)	Autoestudio (AUTE)
1 hora	1 hora	2 hora

Cápsula Semanal 11: Fenómenos ondulatorios de la luz

Progresión de Aprendizaje 11
Explorar los fenómenos ondulatorios de la luz mediante el estudio de interferencia, difracción y polarización, estableciendo las limitaciones del modelo geométrico. Analizar las condiciones necesarias para la interferencia luminosa y los patrones de intensidad resultantes, integrando aplicaciones prácticas en instrumentos ópticos y tecnología moderna.
Metas de aprendizaje
CC. Explicar los fenómenos ondulatorios de la luz y sus aplicaciones tecnológicas contemporáneas.
CT1. Identificar patrones de interferencia y difracción en diferentes configuraciones experimentales.
CT2. Analizar causa-efecto en la formación de patrones ondulatorios.
CT4. Modelar sistemas ópticos considerando efectos ondulatorios.
CT6. Evaluar estructura y función de dispositivos basados en fenómenos ondulatorios.
CT7. Examinar la evolución de aplicaciones tecnológicas basadas en óptica ondulatoria.
Concepto central
CC. Óptica
Conceptos transversales
CT1. Patrones
CT2. Causa y efecto
CT4. Sistemas
CT6. Estructura y función
CT7. Estabilidad y cambio

1. Introducción General

Esta cápsula semanal te permitirá descubrir los fascinantes fenómenos ondulatorios de la luz que observas diariamente: desde los colores iridiscentes en burbujas de jabón hasta

los arcoíris tras las lluvias costeras. Explorarás experimentalmente la interferencia, difracción y polarización mediante simulaciones virtuales y actividades prácticas, comprendiendo cómo estos principios físicos fundamentan tecnologías modernas como pantallas LCD, sistemas de comunicación óptica e instrumentos de precisión agrícola. Desarrollarás habilidades de análisis crítico y pensamiento científico mientras construyes explicaciones fundamentadas sobre estos fenómenos que trascienden la óptica geométrica tradicional.

2. Empezar (Engage) y Explorar (Explore)

En esta fase inicial, asumirás el papel activo de investigador científico, manipulando variables experimentales, observando resultados sistemáticamente y construyendo explicaciones fundamentadas sobre los fenómenos ondulatorios luminosos mediante experiencias virtuales y análisis guiado.

Actividad práctica: Descubriendo los secretos ondulatorios de la luz

Objetivo: Explorar sistemáticamente los fenómenos de interferencia y difracción luminosa mediante manipulación virtual de parámetros físicos fundamentales, para comprender cómo la naturaleza ondulatoria de la luz genera patrones predecibles que trascienden las limitaciones de la óptica geométrica tradicional.

Contexto científico:

El simulador que utilizarás recrea virtualmente el laboratorio donde Thomas Young demostró en 1801 que la luz se comporta como una onda. Cuando haces pasar luz a través de una o varias rendijas muy estrechas, ocurren fenómenos imposibles de explicar si la luz fuera simplemente partículas viajando en línea recta. La interferencia surge cuando múltiples rendijas permiten que las ondas luminosas se superpongan, creando patrones de franjas brillantes y oscuras. La difracción aparece incluso con una sola rendija, mostrando cómo la luz se “curva” alrededor de obstáculos pequeños. Este simulador te permite modificar en tiempo real el ancho de las rendijas, su separación, el número de rendijas y el color (longitud de onda) de la luz, observando inmediatamente cómo cada cambio transforma los patrones resultantes tanto visual como gráficamente.

Enlace Web:

<https://www.educaplus.org/game/interferencia-y-difraccion>

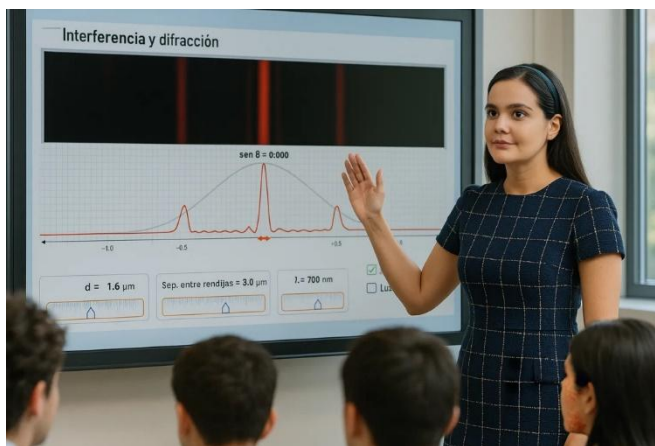


Fig. 1-P11. Simulador virtual del experimento de Thomas Young. Fuente: educaplus.

Procedimiento:

Explora la interferencia básica. Inicia con la configuración predeterminada del simulador y observa atentamente tanto la imagen superior (patrón visual) como la gráfica inferior (distribución de intensidad). Identifica las franjas brillantes (máximos de intensidad) y las franjas oscuras (mínimos) en ambas representaciones. Usa el control deslizante de longitud de onda para cambiar gradualmente el color de la luz desde rojo hasta violeta, notando cómo el espaciamiento entre franjas se modifica: la luz roja (mayor λ) produce franjas más separadas que la luz azul (menor λ).

Ajusta la separación entre rendijas usando el control correspondiente y observa el efecto inmediato en el patrón. Confirma que al aumentar la separación, las franjas se vuelven más estrechas y viceversa. Después, modifica el ancho de cada rendija individual y nota cómo rendijas más estrechas generan patrones que se extienden más ampliamente, mientras que rendijas más anchas concentran la luz en regiones más pequeñas.

Utiliza el control para cambiar el número de rendijas desde 1 hasta 10 o más. Con una sola rendija, observarás difracción pura: un máximo central intenso con máximos secundarios más débiles. Con dos rendijas, aparece el clásico patrón de interferencia. Con múltiples rendijas, las franjas se vuelven más nítidas y definidas, simulando el comportamiento de una red de difracción.

Marca la casilla “Factor de difracción” para observar cómo la difracción individual de cada rendija modula el patrón global de interferencia, creando una envolvente que limita la intensidad de las franjas laterales. Posteriormente, activa “Luz blanca” para ver cómo la superposición de todas las longitudes de onda visibles genera espectros coloridos similares a los que observas en un CD bajo luz solar.

Preguntas guía:

1. Al cambiar el color de la luz de rojo a azul manteniendo constantes los demás parámetros, ¿cómo se modifica el patrón de franjas y qué nos revela esto sobre la relación fundamental entre longitud de onda y espaciamiento de interferencia?
2. Compara los patrones obtenidos con 1, 2, 5 y 10 rendijas utilizando la misma longitud de onda. ¿Cómo evoluciona la nitidez de las franjas?
3. Cuando activas simultáneamente el factor de difracción y usas luz blanca, ¿qué semejanza encuentras con fenómenos naturales que observas en tu entorno?

3. Explicar (Explain)

En esta fase, construirás el marco conceptual científico que explica las fascinantes observaciones realizadas durante la exploración experimental, conectando sistemáticamente los patrones observados en el simulador con los principios fundamentales de la óptica ondulatoria mediante explicaciones estructuradas y progresivas.

3.11. Fenómenos ondulatorios de la luz

Los patrones de franjas luminosas que observaste en el simulador virtual revelan una verdad fundamental sobre la naturaleza de la luz: trasciende completamente el modelo de rayos rectilíneos de la óptica geométrica. Cuando manipulaste la longitud de onda y

notaste cambios en el espaciamiento de franjas, o cuando modificaste la separación entre rendijas y observaste variaciones en el patrón, estabas presenciando manifestaciones directas de la naturaleza ondulatoria luminosa. Estos fenómenos, que también aprecias cotidianamente en los colores cambiantes de las burbujas de jabón en los mercados o en los arcoíris que siguen a las lluvias costeras, exigen una comprensión ondulatoria para su explicación científica completa.

3.11.1. Interferencia luminosa: superposición constructiva y destructiva de ondas

Recuerda los patrones regulares de franjas brillantes y oscuras que observaste en el simulador cuando la luz pasaba a través de dos rendijas. Estos patrones revelan el fenómeno de interferencia luminosa, donde dos o más ondas electromagnéticas se superponen en el espacio, creando regiones de intensidad máxima y mínima de manera predecible. La interferencia representa la evidencia más directa del carácter ondulatorio de la luz, confirmando la hipótesis que Thomas Young propuso en 1801 mediante su revolucionario experimento de la doble rendija.

