Unidad 2

La luz

Situación 1

En esta unidad:

- **Conocerás y comprenderás:**
  - las teorías que explican el comportamiento de la luz;
  - la propagación de la luz y su interacción con la materia;
  - los espejos y la reflexión de la luz;
  - las lentes y la refracción de la luz.
- **Desarrollarás habilidades para:**
  - manejar relaciones matemáticas básicas para explicar fenómenos físicos;
  - identificar el problema de investigación, la hipótesis, el procedimiento y las conclusiones en una experiencia experimental.
  - procesar e interpretar datos;
  - resolver problemas de reflexión y refracción en espejos y lentes.
- **Desarrollarás actitudes para:**
  - promover conductas de autocuidado ante la radiación UV;
  - reconocer la importancia de los fenómenos ondulatorios en la sociedad actual.

www.yoquieroaprobar.es

Para comenzar...

Observa las fotografías y responde las siguientes preguntas.

En la situación 1:

1. La persona parece estar flotando. Explica cómo se puede lograr este efecto.

En la situación 2:

1. ¿Cuántas imágenes de la figura de madera se pueden ver?
2. ¿Son idénticas cada una de las imágenes observadas? Explica.
3. ¿Cómo se logra este efecto?

En la situación 3:

1. En el centro de cada recipiente se coloca una figura. En uno de los recipientes se agrega agua y se observa un cambio. Descríbelo.
2. ¿Por qué crees que ocurre esto?

Situación 2

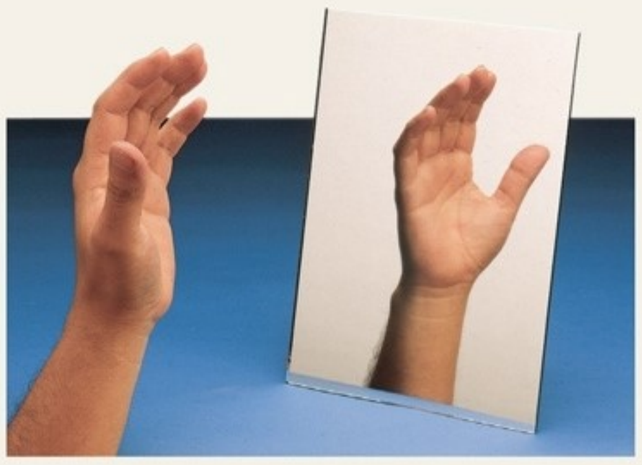
Situación 3

www.yoquieroaprobar.es

Evaluación diagnóstica

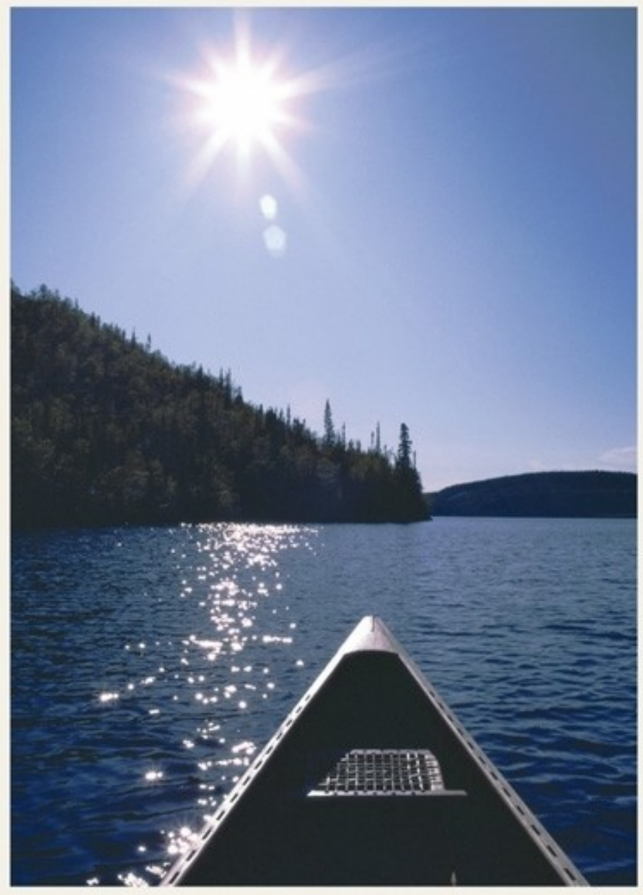
1 Indica qué propiedades de la luz se representan en cada imagen:

a. _____



b. _____

c. _____



d. _____

2 Señala tres diferencias entre las ondas mecánicas y las electromagnéticas. Guíate según los criterios de comparación que se indican en la tabla.

Ondas mecánicas	Criterio de comparación	Ondas electromagnéticas
	Velocidad de propagación.	
	Medio de propagación.	
	Dirección de la vibración.	

3 ¿Cuál de las siguientes propiedades de una onda cambia cuando ingresa a otro medio de propagación?

a. Velocidad. **b.** Frecuencia. **c.** Longitud de onda. **d.** Período. **e.** Amplitud.

4 Responde:

a. ¿Cuáles son las partículas elementales que forman el átomo? Descríbelas.
b. ¿Cómo es la estructura del átomo según los modelos de Bohr y el actual? Descríbela a través de un esquema.
c. Consulta una tabla periódica e indica el número de electrones, protones y neutrones de los elementos Li, C y O.

www.yoquieroaprobar.es

5 Uno de los primeros científicos que trató de determinar en forma exacta la velocidad de la luz fue Galileo Galilei en el siglo XVII. En esa época era aceptada la idea de que la luz se propagaba a una velocidad infinita, pero Galileo rehusó ese supuesto y propuso el siguiente experimento:

> *Dos personas, cada una llevando una lámpara, se ubican una frente a otra separadas por una distancia aproximada de 1,6 km. El observador 1 cubre la luz emitida por su lámpara hasta iniciar la medición de tiempo; el observador 2 destapa su lámpara en el instante preciso en que observa la señal luminosa de la otra persona. Finalmente, el observador 1 detiene la medición de tiempo al observar la señal luminosa del observador 2.*

En relación al experimento de Galileo, responde las siguientes preguntas:

a. ¿Cuál fue la hipótesis que Galileo puso a prueba con este experimento?
b. ¿En qué relación físico-matemática se basó Galileo para estimar la velocidad de la luz?
c. ¿Qué resultados habrá obtenido Galileo de este experimento? ¿Cuáles fueron sus conclusiones?

Considerando que actualmente el valor aceptado para la rapidez de la luz en el aire es $2{,}9991 \times 10^8$ m/s:

d. ¿Qué condiciones técnicas son necesarias para la correcta estimación de la velocidad de la luz?, ¿existían dichas condiciones en la época de Galileo?, ¿y en la actualidad?
e. ¿Qué tiempo debería haber medido el observador 1 en el experimento de Galileo?
f. ¿A qué distancia se deberían ubicar ambos observadores para medir un tiempo de viaje de 5s?

www.yoquieroaprobar.es

Reviso

- Revisa el **Solucionario** y completa tu puntaje en el cuadro.

Descriptor	Pregunta	Puntaje
Identificar los elementos y propiedades de las ondas.	1 y 3	
Diferenciar ondas mecánicas y electromagnéticas.	2	
Reconocer las partículas elementales que forman el átomo y su distribución.	4	
Formular posibles explicaciones o hipótesis de los fenómenos en observación.	5	

1. ¿Qué es la luz?

El ser humano se ha interesado desde siempre en comprender qué es la luz, cómo se origina y cómo es su comportamiento. Las estrellas, la Luna y el Sol fueron las primeras fuentes de luz que lo intrigaron, y muchísimo después, en el siglo XIX, creó la primera fuente de luz artificial. En la actualidad, el conocimiento acerca de la naturaleza y origen de la luz ha permitido desarrollar innovadoras tecnologías que mejoran nuestro diario vivir.

Platón y Aristóteles

Christian Huygens

James Maxwell

Isaac Newton

Thomas Young

Heinrich Hertz

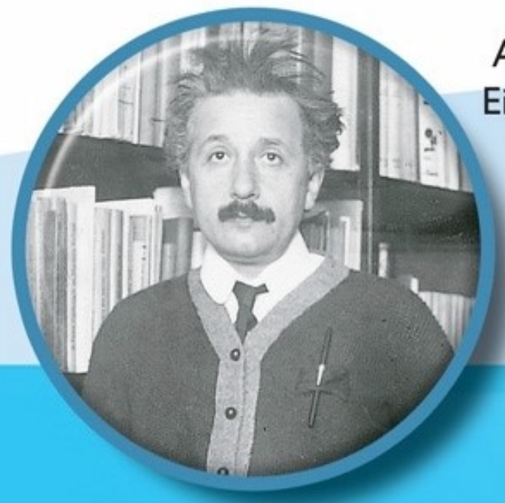
- (Siglo V a. C.) **Platón** afirma que la luz es una sustancia que sale de nuestros ojos y al chocar contra los objetos nos permite verlos. **Aristóteles,** su discípulo, discrepa de esta idea y plantea que los objetos emiten una vibración que llega en línea recta hasta los ojos.
- (Siglos I-II d. C.) **Claudio Ptolomeo** estudia la reflexión y refracción de la luz. Determina el ángulo de refracción de la interfase aire-agua. Además, observa y describe cómo una barra se flecta o parece quebrarse al estar parcialmente sumergida en agua.
- (1671) **Isaac Newton** separa la luz blanca en un espectro de colores al hacerla pasar por un prisma. Define la luz como un flujo de partículas o corpúsculos, explicando correctamente la reflexión y refracción de la luz. Utiliza sus conocimientos para crear el telescopio reflector.
- (1678) El físico holandés **Christian Huygens** explica los fenómenos de reflexión y refracción de la luz definiendo la luz como una onda.
- (Comienzos del siglo XIX) La teoría ondulatoria de la luz toma fuerza. El experimento de interferencia de **Thomas Young** y los trabajos de **Agustin Fresnel** sobre la difracción permiten consolidar la teoría.