Para comprender cómo se forman estos patrones, considera que cuando la luz de una fuente coherente se divide en dos ondas (una por cada rendija), estas ondas se propagan independientemente hasta encontrarse en la pantalla de observación. En algunos puntos, las ondas llegan en fase (las crestas coinciden con crestas y los valles con valles), produciendo interferencia constructiva que resulta en franjas brillantes. En otros puntos, las ondas llegan en oposición de fase (las crestas coinciden con valles), generando interferencia destructiva que produce franjas oscuras.

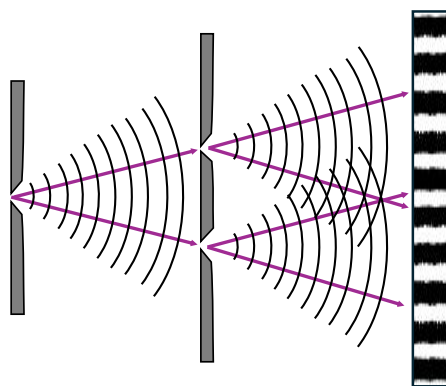


Fig. 2-P11. Experimento de interferencia de Thomas Young de la doble rendija.

La condición fundamental para que ocurra interferencia observable requiere que las fuentes sean coherentes, es decir, que mantengan una diferencia de fase constante en el tiempo y posean la misma frecuencia. Piensa en dos personas caminando al mismo ritmo (coherentes) versus dos personas con pasos descoordinados (incoherentes): solo en el primer caso podrías predecir dónde estarán sus pies en cualquier momento futuro.

Matemáticamente, la interferencia constructiva (franjas brillantes) ocurre cuando la diferencia de camino óptico entre las dos ondas es un múltiplo entero de la longitud de onda:

$$\delta = d \sin \theta = m \lambda$$

donde δ es la diferencia de camino, d la separación entre rendijas, θ el ángulo de observación, m un entero ($0, \pm 1, \pm 2, \dots$) llamado orden de interferencia, y λ la longitud de onda. La interferencia destructiva (franjas oscuras) se produce cuando:

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

Esta dependencia matemática explica por qué observaste en el simulador que al cambiar la longitud de onda (color de la luz), el espaciamiento entre franjas se modificaba proporcionalmente: la luz azul (λ menor) genera franjas más estrechas que la luz roja (λ mayor).

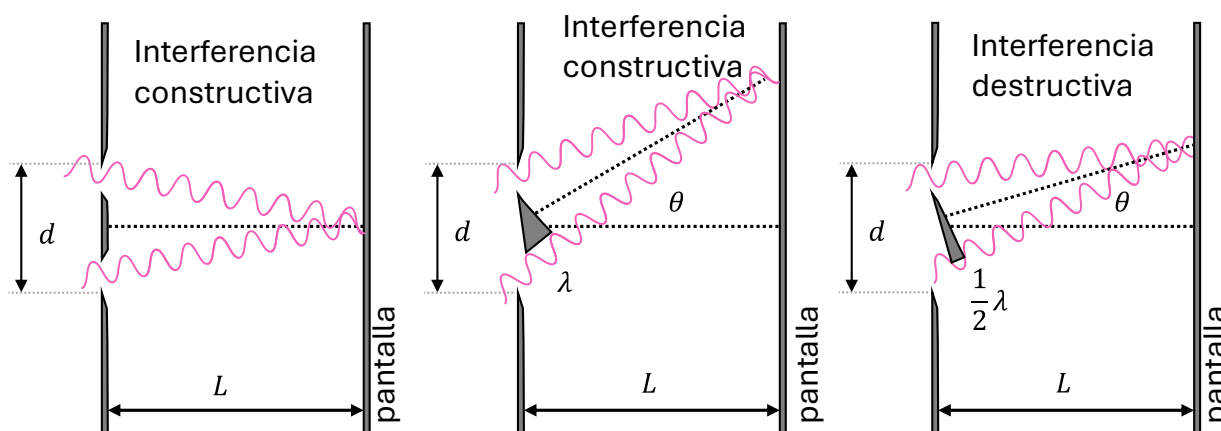


Fig. 3-P11. Representación esquemática de la interferencia de ondas luminosas. En ellas se produce interferencias constructivas e interferencia destructiva.

Los ejemplos abundan: los colores iridiscentes en las burbujas de jabón resultan de interferencia entre ondas reflejadas en las superficies interna y externa de la delgada película jabonosa; las manchas coloridas en charcos con aceite muestran el mismo principio; incluso los patrones en plumas de pelícanos y otras aves costeras se deben a estructuras microscópicas que generan interferencia. La interferometría moderna permite mediciones de precisión extraordinaria en tecnologías agrícolas, desde el control de calidad en invernaderos hasta la evaluación de superficies ópticas en equipos de investigación marina.

3.11.2. Difracción luminosa: curvatura de ondas alrededor de obstáculos

Cuando en el simulador exploraste la sección de difracción de rendija única, observaste un patrón diferente al de interferencia: una franja central intensa flanqueada por franjas laterales progresivamente más débiles. Este fenómeno, llamado difracción, revela otra característica fundamental de las ondas: su capacidad para “curvarse” alrededor de obstáculos y propagarse en regiones que la óptica geométrica predeciría como zonas de sombra perfecta.

La difracción se manifiesta de manera más pronunciada cuando el tamaño del obstáculo o abertura es comparable a la longitud de onda. Imagina ondas oceánicas encontrando una barrera: si la abertura en la barrera es mucho mayor que la longitud de onda, las ondas pasan casi sin perturbación; pero si la abertura es comparable a la longitud de onda, las ondas se “derraman” hacia los lados, llenando la región posterior con un patrón

ondulatorio complejo. Esto explica por qué la difracción luminosa se observa claramente solo con aberturas microscópicas, ya que la longitud de onda de la luz visible ($\approx 500 \text{ nm}$) es extraordinariamente pequeña.

A diferencia de la interferencia, que requiere múltiples fuentes coherentes, la difracción ocurre incluso con una sola abertura. El principio físico subyacente, formulado por Augustin Fresnel, establece que cada punto de un frente de onda actúa como fuente de ondas secundarias. Cuando la luz pasa por una rendija, diferentes regiones de la abertura generan ondas secundarias que interfieren entre sí, creando el patrón de difracción observado.

Para difracción de rendija única, el primer mínimo (primera franja oscura) aparece cuando:

$$a \sin \theta = \lambda$$

donde a es el ancho de la rendija. Observa que para aberturas más estrechas (menor a), el ángulo θ del primer mínimo aumenta, significando que el patrón se “ensancha”. Esto explica por qué observaste en el simulador que rendijas más estrechas producían patrones de difracción más amplios.

La difracción impone el límite fundamental de resolución en todos los instrumentos ópticos. El criterio de Rayleigh establece que dos fuentes puntuales están apenas resueltas cuando el máximo central del patrón de difracción de una coincide con el primer mínimo de la otra. Este límite angular está dado por:

$$\theta_{\min} = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

donde D es el diámetro de la apertura del instrumento. Esta ecuación explica por qué los telescopios astronómicos requieren grandes diámetros para lograr alta resolución, y por qué los radiotelescopios necesitan dimensiones enormes para compensar las longitudes de onda mucho mayores de las ondas de radio.

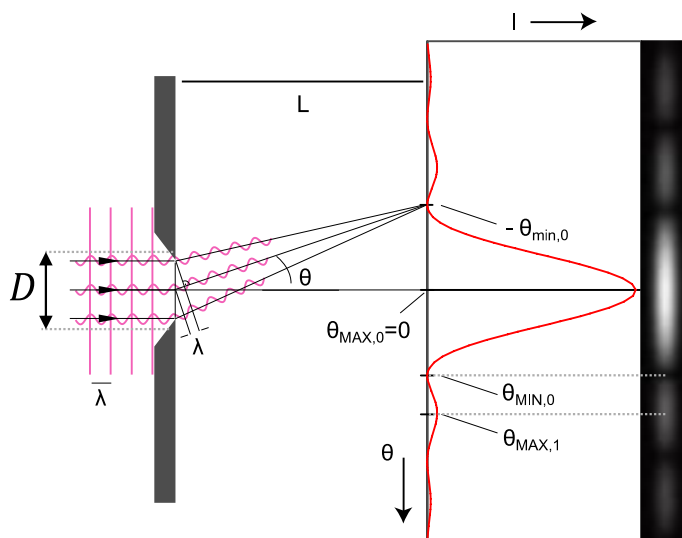


Fig. 4-P11. Diagrama con grafica de la difracción producido al iluminar una rendija estrecha.

Estos principios son cruciales para el diseño de equipos ópticos utilizados en observatorios locales, sistemas de navegación marina y dispositivos de análisis agrícola de precisión.

3.11.3. Polarización luminosa: restricción direccional de oscilaciones electromagnéticas

La polarización representa una propiedad de las ondas electromagnéticas que revela su carácter tridimensional y transversal. Para comprender este concepto, visualiza la luz como ondas donde los campos eléctrico y magnético oscilan perpendicularmente entre sí y perpendiculares a la dirección de propagación, similar a como una cuerda tensa puede vibrar en diferentes planos perpendiculares a su longitud.

La luz natural, como la solar o la de una bombilla incandescente, es no polarizada, significando que las oscilaciones del campo eléctrico ocurren aleatoriamente en todas las direcciones perpendiculares a la propagación. Imagina múltiples cuerdas vibrando simultáneamente en todos los planos posibles: el resultado es un movimiento aparentemente caótico. La polarización restringe estas oscilaciones a una dirección específica, como si solo una cuerda vibrara en un plano definido.

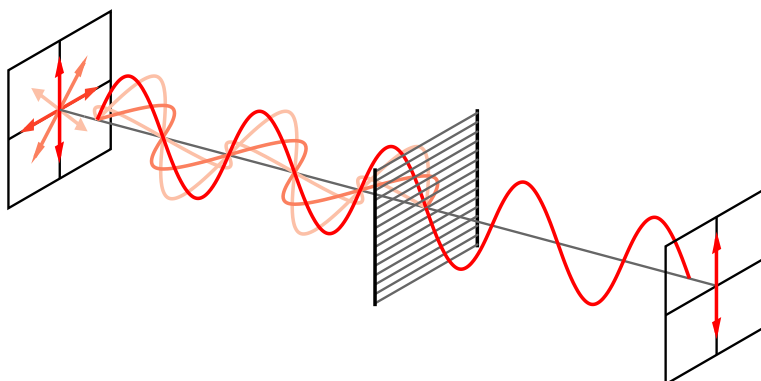


Fig. 5-P11. Ondas polarizadas a través de un polaroid.

La polarización puede ocurrir mediante varios mecanismos físicos. La reflexión es uno de los más importantes: cuando la luz incide sobre una superficie no metálica (como agua, vidrio o plástico), la componente reflejada se polariza parcialmente. El grado de polarización depende del ángulo de incidencia, alcanzando polarización completa en el ángulo de Brewster, dado por:

$$\tan \theta_B = \frac{n_2}{n_1}$$

donde n_1 y n_2 son los índices de refracción de los medios inicial y final respectivamente.

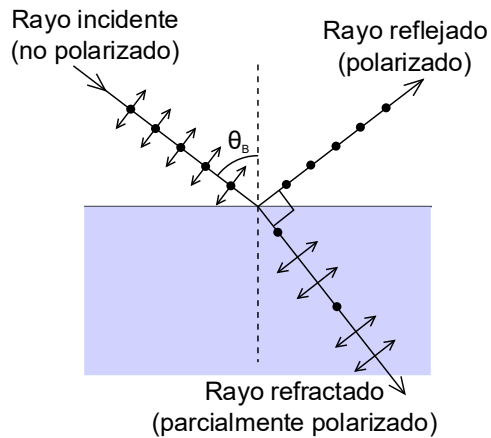


Fig. 6-P11. Rayo polarizado por la reflexión en la superficie del agua, la parte refractada se polariza parcialmente.

Este principio explica un fenómeno que puedes observar directamente en las costas: la luz solar reflejada en la superficie de esteros y lagunas se polariza parcialmente. Al usar gafas polarizadas y rotarlas, notarás variaciones en la intensidad luminosa, evidenciando esta polarización. Los pescadores locales aprovechan este fenómeno para reducir el deslumbramiento y mejorar la visibilidad submarina.

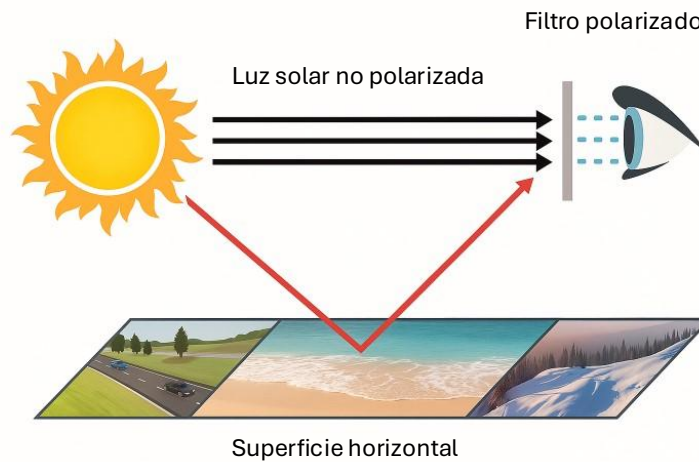


Fig. 7-P11. Luz solar reflejada en la superficie se polariza parcialmente.

Cuando luz polarizada atraviesa un material polarizador (como los filtros Polaroid), la intensidad transmitida sigue la ley de Malus:

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

donde I_0 es la intensidad incidente, I la intensidad transmitida, y θ el ángulo entre la dirección de polarización de la luz y el eje de transmisión del polarizador. Esta ecuación predice que cuando $\theta = 90^\circ$ (polarizaciones perpendiculares), la intensidad transmitida es cero, bloqueando completamente la luz.

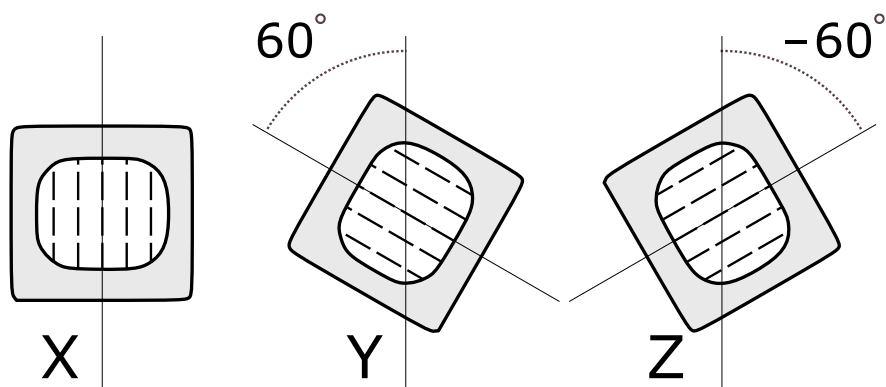


Fig. 8-P11. Polarizadores a diferentes ángulos.

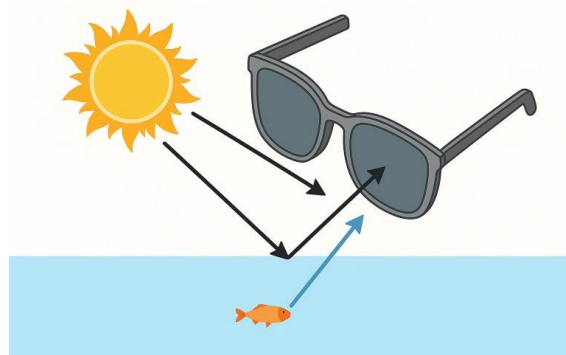
Las aplicaciones tecnológicas modernas de la polarización son extraordinariamente diversas. Las pantallas LCD de televisores, computadoras y teléfonos móviles funcionan manipulando la polarización de la luz mediante cristales líquidos controlados eléctricamente. En comunicaciones ópticas, diferentes estados de polarización multiplexan múltiples señales en la misma fibra óptica, duplicando la capacidad de transmisión. Los filtros polarizadores fotográficos eliminan reflejos indeseados y aumentan el contraste en imágenes. En agricultura de precisión, sensores polarimétricos detectan estrés en cultivos antes de que sea visible al ojo humano, optimizando el uso de recursos en la agricultura tecnificada.

La comprensión integrada de estos tres fenómenos ondulatorios proporciona las bases conceptuales para explicar una amplia gama de tecnologías contemporáneas y fenómenos naturales, desde los espectaculares atardeceres hasta los sistemas de comunicación global que conectan nuestra región con el mundo.

4. Elaborar (Elaborate)

En esta fase, aplicarás los conocimientos adquiridos sobre fenómenos ondulatorios luminosos en situaciones reales del contexto, fortaleciendo habilidades de pensamiento crítico, resolución de problemas y análisis reflexivo mediante la integración de principios teóricos con aplicaciones prácticas auténticas.