www.yoquieroaprobar.es

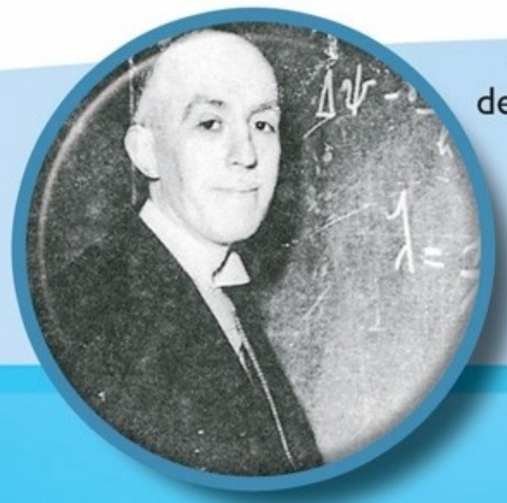
ANALIZA

A partir de la lectura de la línea de tiempo, responde:

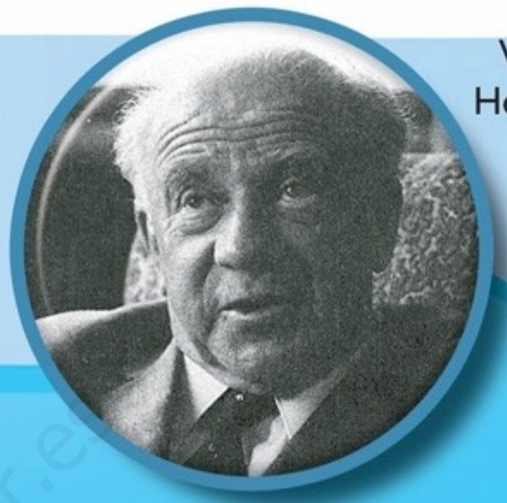
1. ¿Cómo han ido cambiando a través del tiempo las ideas acerca de la naturaleza de la luz?
2. ¿Qué observaciones respaldan la teoría de la luz como onda?
3. ¿Qué evidencias respaldan el comportamiento corpuscular de la luz?
4. ¿Cómo demostrarías experimentalmente el comportamiento ondulatorio de la luz? Describe el procedimiento que utilizarías.



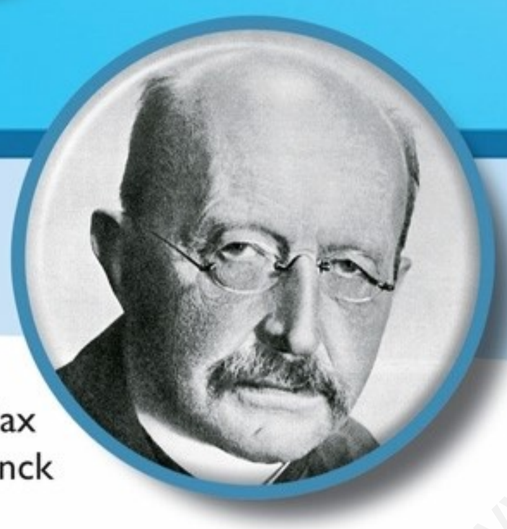
Albert Einstein



Louis de Broglie

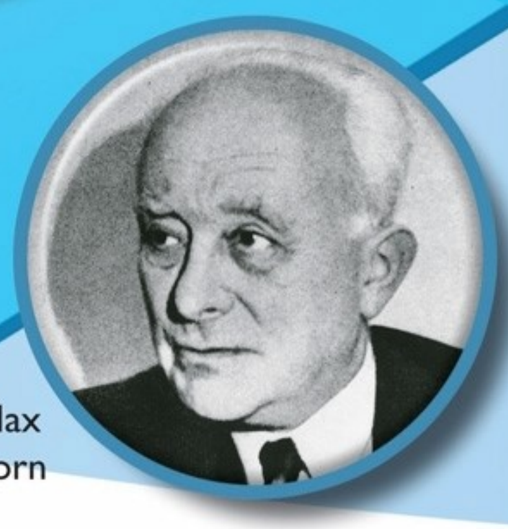


Werner Heisenberg



Max Planck

Erwin Schrödinger

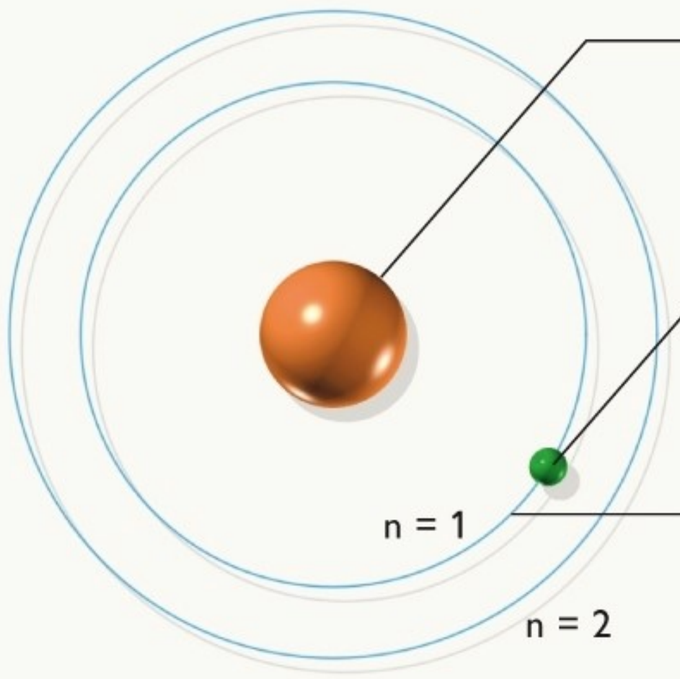


Max Born

- (1873) **James Maxwell** presenta su teoría del electromagnetismo, donde afirma que la luz es una onda electromagnética de alta frecuencia y que viaja a una velocidad constante.
- (Fines del siglo XIX) **Heinrich Hertz,** verifica, experimentalmente, la existencia de las ondas electromagnéticas construyendo un instrumento que genera ondas de radio. Descubre el efecto fotoeléctrico al observar que las superficies metálicas desprenden cargas eléctricas al ser expuestas a la radiación UV.
- (Principios del siglo XX) **Albert Einstein,** basándose en la teoría cuántica de **Max Planck,** explica el efecto fotoeléctrico, postulando que la luz puede transmitirse en unidades discretas, llamados cuantos de luz o fotones. Por lo anterior, recibe el Premio Nobel de Física (1921).
- (1924) **Louis de Broglie,** basándose en los trabajos de Einstein y Planck, plantea la naturaleza dual de la luz, es decir, la luz muestra propiedades tanto de las ondas como de las partículas.
- (Segunda mitad del siglo XX) Las investigaciones de De Broglie, Einstein y otros científicos, como **Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg, Paul Dirac** y **Max Born,** dieron origen a la mecánica cuántica, que explica el comportamiento microscópico de la materia.

Origen de la luz

La luz es energía generada al interior de los átomos a través de un proceso llamado **emisión cuántica.** Para comprender mejor este proceso es necesario recordar el **modelo atómico de Bohr:**

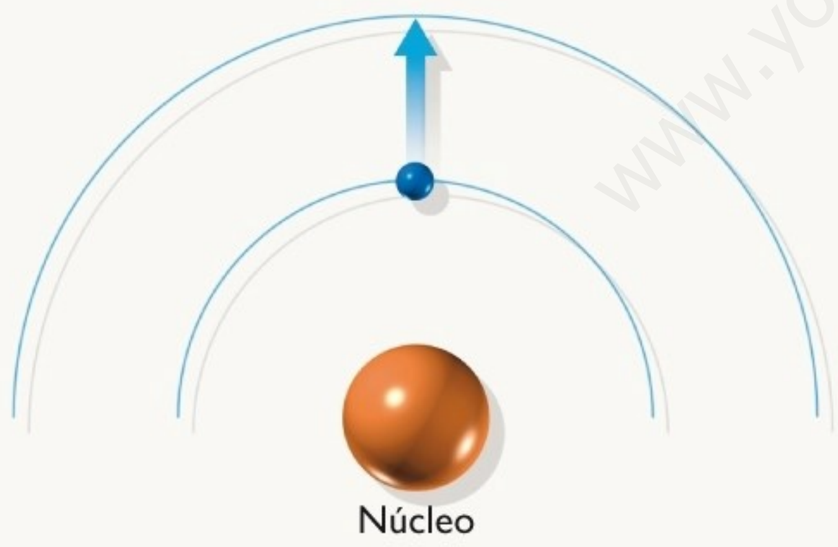


En el **núcleo** se encuentran los **protones** y **neutrones.**

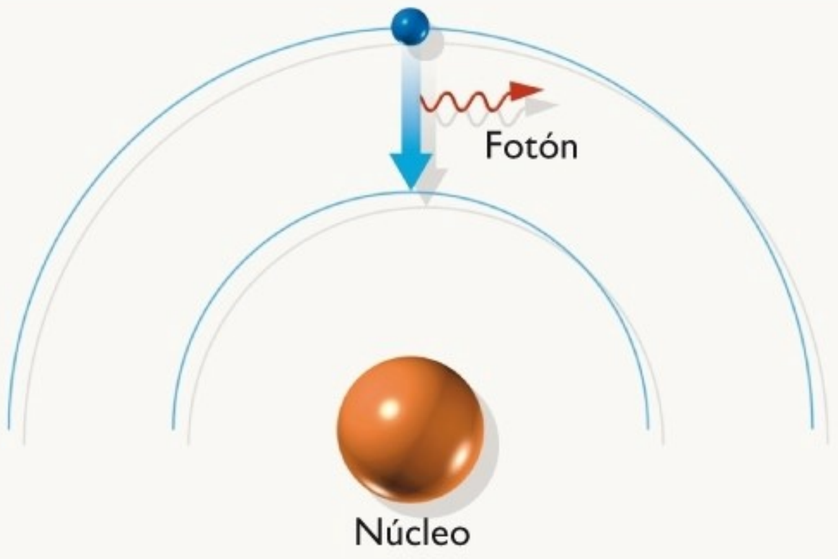
Los electrones giran alrededor del núcleo en órbitas que representan diversos **niveles de energía.** Cuando un electrón está girando en su nivel no está ganando ni absorbiendo energía.

Cada órbita tiene un nivel específico de energía. Los niveles de energía (n) se representan por los números 1, 2, 3... comenzando desde el núcleo hacia afuera.

Los electrones pueden "saltar" de un nivel de energía a otro, de acuerdo a las transiciones energéticas que permite para su estructura.



Cuando un electrón accede a una órbita con mayor nivel de energía, se dice que el electrón o el átomo está **excitado.** Para realizar esta transición necesita absorber energía.