Ejercicio 1: En el puerto, un pescador observa que al usar sus gafas polarizadas puede ver con mayor claridad los peces bajo la superficie del agua en el estero. El ángulo de incidencia de la luz solar sobre la superficie del agua es de 37° , y el índice de refracción del agua es 1.33. Determine el ángulo de polarización (ángulo de Brewster) para esta superficie acuática y explique por qué las gafas polarizadas son tan efectivas para la pesca.



Solución:

Análisis del proceso:

Este problema aplica el concepto de polarización por reflexión, específicamente la ley de Brewster que establece las condiciones para polarización completa de la luz reflejada. Cuando la luz incide sobre una superficie dieléctrica a un ángulo específico (ángulo de Brewster), la componente reflejada se polariza completamente en dirección perpendicular al plano de incidencia. Las gafas polarizadas bloquean esta componente polarizada, eliminando el deslumbramiento y permitiendo mejor visibilidad submarina.

Identificación de los datos:

$n = 1.33$, $n_0 = 1.0$ y $\theta_i = 37^\circ$.

Sustituciones y cálculos:

El ángulo de Brewster se determina mediante la relación:

$$\tan \theta_B = \frac{n}{n_0}$$

donde θ_B es el ángulo de Brewster, n es el índice de refracción del agua y n_0 el del aire.

Sustituyendo los valores:

$$\tan \theta_B = \frac{1.33}{1.00} = 1.33$$

Por tanto:

$$\theta_B = \arctan(1.33) = 53.1^\circ$$

Conclusión:

El ángulo de Brewster para la superficie agua-aire es 53.1° . Aunque el ángulo de incidencia solar (37°) no coincide exactamente con este valor, la luz reflejada mantiene un grado significativo de polarización que las gafas polarizadas pueden bloquear eficazmente.

Ejercicio 2: unos estudiantes de ingeniería diseñan un sistema óptico para agricultura de precisión que utiliza interferencia luminosa para medir el espesor de películas protectoras en invernaderos. Si la luz utilizada tiene una longitud de onda de 589 nm en el aire, el índice de refracción del material de la película es 1.52, y se observa interferencia constructiva de segundo orden, calcule el espesor mínimo de la película que produce este patrón. Considere que la película está rodeada de aire por ambas superficies.



Solución:

Análisis del proceso:

Este problema involucra interferencia en películas delgadas, donde la luz se refleja en ambas superficies (superior e inferior) de la película, creando dos ondas que interfieren. Para interferencia constructiva en películas delgadas con índice de refracción mayor que el medio circundante, debe considerarse el cambio de fase de 180° en ambas reflexiones (se cancelan) y la condición de camino óptico para interferencia constructiva.

Identificación de los datos:

$\lambda_0 = 589 \text{ nm}$, $n = 1.52$, $n_0 = 1.00$.

Sustituciones y cálculos:

Para interferencia constructiva en películas delgadas, cuando ambas reflexiones experimentan cambio de fase, la condición es:

$$2nt = m\lambda_0$$

donde t es el espesor de la película, n el índice de refracción del material, m el orden de interferencia, y λ_0 la longitud de onda en el aire.

La longitud de onda dentro de la película es:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{589 \text{ nm}}{1.52} = 387.5 \text{ nm}$$

Para el segundo orden ($m = 2$):

$$2 \times 1.52 \times t = 2 \times 589 \text{ nm}$$

$$3.04t = 1178 \text{ nm}$$

$$t = \frac{1178}{3.04} = 387.5 \text{ nm}$$

Conclusión:

El espesor mínimo de la película para producir interferencia constructiva de segundo orden es 387.5 nm . Esta aplicación demuestra cómo los principios de interferencia luminosa se aplican en tecnología agrícola avanzada, permitiendo el control de calidad no destructivo de materiales protectores en invernaderos.

5. Evaluar (Evaluate)

En esta fase final, pondrás a prueba tu comprensión integral de los fenómenos ondulatorios luminosos mediante actividades de evaluación que integran conceptos teóricos, aplicaciones prácticas y reflexión crítica sobre tu propio proceso de aprendizaje científico.

5.1. Preguntas cualitativas

1. ¿Por qué las burbujas de jabón que observas en los mercados muestran colores iridiscentes cambiantes, y cómo se relaciona este fenómeno con los experimentos de interferencia realizados en el simulador virtual?
2. Analiza cómo los principios de difracción limitan la resolución de los telescopios utilizados por los clubes de astronomía. Diseña una propuesta para mejorar la capacidad de observación considerando las restricciones económicas locales.
3. Evalúa la efectividad de las gafas polarizadas utilizadas por pescadores para reducir el deslumbramiento en diferentes momentos del día. ¿Qué evidencias experimentales podrías recopilar para demostrar cuantitativamente la mejora en la visibilidad submarina?
4. Propón un sistema de comunicación óptica para conectar comunidades rurales aisladas, explicando cómo los fenómenos de interferencia, difracción y polarización pueden afectar la transmisión de señales.
5. Compara y contrasta las aplicaciones de los fenómenos ondulatorios de la luz en tres sectores económicos importantes de Sinaloa: agricultura, pesca y turismo. ¿Cómo podrían integrarse estos principios físicos para desarrollar innovaciones tecnológicas que fortalezcan la competitividad regional en estos sectores?

5.2. Problemas cuantitativos

1. Una empresa desarrolla sensores ópticos para invernaderos. Su sistema láser de 632 nm pasa por una rendija de 0.15 mm. ¿Cuál es el ángulo del primer mínimo de difracción?

Respuesta: $\theta = 0.24^\circ$.

2. Los pescadores usan gafas polarizadas con eficiencia de 95%. Si la intensidad inicial de luz reflejada es 850 W/m^2 , ¿qué intensidad transmiten las gafas?

Respuesta: $I = 42.5 \text{ W/m}^2$.

3. Los estudiantes miden interferencia con láser verde (532 nm) en rendijas separadas 0.8 mm. A 2 m de distancia, ¿cuál es la separación entre franjas brillantes consecutivas?

Respuesta: $\Delta y = 1.33 \text{ mm}$.

4. Una película protectora de 280 nm con índice 1.45 cubre paneles solares. Para luz de 560 nm, ¿qué orden de interferencia constructiva se produce?

Respuesta: $m = 1$.

5. El radiotelescopio tiene apertura de 25 m y opera a 21 cm. ¿Cuál es su resolución angular mínima en grados?

Respuesta: $\theta = 0.49^\circ$.

CÁPSULA SEMANAL

12

Asesoría presencial grupal (APG)	Asesorías personalizadas o por equipo (AP)	Autoestudio (AUTE)
1 hora	1 hora	2 hora

Cápsula Semanal 12: óptica aplicada en tecnología y vida cotidiana

Progresión de Aprendizaje 12
Integrar los conocimientos de óptica aplicada mediante el análisis del sistema visual humano y sus defectos refractivos, la tecnología digital de captura de imágenes y los principios físicos de la fibra óptica. Evaluar las aplicaciones contemporáneas en telecomunicaciones y procesamiento de señales luminosas, estableciendo conexiones entre fundamentos teóricos y desarrollos tecnológicos actuales.
Metas de aprendizaje
CC. Sintetizar conocimientos de óptica en aplicaciones tecnológicas avanzadas y sistemas biológicos.
CT4. Modelar sistemas ópticos complejos integrando múltiples componentes y principios.
CT5. Analizar flujos de información mediante señales luminosas en sistemas de comunicación.
CT6. Relacionar estructura y función en sistemas visuales biológicos y artificiales.
CT7. Evaluar la evolución y proyección futura de tecnologías ópticas.
Concepto central
CC. Óptica
Conceptos transversales
CT4. Sistemas
CT5. Flujos y ciclos de la materia y la energía
CT6. Estructura y función
CT7. Estabilidad y cambio

1. Introducción General

Esta cápsula semanal te permitirá integrar los fundamentos ópticos estudiados previamente para comprender aplicaciones tecnológicas contemporáneas que impactan directamente tu vida cotidiana. Analizarás el funcionamiento del sistema visual humano, explorarás la tecnología de captura digital de imágenes y examinarás los principios físicos de las comunicaciones por fibra óptica. A través de simulaciones, experimentos y

problemas contextualizados, desarrollarás habilidades para modelar sistemas ópticos complejos, evaluar flujos de información luminosa y establecer conexiones entre estructura y función en dispositivos tecnológicos actuales, fortaleciendo tu pensamiento crítico científico.

2. Empezar (Engage) y Explorar (Explore)

En esta fase inicial, asumirás el rol de investigador activo para descubrir los principios fundamentales que rigen el funcionamiento de sistemas ópticos en aplicaciones tecnológicas contemporáneas. Manipularás variables controladas, observarás resultados sistemáticamente y construirás explicaciones fundamentadas sobre fenómenos ópticos presentes en dispositivos de uso cotidiano.

Actividad práctica: Corrección de defectos refractivos mediante lentes

Objetivo: Comparar el comportamiento de la luz en diferentes tipos de ojos (normal, miope e hipermetrope) y analizar cómo las lentes correctivas específicas restauran la formación adecuada de imágenes sobre la retina, utilizando un simulador interactivo que modela estos sistemas ópticos.

Contexto científico:

El ojo humano funciona como un sistema óptico que debe enfocar los rayos luminosos exactamente sobre la retina para producir imágenes nítidas. Cuando la forma del ojo no es la ideal, se producen defectos refractivos: en la miopía, el ojo es demasiado largo y los rayos convergen antes de la retina; en la hipermetropía, el ojo es demasiado corto y los rayos convergerían detrás de la retina. El simulador te permite visualizar estos tres casos (ojo normal, miope e hipermetrope) y observar cómo diferentes tipos de lentes correctivas modifican el trayecto de los rayos luminosos. Esta experiencia virtual utiliza los mismos principios de refracción que estudiaste anteriormente, aplicados a un problema real que afecta a millones de personas. Comprender estas diferencias te permitirá establecer conexiones con otros sistemas ópticos como cámaras digitales y telescopios.

Enlace Web:

https://javalab.org/en/correction_of_near_sightedness_en/

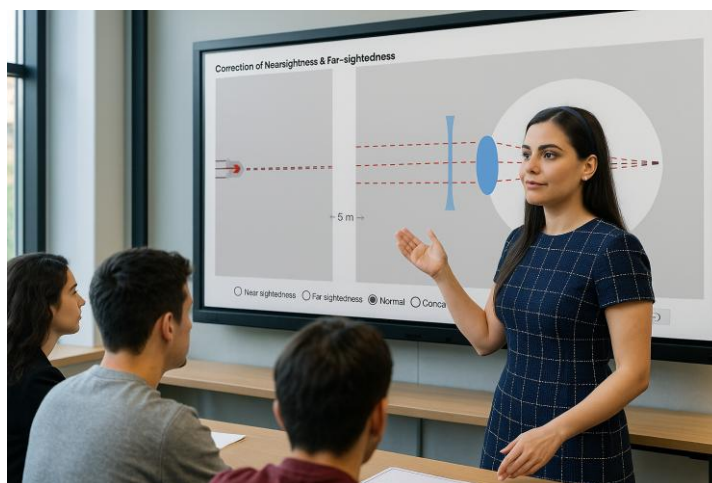


Fig. 1-P12. Simulador virtual el ojo humano. Fuente: javalab.org.

Procedimiento:

Inicia seleccionando “Normal” en los controles inferiores del simulador y observa atentamente el trayecto de los rayos rojos que parten del objeto (flecha) hacia el ojo. Nota cómo estos rayos convergen exactamente sobre la superficie posterior del ojo (la retina), formando una imagen nítida. Este es el comportamiento ideal que permite una visión clara sin necesidad de corrección óptica.

Cambia la configuración a “Near-sightedness” (miopía) y compara el nuevo trayecto de los rayos con el caso anterior. Observa que ahora los rayos convergen en un punto anterior a la retina, lo que produciría una imagen borrosa. Activa la opción “concave lens” y observa cómo esta lente divergente modifica el trayecto de los rayos para que converjan exactamente sobre la retina, corrigiendo el defecto refractivo.

Selecciona “Far-sightedness” (hipermetropía) y analiza el comportamiento de los rayos luminosos en este tercer caso. Observa que los rayos no logran converger antes de llegar a la retina, por lo que la imagen se formaría teóricamente detrás de ella. Experimenta activando primero “concave lens” y luego “convex lens” para identificar cuál tipo de lente corrige efectivamente este defecto. Registra qué tipo de lente funciona para cada defecto refractivo.

Preguntas guía:

1. ¿Por qué una lente cóncava (divergente) corrige la miopía mientras que una lente convexa (convergente) corrige la hipermetropía, considerando los principios de refracción que estudiaste previamente?
2. ¿Qué relación puedes establecer entre la posición donde convergen los rayos sin corrección y el tipo de lente necesaria para cada defecto refractivo?
3. ¿Cómo se relacionan estas observaciones del simulador con las experiencias de personas que usan anteojos en tu comunidad, y qué puedes inferir sobre el tipo de defecto refractivo según el grosor y forma de sus lentes?

3. Explicar (Explain)

En esta fase, profundizarás en los conceptos fundamentales de la óptica aplicada, retomando las observaciones realizadas durante la experimentación previa. Mediante explicaciones estructuradas y discusiones guiadas, establecerás conexiones sólidas entre los principios teóricos y las aplicaciones tecnológicas contemporáneas que transforman nuestra sociedad.

3.12. Óptica aplicada en tecnología y vida cotidiana

La óptica trasciende los límites del laboratorio para convertirse en el fundamento de tecnologías que definen nuestra experiencia cotidiana. Desde el momento en que nuestros ojos capturan los primeros rayos de luz matutina hasta la transmisión de datos a través de redes de fibra óptica que conectan comunidades globales, los principios ópticos operan constantemente en nuestro entorno. En el contexto, estas aplicaciones adquieren particular relevancia: los sistemas de comunicación por fibra óptica están revolucionando la conectividad en regiones rurales, las cámaras digitales permiten documentar nuestro rico patrimonio cultural, y los avances en corrección visual mejoran la calidad de vida de

millones de personas. Comprender estos fenómenos desde una perspectiva científica rigurosa nos permite apreciar la elegancia de los principios físicos fundamentales y su potencial transformador en aplicaciones tecnológicas contemporáneas.

3.12.1. Sistema visual humano: funcionamiento básico y defectos comunes de refracción

El ojo humano representa una obra maestra de ingeniería biológica que ha evolucionado durante millones de años para capturar y procesar información luminosa con extraordinaria eficiencia. Como sistema óptico, el ojo funciona esencialmente como una cámara biológica sofisticada, donde múltiples componentes trabajan coordinadamente para formar imágenes nítidas sobre la retina. La córnea actúa como la primera superficie refractiva, proporcionando aproximadamente el 65% del poder refractivo total del ojo, mientras que el cristalino, una lente biconvexa flexible, ajusta dinámicamente su curvatura para enfocar objetos a diferentes distancias mediante el proceso de acomodación.

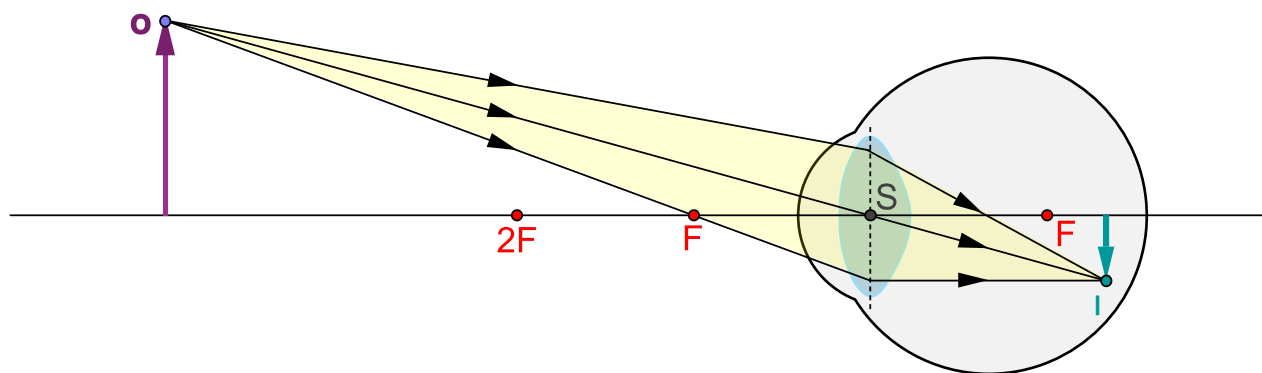


Fig. 2-P12. Diagrama anatómico del ojo mostrando el recorrido de los rayos luminosos desde el objeto hasta la retina.

Cuando el sistema visual funciona correctamente, los rayos luminosos procedentes de objetos distantes convergen precisamente sobre la retina sin necesidad de acomodación. Esta condición, conocida como emetropía, permite una visión clara a todas las distancias mediante los ajustes naturales del cristalino. Sin embargo, cuando existe un desajuste entre la longitud del globo ocular y el poder refractivo del sistema de lentes oculares, se producen defectos refractivos que comprometen la calidad visual.