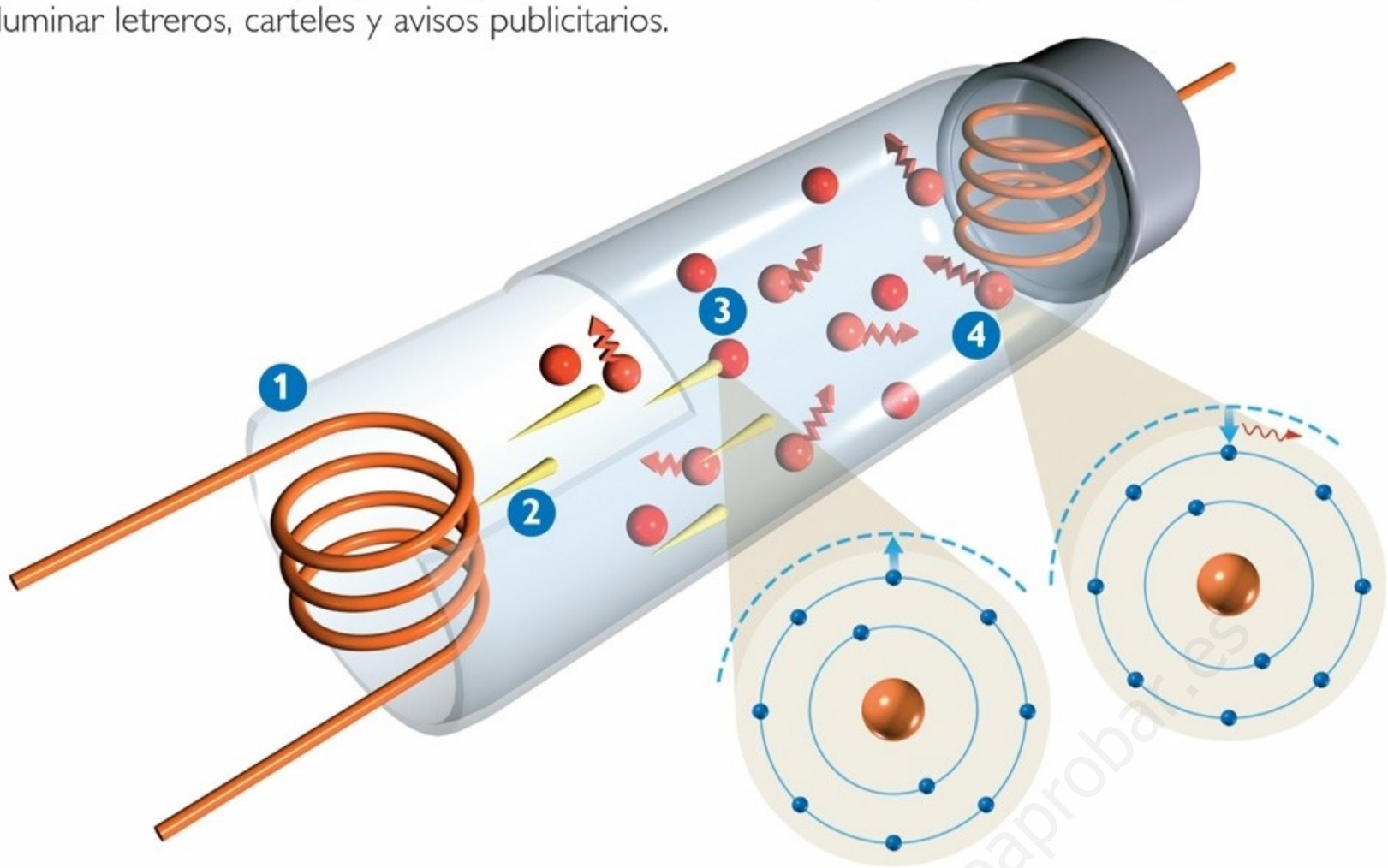
Los electrones excitados son inestables y después de un tiempo, vuelven a su nivel de energía original (se desexcitan), cediendo la misma cantidad de energía que absorbieron. La energía se libera como "paquetes" llamados **fotones.**

Los fotones se liberan cuando un electrón salta de un nivel de energía mayor a uno menor y constituyen la **luz.** La energía de cada fotón es proporcional a la frecuencia de la onda asociada ($E_{fotón} \propto f$). Por ejemplo, una luz compuesta de fotones de mayor energía corresponderá también a una luz de mayor frecuencia.

Los fotones no tienen masa y se mueven a 3×10^8 m/s, lo que se conoce como la **rapidez de la luz en el vacío.**

www.yoquieroaprobar.es

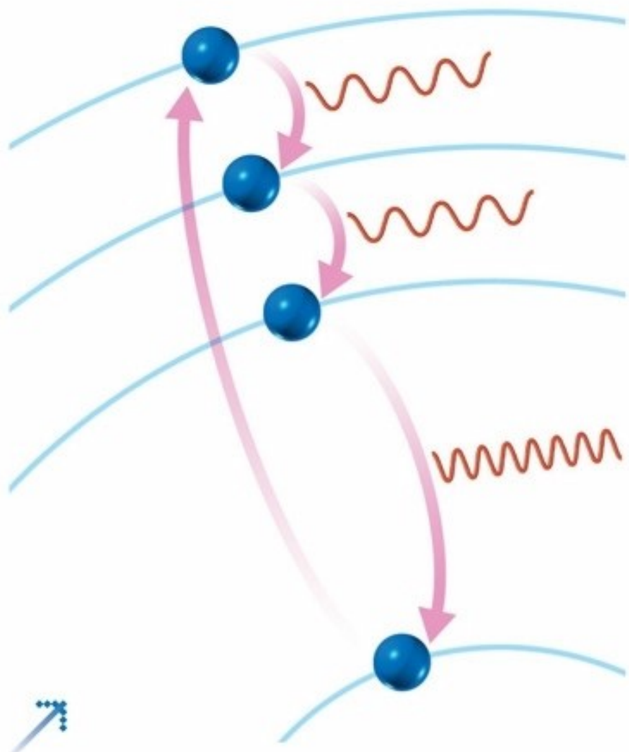
Producto del proceso de emisión cuántica, **cada elemento emite luz con una distribución particular de frecuencias** llamada espectro y, por ende, con colores característicos. Por ejemplo, el gas neón emite una luz roja, la que se utiliza para iluminar letreros, carteles y avisos publicitarios.



1. En los extremos del tubo que contiene el neón se ubican unos electrodos.
2. Los electrodos liberan electrones a gran velocidad, que "bombardean" los átomos de neón.
3. Los electrones chocan con los átomos de neón y los excitan. Así, los electrones del neón "saltan" a niveles de energía superior.
4. Cuando los electrones del neón vuelven a su nivel de energía original, emiten fotones cuya frecuencia corresponde a la del color rojo.

En el caso de la **fluorescencia** ocurre algo similar. La fluorescencia es producida por objetos que se excitan al ser iluminados con luz ultravioleta (luz de alta frecuencia) y al desexcitarse emiten fotones de menor frecuencia, por lo general, luz visible. La fluorescencia se utiliza, por ejemplo, en los tubos fluorescentes y en las ampolletas económicas que utilizas en tu hogar.

La **fosforescencia** es un tipo de emisión de luz donde el tiempo transcurrido entre la excitación y la desexcitación de los electrones es más largo, puede ser desde minutos a horas. Ocurre porque los electrones alcanzan niveles de energía muy altos quedando en un estado de excitación metaestable, es decir, por un tiempo prolongado antes de volver a su nivel de energía original. Algunos materiales que tienen esta propiedad son, por ejemplo, aquellos que brillan en la oscuridad.



En la fluorescencia, el electrón al desexcitarse, pasa por estados intermedios de energía, es decir, regresa "dando saltos" más pequeños que emiten fotones de menor frecuencia (y energía).

EXPLICA

1. Explica con tus palabras qué significa que un electrón se encuentre excitado.
2. ¿Cómo debe ser la cantidad de energía absorbida y emitida por el átomo, en la emisión cuántica?
3. ¿Cuál es la diferencia entre fluorescencia y fosforescencia?

www.yoquieroaprobar.es

Espectroscopia

La **espectroscopia** es un área de la ciencia que estudia los espectros de las sustancias y su relación con la estructura de la materia. En sus inicios, la espectroscopia permitió grandes avances en la comprensión de la estructura atómica y la composición química de las sustancias. En la actualidad, es una herramienta usual para la caracterización de los materiales.