La miopía constituye el defecto refractivo más común a nivel mundial, especialmente prevalente en poblaciones urbanas donde el trabajo visual cercano es intenso. En este caso, el ojo es excesivamente largo en relación con su poder refractivo, provocando que los rayos paralelos provenientes de objetos distantes converjan antes de alcanzar la retina.

En el ojo miope, la distancia de la imagen es menor que la distancia real hasta la retina, creando una imagen borrosa. La corrección se logra mediante lentes divergentes que aumentan la distancia focal efectiva del sistema.

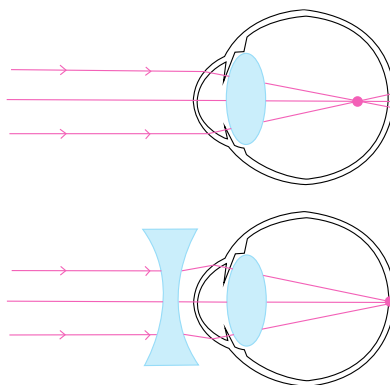


Fig. 3-P12. Comparación de diagramas mostrando el recorrido de rayos luminosos en ojo miope y ojo miope con corrección de lente divergente.

La hipermetropía representa la condición opuesta, donde el ojo es demasiado corto o su sistema refractivo es insuficientemente potente. Los rayos luminosos convergerían teóricamente detrás de la retina, obligando al sistema de acomodación a trabajar constantemente para lograr imágenes nítidas, incluso para objetos distantes. Esta sobrecarga del músculo ciliar produce fatiga visual y puede derivar en problemas de rendimiento académico o laboral. La corrección requiere lentes convergentes que incrementen el poder refractivo del sistema óptico.

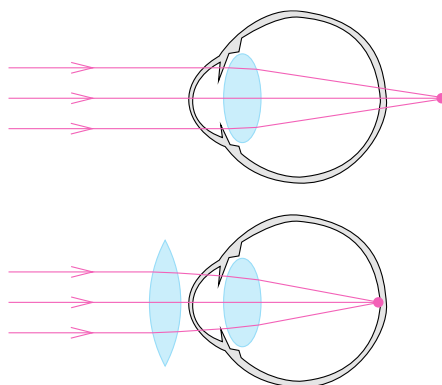


Fig. 4-P12. Comparación de diagramas mostrando el recorrido de rayos luminosos en ojo con hipermetropía y ojo con hipermetropía con corrección de lente convergente.

El astigmatismo introduce una complejidad adicional al presentar diferentes poderes refractivos en meridianos perpendiculares de la córnea. Esta irregularidad genera múltiples puntos focales, creando imágenes distorsionadas que requieren corrección mediante lentes cilíndricas. En el contexto, donde la exposición solar intensa puede contribuir al desarrollo de irregularidades corneales, la comprensión de estos principios resulta especialmente relevante para programas de salud visual comunitaria.

3.12.2. Tecnología digital de captura de imágenes: sensores y procesamiento de señal luminosa

La revolución digital en la captura de imágenes representa una aplicación directa del efecto fotoeléctrico, fenómeno cuántico descubierto por Heinrich Hertz en 1887 y explicado teóricamente por Albert Einstein en 1905. Este principio fundamental establece que la luz, al incidir sobre ciertos materiales semiconductores, puede liberar electrones y

generar corrientes eléctricas proporcionales a la intensidad luminosa incidente. La ecuación de Einstein para el efecto fotoeléctrico describe esta relación:

$$E = hf - \phi$$

donde E representa la energía cinética del electrón liberado, h es la constante de Planck ($6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$), f la frecuencia de la radiación incidente y ϕ la función trabajo del material semiconductor.

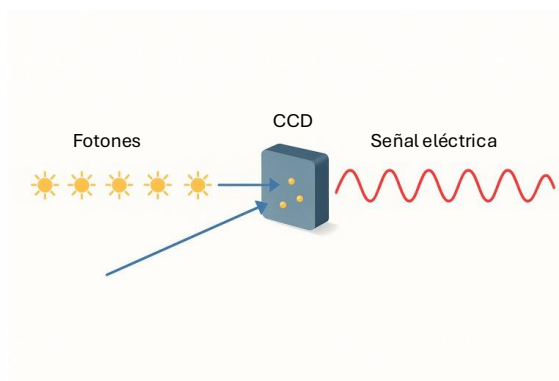


Fig. 5-P12. Diagrama esquemático mostrando la conversión de fotones en señales eléctricas en un pixel.

Los sensores de imagen modernos, principalmente CCD (Charge-Coupled Device) y CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor), contienen matrices de millones de fotosensores microscópicos denominados píxeles. Cada píxel funciona como un pozo de potencial que acumula carga eléctrica proporcional al número de fotones recibidos durante el tiempo de exposición. La relación entre la señal generada y la luz incidente se expresa mediante:

$$Q = \eta \cdot \Phi \cdot t$$

donde Q representa la carga acumulada, η la eficiencia cuántica del sensor (típicamente entre 0.3 y 0.9), Φ el flujo de fotones incidentes y t el tiempo de exposición. Esta ecuación fundamental explica por qué exposiciones más prolongadas o mayor intensidad luminosa producen señales más intensas en la imagen final.

La captura de información cromática requiere un enfoque ingenioso, ya que los sensores de silicio son inherentemente monocromáticos. La matriz de Bayer, inventada por Bryce Bayer en 1976, resuelve este desafío distribuyendo filtros de color rojo, verde y azul sobre los píxeles individuales en un patrón específico. Interessantemente, el patrón incluye el doble de píxeles verdes que rojos o azules, reflejando la mayor sensibilidad del sistema visual humano a las longitudes de onda centrales del espectro visible.

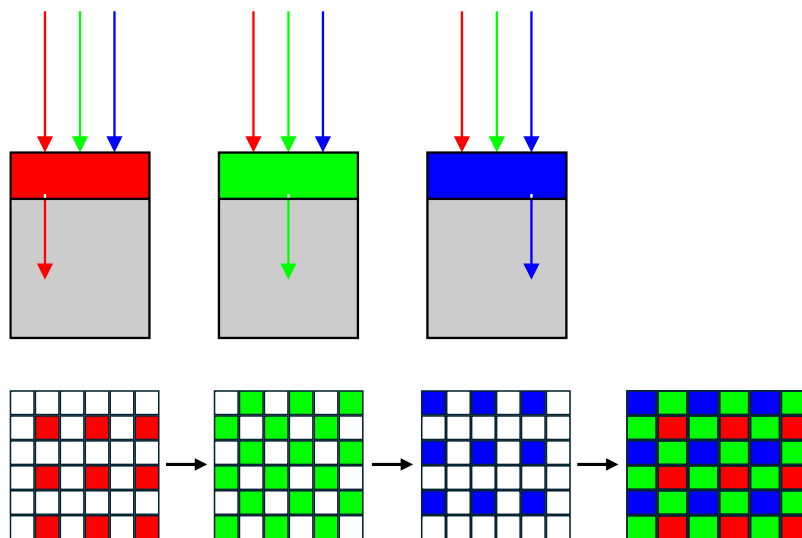


Fig. 6-P12. Ampliación microscópica de una matriz de Bayer mostrando la distribución de filtros RGB sobre píxeles individuales, con el patrón RGGB claramente identificado.

El procesamiento digital posterior interpola los datos cromáticos mediante algoritmos sofisticados que estiman los valores faltantes en cada píxel basándose en la información de píxeles adyacentes. Este proceso combina principios matemáticos con modelos de percepción visual humana para reconstruir imágenes a color naturales.

Esta tecnología ha democratizado la documentación visual, permitiendo que comunidades rurales capturen y preserven su patrimonio cultural, que investigadores documenten biodiversidad con precisión científica, y que emprendedores desarrollen contenido multimedia para mercados globales. La agricultura de precisión utiliza sensores especializados que capturan radiación infrarroja para monitorear la salud de cultivos, mientras que aplicaciones médicas emplean sensores de alta sensibilidad para procedimientos diagnósticos avanzados.

3.12.3. Fibra óptica: principios físicos y aplicaciones en telecomunicaciones modernas

La fibra óptica ejemplifica la elegante aplicación de un principio físico fundamental -la reflexión total interna- para resolver desafíos tecnológicos contemporáneos de comunicación global. Este fenómeno ocurre cuando la luz viaja de un medio con mayor índice de refracción hacia uno con menor índice, y el ángulo de incidencia supera un valor crítico específico. El ángulo límite para la reflexión total interna se determina mediante la ley de Snell:

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

donde θ_c representa el ángulo crítico, n_1 el índice de refracción del núcleo de la fibra y n_2 el índice del revestimiento, con la condición fundamental $n_1 > n_2$.