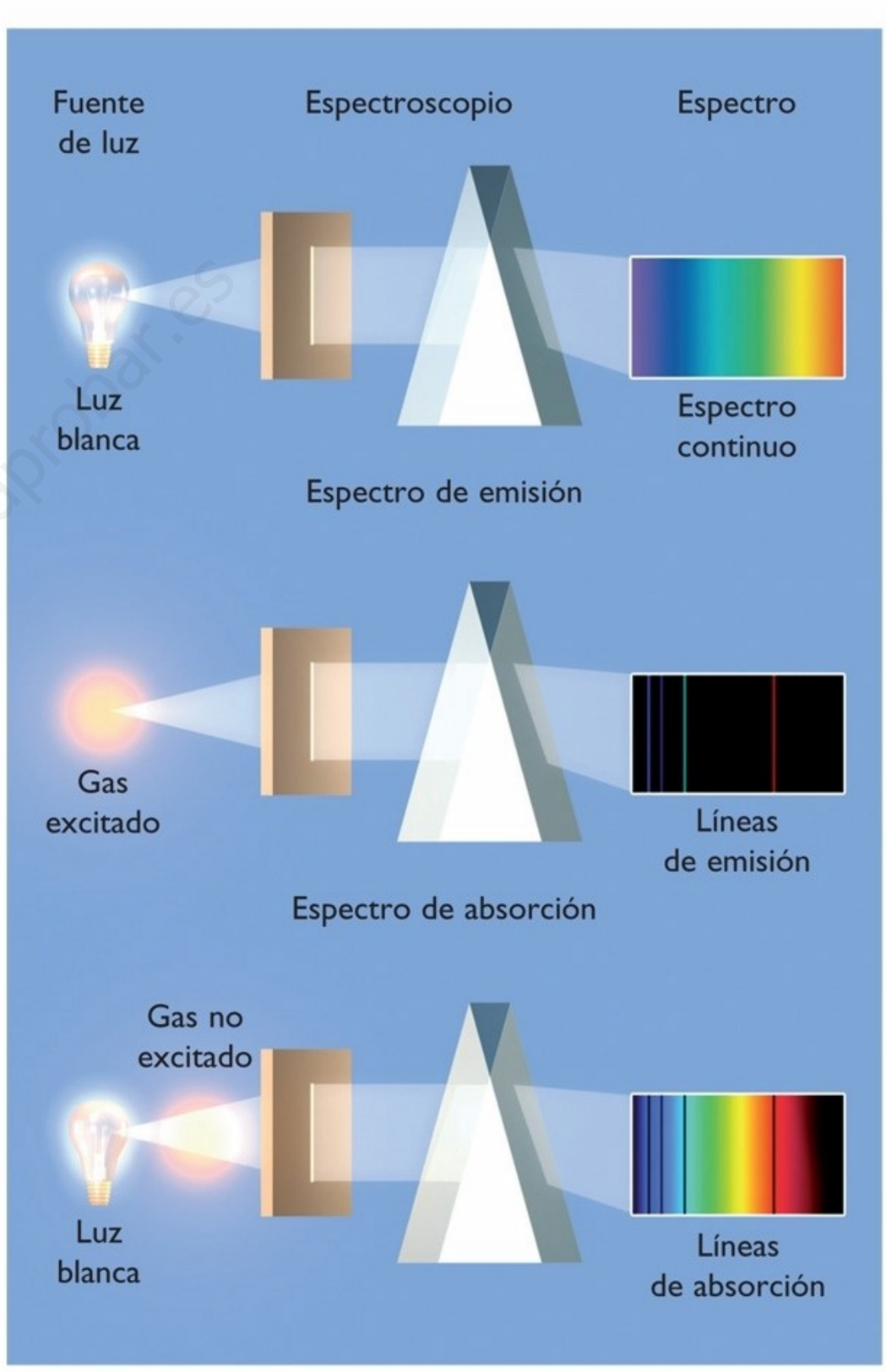
Como hemos visto, todo elemento cuando se excita emite una radiación característica (fotones) relacionada con su estructura atómica. Esta radiación se puede analizar usando un **espectroscopio,** instrumento que dispersa la luz emitida o absorbida por una sustancia y la proyecta sobre una pantalla como un patrón de franjas brillantes y oscuras llamado **espectro.** El espectro de un elemento es como su "huella digital", es decir, es característico para cada elemento y permite identificarlo.

Espectro de emisión

Cuando un elemento es excitado, sus electrones transitan a niveles de mayor energía y enseguida regresan a sus niveles de energía original emitiendo fotones. Para obtener el espectro de emisión de un elemento en estado gaseoso, se coloca dentro de un tubo, se le aplica una corriente eléctrica de alto voltaje que excita los átomos de gas y la luz emitida por el gas excitado pasa por el espectroscopio, el cual la dispersa y proyecta su espectro sobre una pantalla o sobre un sensor de luz. Así, es posible observar el **espectro de emisión,** que consiste en una secuencia característica de líneas de colores brillantes, llamadas **líneas de emisión,** que corresponden a los fotones liberados en el proceso de emisión cuántica del gas.

Espectro de absorción

Al hacer pasar un haz de luz blanca por un gas, sus átomos absorben energía de ciertas frecuencias, aquellas que permiten a sus electrones realizar un salto cuántico. Cuando la luz que no es absorbida pasa por el espectroscopio, se observa un espectro continuo de colores, excepto por unas líneas oscuras distribuidas en él, llamadas **líneas de absorción,** correspondientes a los fotones absorbidos por el gas.



La posición de las líneas de emisión y de absorción de un gas corresponden a la misma frecuencia y energía.

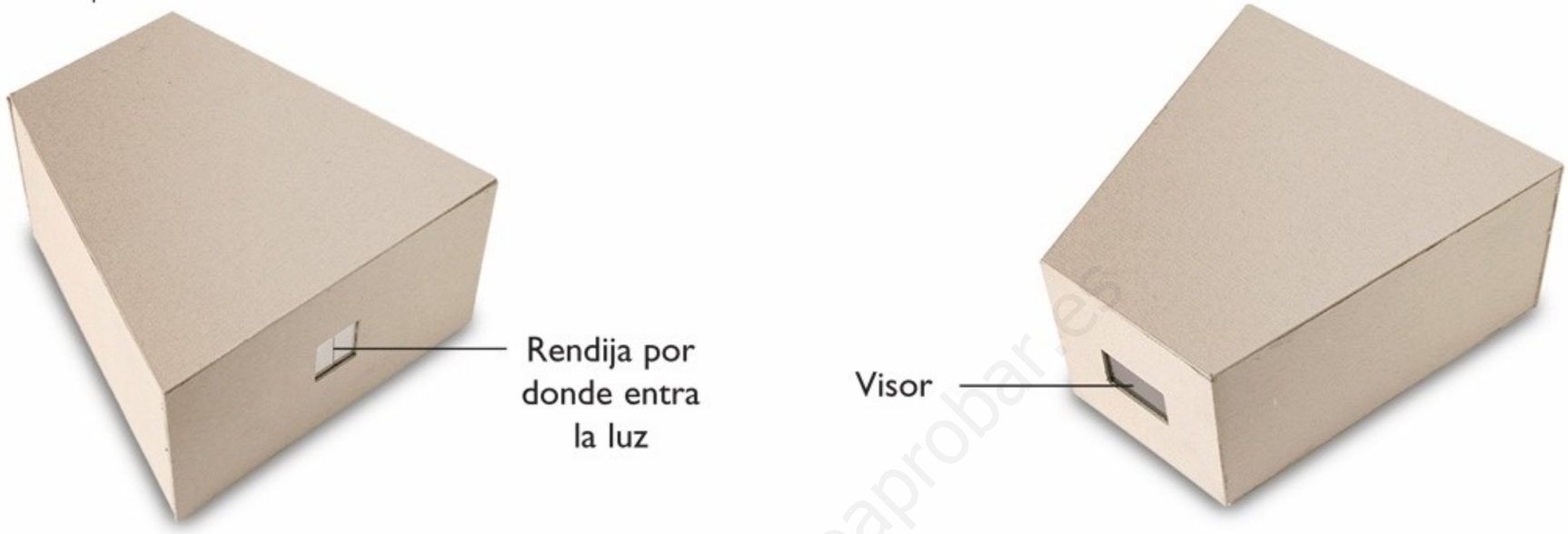
www.yoquieroaprobar.es

En la red

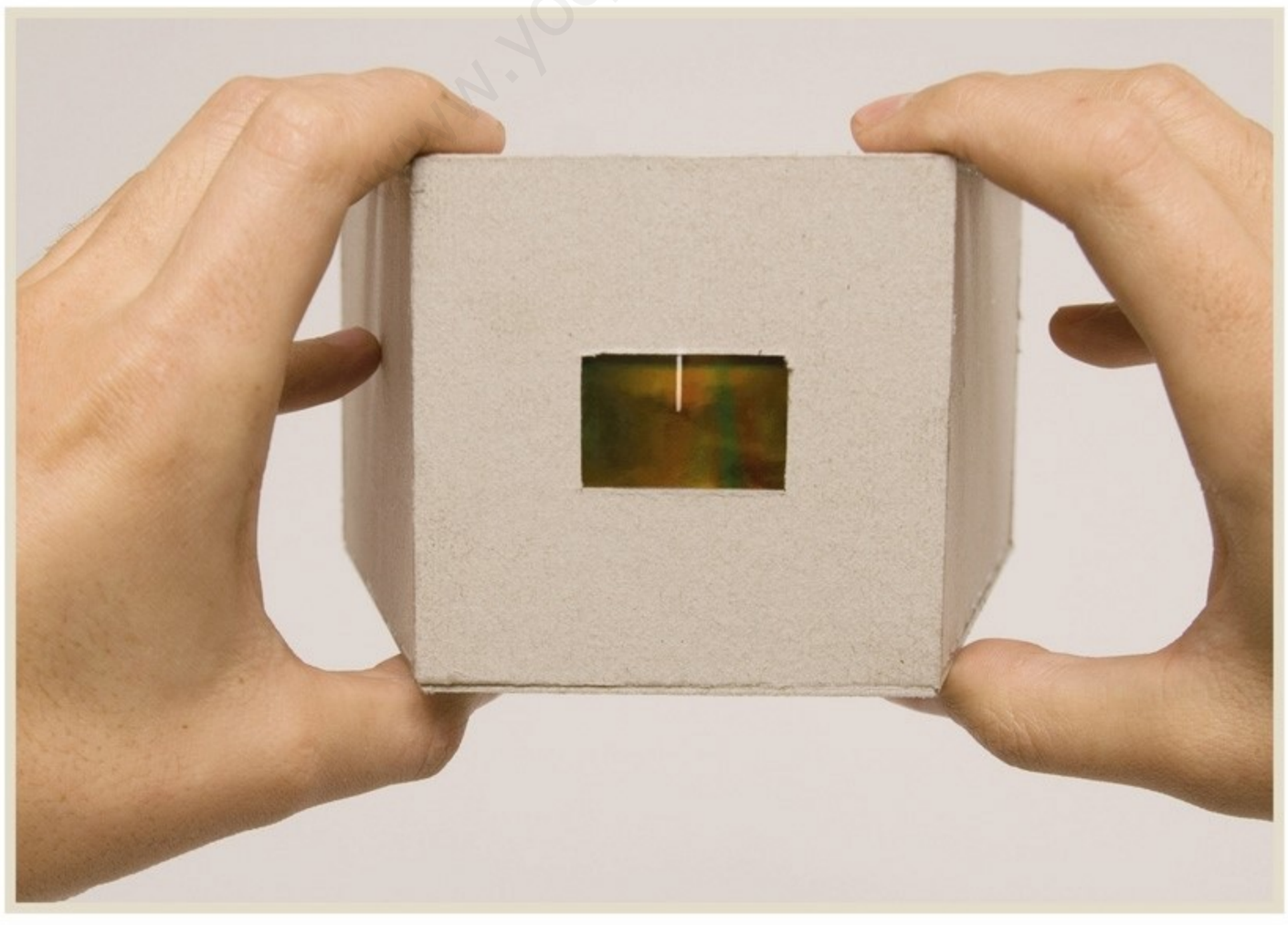
Ingresando el siguiente código encontrarás los espectros de emisión y absorción de los elementos de la tabla periódica: MF1060.

EXPERIMENTA

1. Construirás un espectroscopio sencillo. Para ello, consigue los siguientes materiales: un disco compacto (CD), cinta adhesiva, trozos de cartón, papel metálico y tijeras.
2. Pega la cinta adhesiva sobre la superficie del CD y luego despégala. Repite el procedimiento hasta dejar la superficie sin cubierta.
3. Luego, utilizando los trozos de cartón construye una caja cerrada como la de la fotografía. Intenta sellar bien sus bordes para que no ingrese luz a través de estos. En uno de los lados de la caja haz una perforación rectangular y en ella pega la rendija hecha con el papel metálico. Para elaborar la rendija recorta dos láminas de papel metálico y pégalas de modo que la separación entre ambas sea 1 mm.
4. En la cara opuesta de la caja has otro orificio rectangular y pega sobre él un pedazo del CD sin cubierta. Este será el visor del espectroscopio.



5. Observa a través de tu espectroscopio una fuente de luz, por ejemplo, una ampolleta fluorescente. Intenta que tu ojo tape completamente el visor de modo que no ingrese luz.

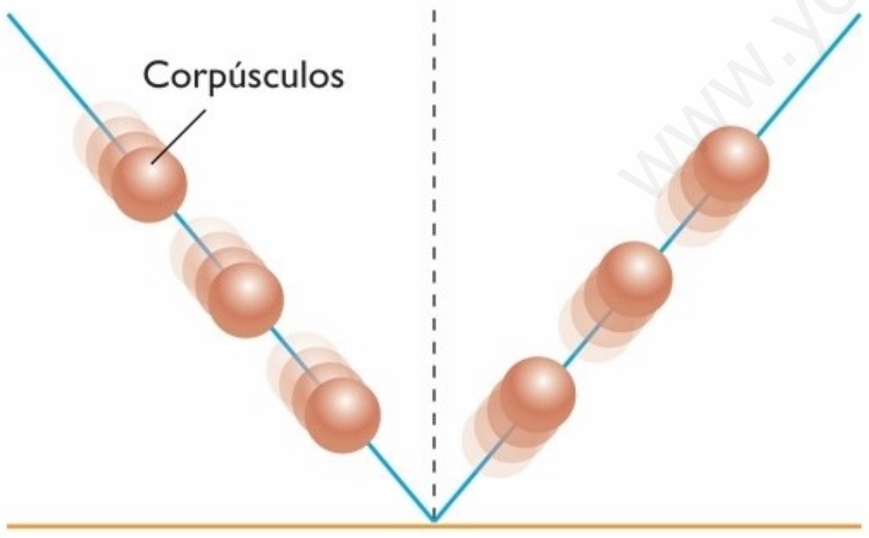
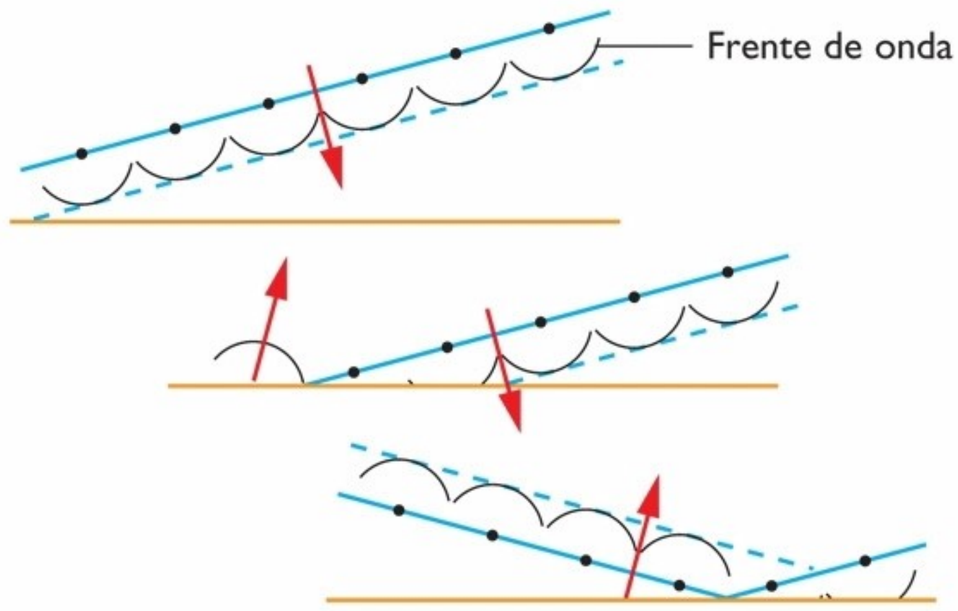


6. Intenta identificar los compuestos que se encuentran en el interior de una ampolleta fluorescente. Puedes ayudarte con los espectros que se muestran en la sección "En la Red" de la página 60.

www.yoquieroaprobar.es

2. Teorías que explican el comportamiento de la luz

Existen dos grandes teorías que explican el comportamiento de la luz: la **teoría corpuscular** y la **teoría ondulatoria.**

Teoría corpuscular	Teoría ondulatoria
En el siglo XVII, Newton planteó que la luz está formada por partículas muy pequeñas, llamadas corpúsculos.	También en el siglo XVII, Huygens propone que la luz es una onda que se propaga en un medio llamado éter.
Observaciones que la respaldan: • La luz viaja en línea recta, pues la trayectoria seguida por los corpúsculos es rectilínea. • Cuando un objeto se interpone en el camino de la luz, esta rebota en él (reflexión de la luz) y produce sombra. • La luz puede traspasar ciertos materiales, como lo hacen proyectiles o balas (refracción de la luz).	**Observaciones que la respaldan:** • Los cuerpos que emiten luz no pierden masa. • La propagación rectilínea y la reflexión de la luz suponiendo que es una onda. • La luz experimenta refracción, fenómeno ondulatorio.
No pudo explicar: • ¿Por qué los cuerpos no pierden masa al emitir corpúsculos? • La dispersión de la luz.	**No pudo explicar:** • La propagación de luz en el vacío. Por eso postula la existencia del éter. • Aunque su teoría pudo explicar la interferencia de las ondas, no logró demostrar experimentalmente la interferencia de la luz.
	
Reflexión de la luz según la teoría corpuscular	Reflexión de la luz según la teoría ondulatoria

La teoría corpuscular se usó y aceptó durante los siglos XVII y XVIII. Posteriormente, en el siglo XIX, la observación de la interferencia y la difracción de la luz respaldaron la teoría ondulatoria, pues ambos fenómenos se explican considerando la luz como onda. Fue recién en el siglo XX cuando se aceptó la **dualidad onda-partícula de la luz,** es decir, que se puede comportar como onda y como partícula, lo que se mantiene hasta el día de hoy. Los fenómenos relacionados con la propagación de la luz son explicados a través de la teoría ondulatoria, mientras que aquellos relacionados con la interacción de la luz con la materia (como el efecto fotoeléctrico) están basados en la teoría corpuscular.

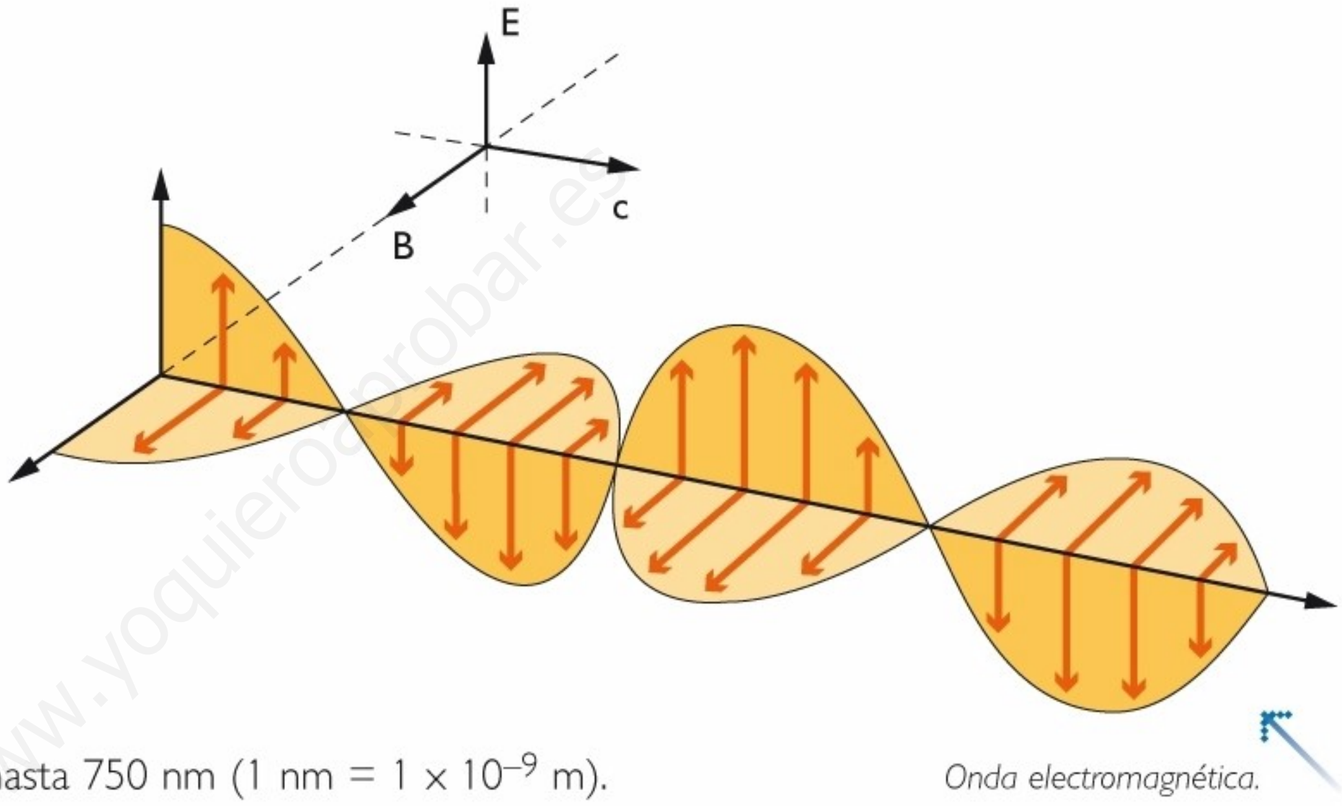
www.yoquieroaprobar.es

3. La luz como onda electromagnética

Como ya hemos estudiado, una **onda electromagnética** está formada por un **campo eléctrico (E)** y un **campo magnético (B),** los cuales oscilan en forma perpendicular entre sí y a la dirección de propagación de la onda. La energía que transporta una onda electromagnética se distribuye entre los campos magnéticos y eléctricos que la componen.