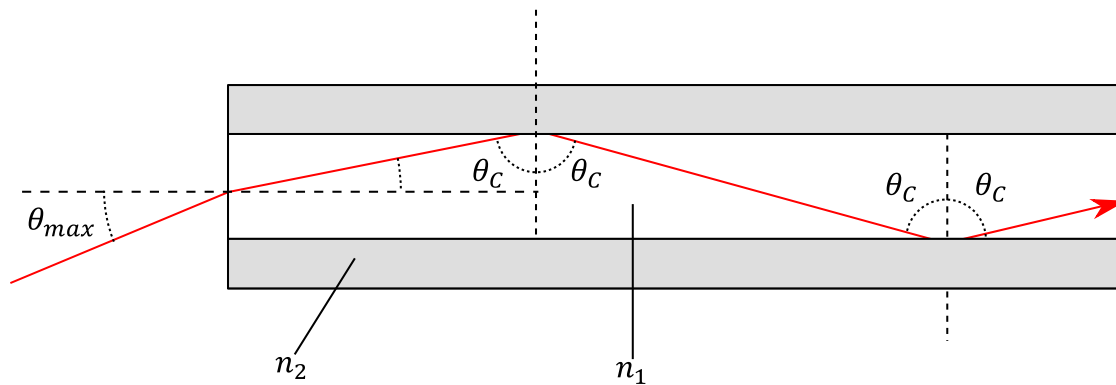


Fig. 7-P12. Diagrama de una fibra óptica en corte transversal mostrando el núcleo, revestimiento y recubrimiento, con rayos de luz propagándose mediante múltiples reflexiones internas totales.

Una fibra óptica típica consiste en un núcleo de vidrio ultra-puro de aproximadamente 8-10 micrómetros de diámetro (comparable a un glóbulo rojo humano), rodeado por un revestimiento de vidrio con índice de refracción ligeramente menor. Esta diferencia mínima, típicamente del 0.3%, resulta suficiente para confinar la luz mediante reflexiones sucesivas a lo largo de kilómetros de fibra con pérdidas extraordinariamente bajas.

La capacidad de transmisión de información depende del principio de modulación de la intensidad luminosa, donde señales digitales controlan la emisión de diodos láser a frecuencias que alcanzan gigahertz. En fibras ópticas de alta calidad, esta relación permite transmitir terabits de información por segundo a través de un hilo más delgado que un cabello humano.

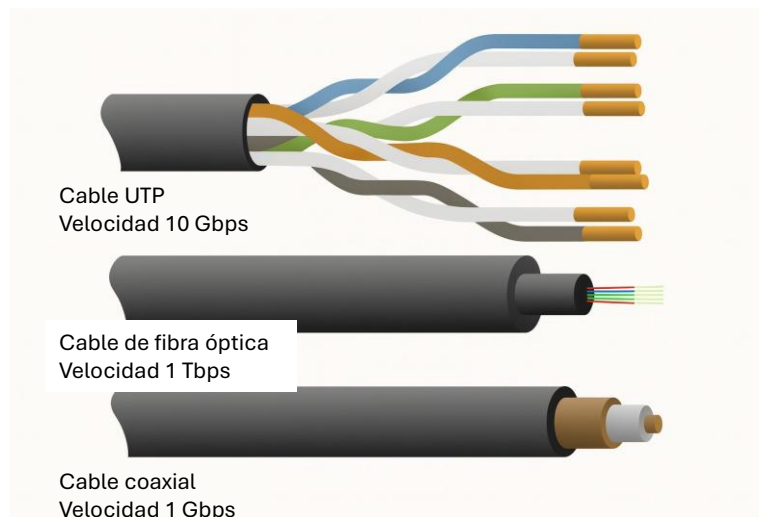


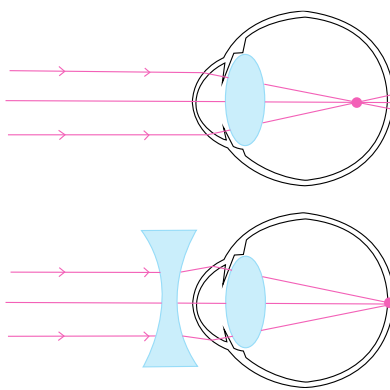
Fig. 8-P12. comparativo mostrando la capacidad de transmisión de datos entre cables de cobre tradicionales y fibra óptica.

Las ventajas de la fibra óptica sobre sistemas de transmisión tradicionales incluyen inmunidad a interferencias electromagnéticas, peso considerablemente menor, mayor capacidad de información y durabilidad superior. En aplicaciones médicas, las fibras ópticas permiten procedimientos endoscópicos mínimamente invasivos, iluminando cavidades corporales internas y transmitiendo imágenes de alta resolución hacia equipos de visualización externos.

4. Elaborar (Elaborate)

En esta fase, aplicarás los conocimientos adquiridos sobre óptica aplicada en situaciones reales del contexto, desarrollando habilidades de pensamiento crítico, resolución de problemas y análisis reflexivo. Los ejercicios presentados integran múltiples conceptos estudiados para abordar desafíos tecnológicos contemporáneos que requieren comprensión profunda de principios ópticos.

Ejercicio 1: Un optometrista atiende a un estudiante de 17 años que presenta dificultades para ver claramente objetos distantes en el aula. Durante el examen, determina que el ojo del paciente tiene una distancia focal de 22.5 mm cuando está completamente relajado, mientras que la distancia desde el cristalino hasta la retina es de 24.0 mm. ¿Qué potencia dióptrica debe tener la lente correctiva para permitir que el paciente vea objetos distantes con claridad?



Solución:

Análisis del proceso:

Este problema involucra la corrección de miopía mediante lentes divergentes. Cuando el ojo está relajado observando objetos distantes, el cristalino no debe acomodar y los rayos paralelos deberían converger exactamente sobre la retina. En este caso, el sistema óptico del ojo tiene exceso de poder refractivo, formando imágenes antes de la retina. La lente correctiva debe compensar este exceso reduciendo el poder refractivo total del sistema ojo-lente para que la imagen se forme exactamente sobre la retina.

Identificación de los datos:

$d_f = 22.5 \text{ mm}$, $d_r = 24.0 \text{ mm}$.

Sustituciones y cálculos:

Primero calculamos la potencia del ojo sin corrección usando $P = \frac{1}{f}$, donde f se expresa en metros:

$$P_{\text{ojo}} = \frac{1}{0.0225 \text{ m}} = 44.44 \text{ dioptrías}$$

Para visión clara de objetos distantes, la potencia necesaria debería ser:

$$P_{\text{necesaria}} = \frac{1}{0.024 \text{ m}} = 41.67 \text{ dioptrías}$$

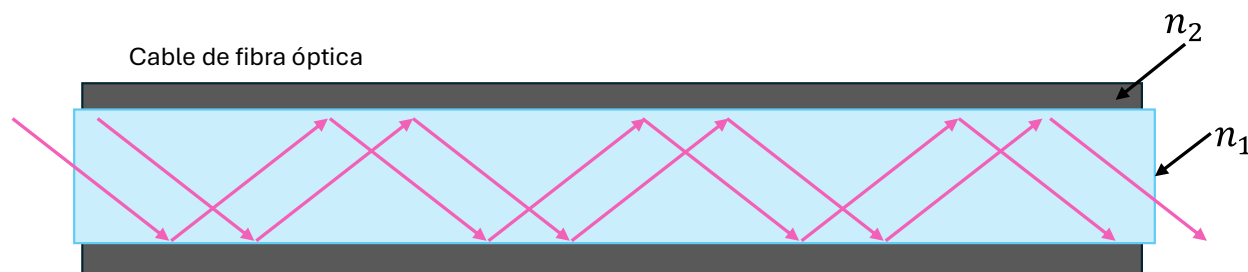
La potencia de la lente correctiva se obtiene de la diferencia:

$$P_{\text{lente}} = P_{\text{necesaria}} - P_{\text{ojo}} = 41.67 - 44.44 = -2.77 \text{ dioptrías}$$

Conclusión:

El estudiante requiere una lente correctiva de -2.77 dioptrías (aproximadamente -2.75 D en la práctica clínica). Este valor negativo confirma que necesita una lente divergente típica para corrección de miopía.