La **teoría electromagnética** fue planteada por el físico teórico James Maxwell, quien a través de cálculos matemáticos desarrolló la idea de que la luz es una forma de radiación electromagnética. Así, demostró que una carga eléctrica oscilante puede generar ondas electromagnéticas y que estas se autogeneran en un ciclo repetitivo sin fin, lo que permite que se propaguen en el vacío con una **rapidez constante** igual a **3×10^8 m/s.**

En 1887, ocho años después que Maxwell muriera, Heinrich Hertz genera y detecta experimentalmente las primeras ondas electromagnéticas.



Onda electromagnética.

Las distintas formas de radiación electromagnética tienen la misma naturaleza (están formadas por campos eléctricos y magnéticos) y se propagan en el vacío con velocidad constante de 3×10^8 m/s, pero se diferencian entre sí por su **longitud de onda** y su **frecuencia.** Así, la **luz visible es un tipo de radiación electromagnética** que comprende un rango de longitudes de onda desde los 400 nm hasta 750 nm ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9}$ m).

En las ondas electromagnéticas también se cumple la relación entre la frecuencia (f), la longitud de onda (λ) y la rapidez (v); por lo tanto, si la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas es **c** (velocidad de la luz), tenemos que:

$$c = \lambda \cdot f$$

Ejercicio resuelto

Sabiendo que el rango de longitud de onda de la luz visible abarca desde 400 nm hasta 750 nm, ¿cuál es el rango de frecuencia de la luz visible?

$$\text{Si } \lambda = 400 \text{ nm} \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{400 \times 10^{-9} \text{ m}} = \frac{3.000 \times 10^5 \cancel{\text{m}}/\text{s}}{400 \times 10^{-9} \cancel{\text{m}}} = 7{,}5 \times 10^{14} \frac{1}{\text{s}} = 7{,}5 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\text{Si } \lambda = 750 \text{ nm} \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{750 \times 10^{-9} \text{ m}} = \frac{3.000 \times 10^5 \cancel{\text{m}}/\text{s}}{750 \times 10^{-9} \cancel{\text{m}}} = 4 \times 10^{14} \frac{1}{\text{s}} = 4 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

El rango de frecuencias de la luz visible va desde los 4×10^{14} Hz hasta los $7{,}5 \times 10^{14}$ Hz.

www.yoquieroaprobar.es

El espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas se distribuyen según su longitud de onda y su frecuencia en el **espectro electromagnético.** Este es solo una forma de ordenar los distintos tipos de ondas electromagnéticas, pues no existe una división categórica entre cada una de ellas. La siguiente imagen es una representación del espectro electromagnético. Si lo observas con atención, te darás cuenta de que el rango de frecuencias y longitudes de onda que abarca es muy amplio y, además, la luz visible es solo una pequeña porción de este.

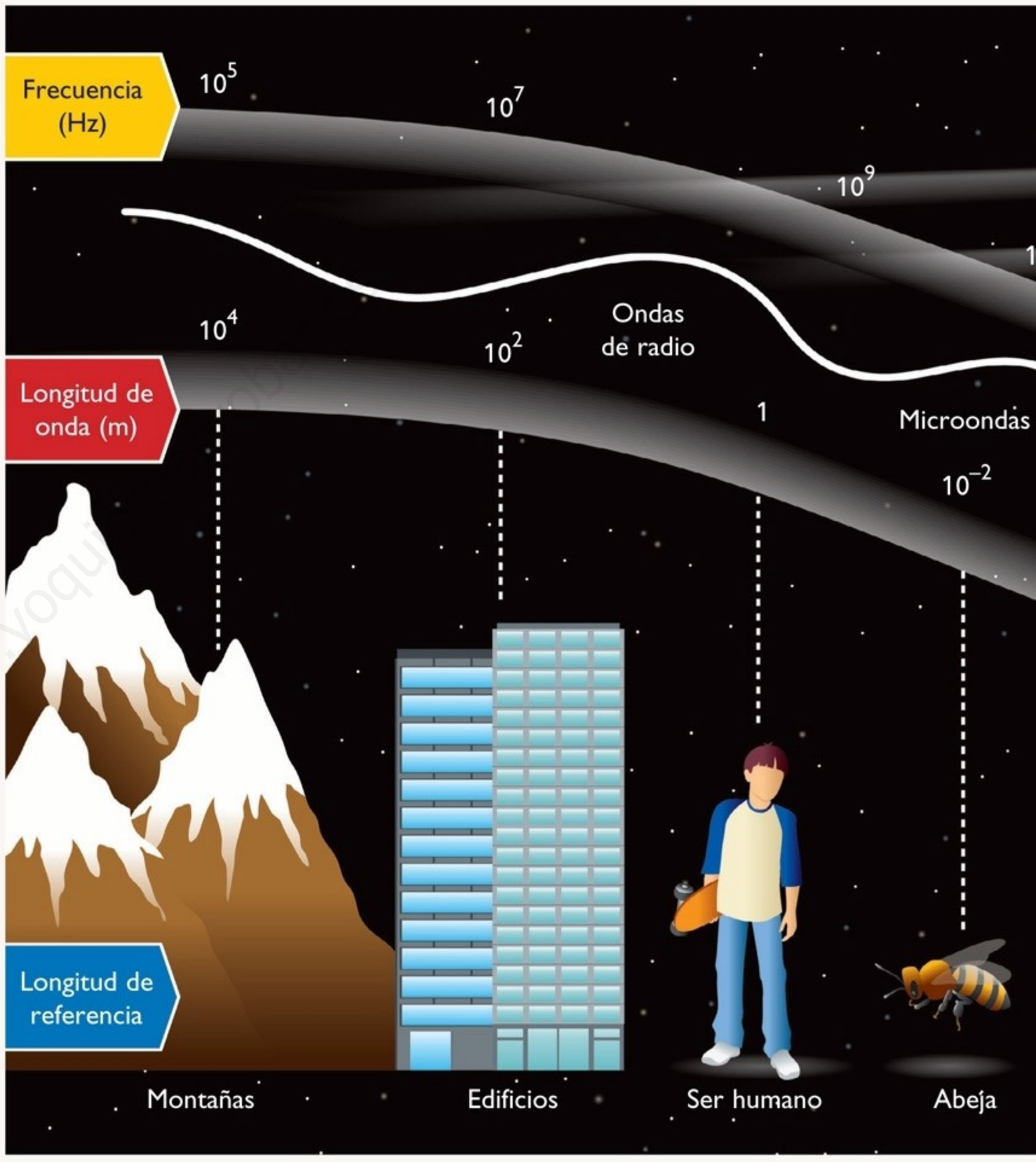
- **Ondas de radio.**
  Son ondas que se utilizan en las comunicaciones; como las transmisiones por radio (AM y FM), televisión y la telefonía celular. Su frecuencia va desde 1×10^3 Hz hasta 1×10^9 Hz, aproximadamente.

- **Microondas.**
  Son ondas de radio de menor longitud de onda (desde 1×10^{-3} m a 3×10^{-1} m, aproximadamente). Son utilizadas en las comunicaciones, en los sistemas de radar aeronáuticos y de control de velocidad, en los hornos microondas y en el estudio de la materia a nivel atómico. Su rango de frecuencias comprende desde 1×10^9 hasta 3×10^{11} Hz.

- **Ondas infrarrojas.**
  Son ondas asociadas al intercambio de calor entre los cuerpos. Comprenden frecuencias desde 3×10^{11} hasta 4×10^{14} Hz y longitudes de onda desde $7{,}8 \times 10^{-7}$ hasta 1×10^{-3} m. Se usan en medicina, en la kinesiterapia y en la fotografía infrarroja, por ejemplo.

- **Luz visible.**
  Corresponde al intervalo del espectro magnético que es visible por el ojo humano. Las frecuencias de la luz visible corresponden a los diferentes colores que podemos percibir. El color de más baja frecuencia es el rojo ($3{,}84 - 4{,}82 \times 10^{14}$ Hz) y el de mayor frecuencia es el violeta ($6{,}59 - 7{,}69 \times 10^{14}$ Hz).

- **Luz ultravioleta o rayos UV.**
  Son ondas de mayor frecuencia que la luz visible (8×10^{14} hasta 3×10^{17} Hz), provienentes principalmente del Sol. Los rayos UV que traspasan la atmósfera terrestre provocan quemaduras en la piel al exponerse a ellos sin la protección adecuada.

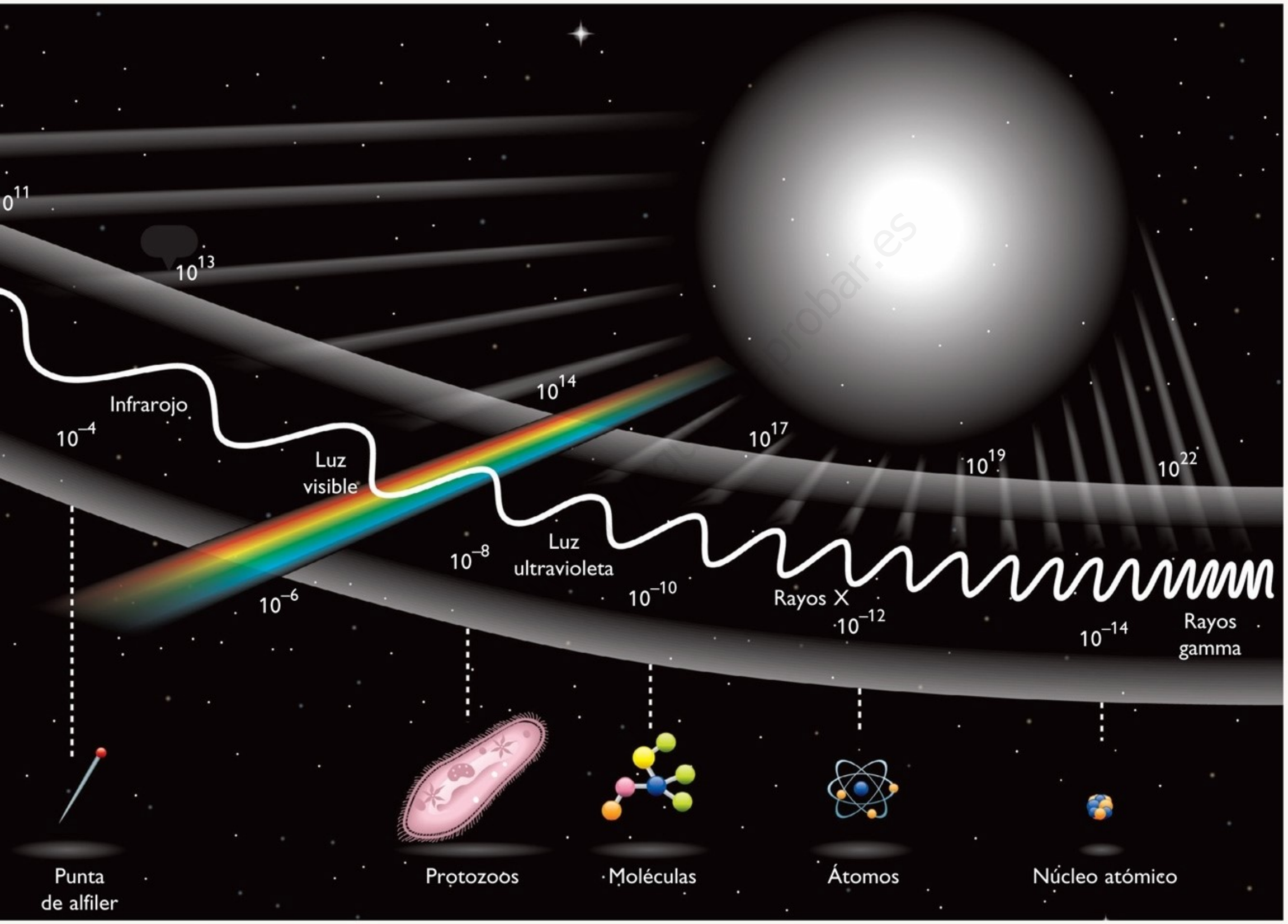


- **Rayos X.**
  Comprenden las ondas de frecuencia desde los 3×10^{17} hasta 5×10^{19} Hz. Se generan por desexcitación de los electrones internos del átomo, fuertemente ligados al núcleo atómico. Cuando un metal, llamado blanco metálico, es bombardeado con radiación de alta energía, se excitan los electrones internos, produciendo fotones de alta energía. Puesto que tienen la capacidad de

OBSERVA Y ANALIZA

Observa la representación del espectro electromagnético y luego responde.

1. ¿Qué relación existe entre la frecuencia y la energía de las ondas electromagnéticas?
2. Compara la frecuencia, la energía y la longitud de onda de las ondas electromagnéticas que emite un televisor, un radar para medir velocidad y un equipo para tomar radiografías.
3. ¿Cuál es la longitud de onda de una onda de radio cuya frecuencia es 50 MHz?

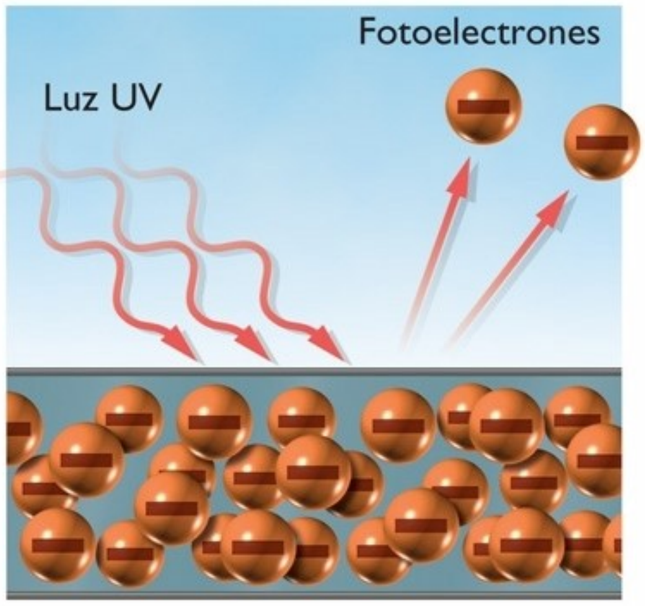


penetrar materiales densos, son utilizados para obtener radiografías y para el tratamiento de algunas formas de cáncer (radioterapia).

- **Rayos gamma (γ).**
  Constituyen una radiación de altísima frecuencia (3×10^{18} – 3×10^{22} Hz) y energía, que se produce en las reacciones nucleares y en los aceleradores de partículas utilizados para estudiar la estructura subatómica. Son un tipo de radiación que es absorbida por los tejidos vivos y provoca graves daños, ya que al ser una radiación producida a escala nuclear puede provocar cambios nucleares en las sustancias.

4. La luz comportándose como partícula

Entre los fenómenos que demuestran que la luz se comporta como una partícula está el **efecto fotoeléctrico.** Este fue registrado en 1887 por Heinrich Hertz, quien observó que al iluminar con luz ultravioleta los electrodos que producían una descarga eléctrica, la intensidad de la descarga aumentaba. Luego, en 1902, Philipp von Lenard corroboró esta observación, describiendo que al iluminar los electrodos con luz UV, se liberan electrones de la superficie metálica.



Electrones en la superficie metálica

Efecto fotoeléctrico.

La explicación del efecto fotoeléctrico, según la teoría ondulatoria, fue aceptada hasta principios del siglo XX. Esta señalaba que cuando las ondas luminosas inciden sobre una superficie metálica, los electrones del metal acumulan energía y oscilan con mayor amplitud, pudiendo liberarse del metal. Sin embargo, la teoría no explicaba las siguientes observaciones:

- al incidir la radiación sobre el metal, no se registra retardo en la emisión de electrones;
- el efecto fotoeléctrico se observa con luz UV, pero no con luz infrarroja;
- el flujo de electrones emitidos es proporcional a la intensidad de la luz;
- la energía máxima de los electrones no depende de la intensidad de la luz, pero sí depende de la frecuencia de la luz.

En 1905, Albert Einstein explicó el efecto fotoeléctrico basándose en la teoría de Max Planck. Según Planck, la energía que emiten o absorben los electrones solo puede presentarse en cantidades discretas o "paquetes" de energía llamados **cuantos** de energía. La cantidad de energía de un cuanto de radiación es proporcional a la frecuencia, lo que se expresa en la **ecuación de Planck:**

$$E = h \cdot f$$

Donde: E: es la energía de un cuanto.
h: es la constante de proporcionalidad o constante de Planck, cuyo valor es $6{,}626 \times 10^{-34}$ J • s.
f: es la frecuencia de la radiación.

Einstein postuló que el efecto fotoeléctrico se produce porque un cuanto de luz, o **fotón,** se comporta como una partícula: "golpea" al electrón y le entrega una cantidad suficiente de energía que lo expulsa del metal. Lo anterior puede explicar que:

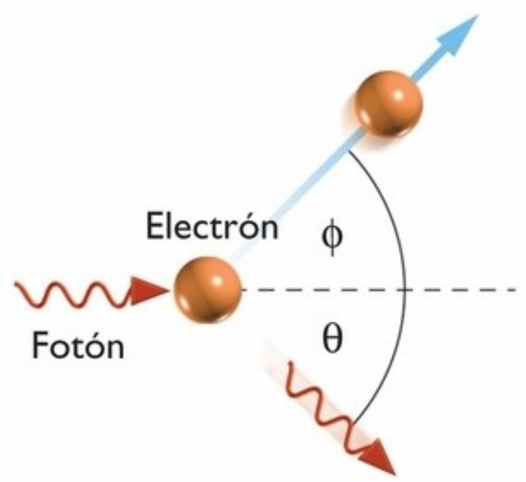
- los electrones emitidos por la superficie metálica, llamados fotoelectrones, solo se liberan si la frecuencia de la luz es mayor que cierto valor umbral, sin importar su intensidad;
- la cantidad de fotoelectrones depende de la intensidad de la radiación incidente;
- la energía cinética máxima de los fotoelectrones depende de la frecuencia de la radiación incidente.

www.yoquieroaprobar.es

La ecuación de Einstein para el efecto fotoeléctrico define la energía de los fotoelectrones en función de la energía de la radiación incidente y la energía mínima necesaria para liberar los fotoelectrones (ϕ), la que depende de la estructura atómica y las fuerzas intermoleculares de cada material.

$$E_{fotoelectrón} = E - \phi = h\,f - \phi$$

Alrededor de 1923, Arthur Compton, realizando un experimento sobre la dispersión de la luz, logró probar el comportamiento corpuscular de la luz. Así, descubrió que un fotón al chocar con un electrón podía comportarse como una partícula y cambiar la **cantidad de movimiento** tanto del electrón como la propia. En esta colisión, el fotón cambia la dirección de su movimiento y varía su frecuencia. A su vez, el electrón cambia de dirección, moviéndose como si fuera impactado por una partícula. Este fenómeno se conoce como **efecto Compton.**



Efecto Compton.