Ejercicio 2: Una empresa de telecomunicaciones instala un enlace de fibra óptica con una distancia de 385 km utilizando fibra con núcleo de índice de refracción $n_1 = 1.468$ y revestimiento con $n_2 = 1.465$. Si la señal luminosa viaja siguiendo un camino en zigzag con ángulo de 2.5° respecto al eje de la fibra, y considerando que la velocidad de la luz en el vacío es 3.00×10^8 m/s, ¿cuál será el tiempo de propagación de la señal y cuántos rebotes experimentará la luz en el núcleo de la fibra?



Solución:

Análisis del proceso:

Este problema integra los conceptos de reflexión total interna en fibra óptica, velocidad de propagación de la luz en medios materiales y geometría de la propagación. La luz viaja en zigzag debido a las reflexiones sucesivas, recorriendo una distancia mayor que la longitud física de la fibra. Primero verificamos que ocurra reflexión total interna, luego calculamos la velocidad efectiva y finalmente determinamos el tiempo de propagación y número de reflexiones.

Identificación de los datos:

$$d = 385 \text{ km}, n_1 = 1.468 \text{ y } n_2 = 1.465, \theta_p = 2.5^\circ \text{ y } c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s.}$$

Sustituciones y cálculos:

Verificamos la reflexión total interna calculando el ángulo crítico:

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1.465}{1.468} = 0.9980$$

$$\theta_c = \arcsin(0.9980) = 86.7^\circ$$

Como el ángulo de incidencia en la interfaz núcleo-revestimiento será $90^\circ - 2.5^\circ = 87.5^\circ$, que es mayor que 86.7° , se garantiza la reflexión total interna.

La velocidad de la luz en el núcleo de la fibra es:

$$v = \frac{c}{n_1} = \frac{3.00 \times 10^8}{1.468} = 2.044 \times 10^8 \text{ m/s}$$

La distancia real recorrida por la luz, considerando el ángulo de 2.5° :

$$d_{\text{real}} = \frac{385,000 \text{ m}}{\cos(2.5^\circ)} = \frac{385,000}{0.9990} = 385,385 \text{ m}$$

El tiempo de propagación es:

$$t = \frac{d_{\text{real}}}{v} = \frac{385,385}{2.044 \times 10^8} = 1.885 \times 10^{-3} \text{ s} = 1.89 \text{ ms}$$

Para estimar el número de reflexiones, asumimos un diámetro típico del núcleo de $10 \mu\text{m}$:

$$\text{Número de reflexiones} = \frac{d_{\text{real}} \cdot \tan(2.5^\circ)}{10 \times 10^{-6}} = \frac{385,385 \times 0.0436}{10 \times 10^{-6}} = 1.68 \times 10^9$$

Conclusión:

La señal luminosa tardará aproximadamente 1.89 milisegundos en propagarse, experimentando cerca de 1,680 millones de reflexiones totales internas en el núcleo de la fibra.

5. Evaluar (Evaluate)

En esta fase final, demostrarás tu dominio integrado de los conceptos de óptica aplicada mediante actividades de evaluación que abarcan los tres sistemas tecnológicos estudiados: visual humano, sensores digitales y fibra óptica. Estas evaluaciones combinan análisis teórico, aplicación práctica y reflexión crítica sobre tu proceso de aprendizaje, permitiéndote evidenciar la transferencia exitosa de principios físicos fundamentales hacia contextos tecnológicos contemporáneos.

5.1. Preguntas cualitativas

1. Un ingeniero biomédico diseña un endoscopio para cirugías mínimamente invasivas en el Hospital. Explica detalladamente cómo los principios de reflexión total interna en fibra óptica permiten simultáneamente iluminar el interior del cuerpo humano y transmitir imágenes de alta resolución hacia el exterior.
2. Analiza por qué los sensores de imagen CMOS han reemplazado progresivamente a los sensores CCD en aplicaciones de fotografía móvil.
3. Un estudiante observa que puede ver claramente de lejos sin anteojos durante el día, pero necesita acercarse mucho a los textos para leerlos por la noche. Explica este fenómeno integrando los conceptos de acomodación del cristalino.
4. Evalúa las ventajas y limitaciones de implementar redes de fibra óptica en comunidades rurales de la Sierra, considerando factores como resistencia ambiental, costos de instalación, capacidad de transmisión requerida y mantenimiento técnico.
5. Compara el funcionamiento del sistema visual humano con el de una cámara digital moderna, analizando similitudes y diferencias en términos de formación de imágenes, procesamiento de señales, adaptación a diferentes condiciones de iluminación y resolución espacial.

5.2. Problemas cuantitativas

1. Una óptica vende lentes de contacto para corregir miopía de -4.25 dioptrías. Si el índice de refracción del material es 1.42 y el radio de curvatura de la superficie posterior es 8.5 mm, ¿cuál debe ser el radio de curvatura de la superficie anterior?

Respuesta = 6.89 mm.

2. Un sensor CMOS de 12 megapíxeles con eficiencia cuántica del 65% captura una fotografía con tiempo de exposición de $1/60$ s. Si cada píxel recibe 2.5×10^6 fotones de longitud de onda promedio 550 nm, ¿cuántos electrones genera cada píxel durante la exposición?

Respuesta: 1.63×10^6 electrones.

3. Una fibra óptica instalada tiene núcleo con $n_1 = 1.472$ y revestimiento con $n_2 = 1.468$. Si un rayo de luz incide en el extremo de la fibra con ángulo de 12° respecto al eje, ¿cuál es el ángulo de incidencia en la primera reflexión interna?

Respuesta: 78.2° .

4. Un optometrista determina que un paciente hipermétrope puede leer claramente textos ubicados a 50 cm sin corrección, pero necesita lentes de $+2.0$ dioptrías para ver objetos distantes. ¿A qué distancia mínima puede enfocar objetos con los lentes puestos?

Respuesta: 33.3 cm.

5. En un laboratorio de biología, un estudiante utiliza un microscopio que, sin ajuste, permite enfocar claramente objetos situados a 40 cm de distancia. Sin embargo, el lente ocular tiene una potencia de $+3.5$ dioptrías, lo que le permite observar con nitidez detalles de muestras más alejadas. Determina a qué distancia mínima puede enfocar objetos con el lente ocular colocado.

Respuesta: 21 cm.

Referencias Bibliográficas

- Alonzo, A.C., y Gotwals, A.W. (Eds.). (2012). *Learning progressions in science: Current challenges and future directions*. Sense Publishers.
- Alvarado, J.A., Caro, J. de J., Varela, J.B., Y Hernández, O. (2012). *Estática y rotación del sólido: Bachillerato universitario*. Once Ríos.
- Alvarado, J.A., Valdés, P., y Caro, J. de J. (2008). *Mecánica 1: Bachillerato universitario*. Once Ríos.
- Alvarado, J.A., Valdés, P., y Varela, J.B. (2009). *Electromagnetismo: Bachillerato universitario*. Once Ríos.
- Alvarado, J.A., Valdés, P., y Varela, J.B. (2010). *Propiedades de la materia: Bachillerato universitario*. Once Ríos.
- Alvarado, J.A., Valdés, P., y Varela, J.B. (2012). *Electricidad y óptica: Bachillerato universitario*. Once Ríos.
- Alvarado, J.A., Valdés, P., y Varela, J.B. (2012). *Óptica: Bachillerato universitario*. Once Ríos.
- Alvarado, J.A., y Valdés, P. (2008). *Mecánica 2: Bachillerato universitario*. Once Ríos.
- Barbosa, J.G., Gutiérrez, C. del C., y Jiménez, J. A. (2015). *Termodinámica para ingenieros*. Patria.
- Bybee, R. W. (2015). *The BSCS 5E instructional model: Creating teachable moments*. National Science Teachers Association Press.
- Bybee, R. W. (2016). *El modelo de enseñanza 5E del BSCS: Creando momentos de enseñanza*. International Science Teaching Foundation.
- Çengel, Y. A., y Boles, M. A. (2014). *Termodinámica* (8ª ed.). McGraw-Hill.
- Serway, R.A., y Jewett, J.W. (2008). *Física para ciencias e ingeniería*. Volumen 1 (7ª ed.). Cengage Learning.
- Serway, R.A., y Vuille, C. (2018). *Fundamentos de física* (10ª ed.). Cengage Learning.
- Tippens, P.E. (2020). *Física: Conceptos y aplicaciones* (8ª ed.). McGraw-Hill.
- Young, H.D., y Freedman, R.A. (2018). *Física universitaria con física moderna 1*. Pearson.