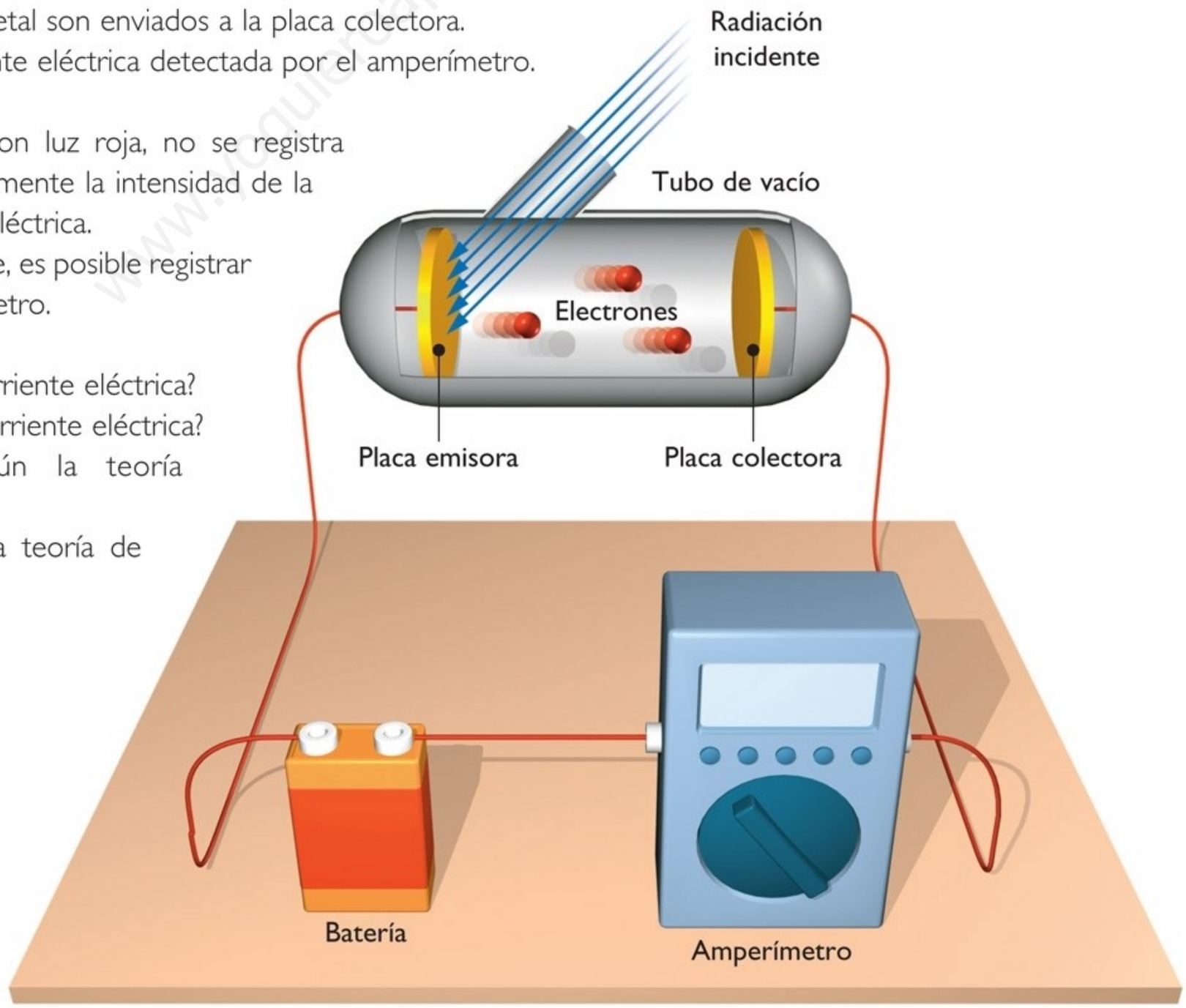
INTERPRETA

Con un dispositivo como el de la ilustración, se desea estudiar el efecto fotoeléctrico, haciendo incidir radiación de distintas frecuencias en una superficie metálica.

a. La luz incide sobre la placa emisora.
b. Los electrones emitidos por el metal son enviados a la placa colectora.
c. El flujo de electrones es la corriente eléctrica detectada por el amperímetro.

- Si se ilumina la placa emisora con luz roja, no se registra corriente eléctrica. Aunque se aumente la intensidad de la luz roja, no se registra corriente eléctrica.
- Si se ilumina el metal con luz verde, es posible registrar corriente eléctrica en el amperímetro.

1. ¿Por qué la luz roja no genera corriente eléctrica?
2. ¿Por qué la luz verde sí genera corriente eléctrica?
3. Explica estos resultados según la teoría ondulatoria.
4. Explica estos resultados según la teoría de Einstein.

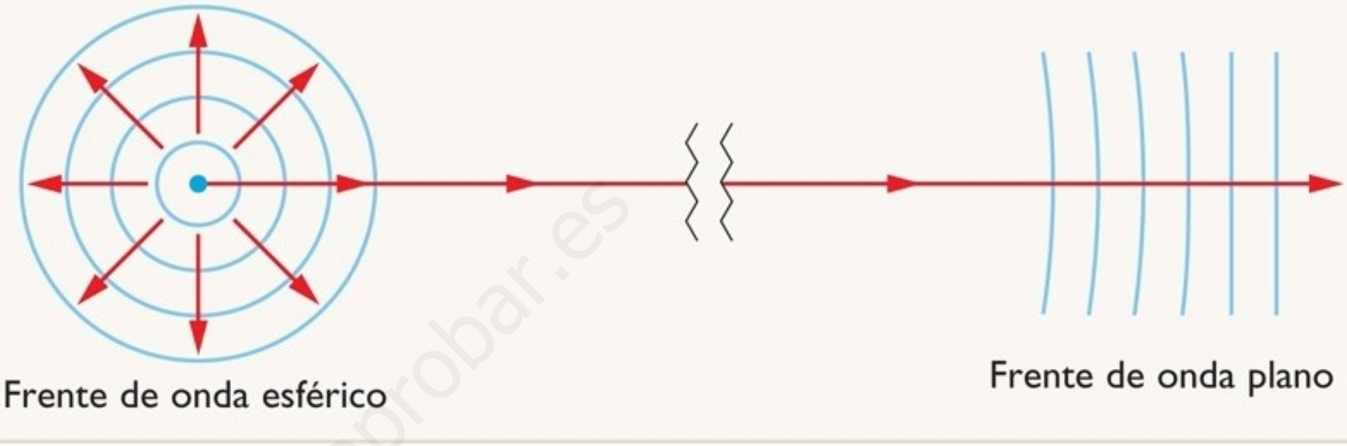


www.yoquieroaprobar.es

5. Propagación de la luz y formación de sombras

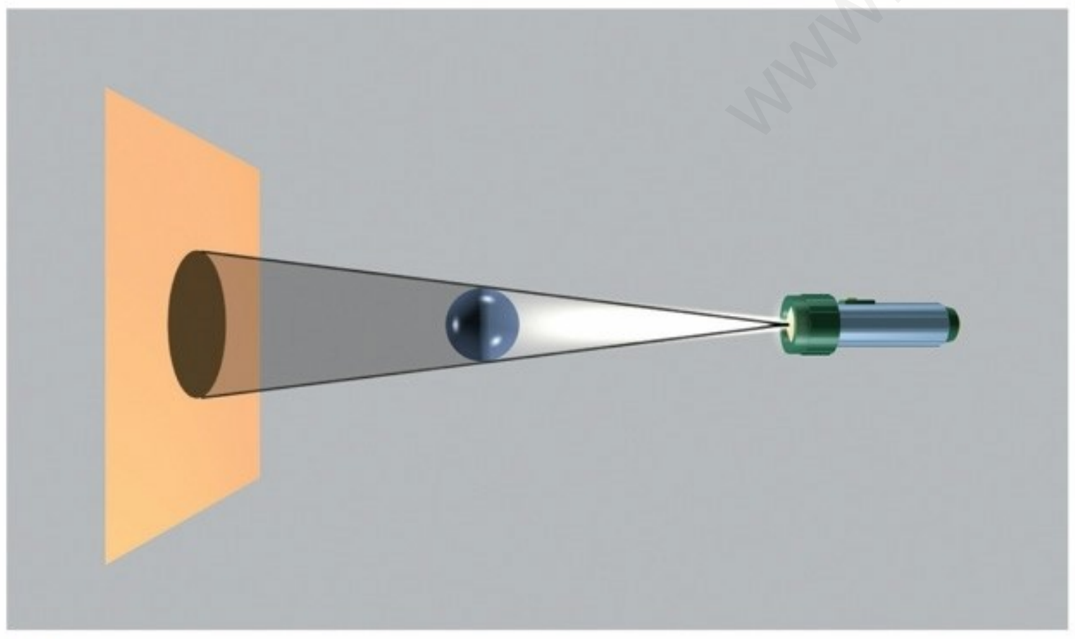
Como hemos estudiado, actualmente la comunidad científica acepta que la luz se comporta como onda y como partícula. Sin embargo, la idea de luz como una onda que viaja por el espacio no es práctica para el estudio de algunos fenómenos luminosos. En estos casos, es más sencillo considerarla como rayos de luz que se **propagan en línea recta.**

El análisis de los fenómenos luminosos centrado en representaciones geométricas se realiza sobre la base de la **óptica geométrica.** Así, es más simple explicar la producción de sombras, la reflexión, la refracción y la formación de imágenes en espejos y lentes.

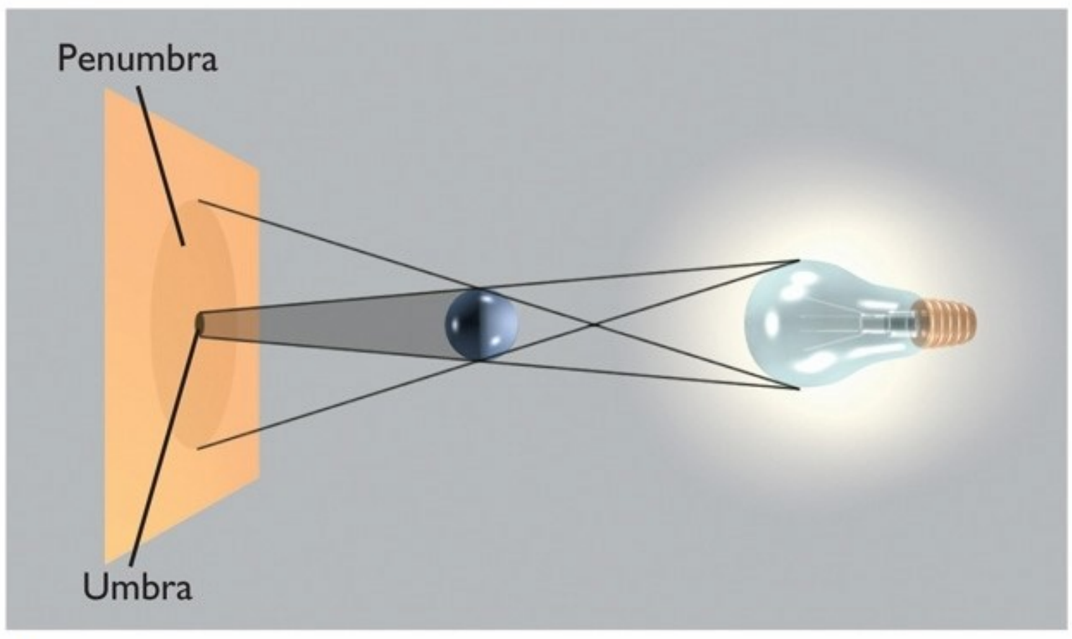


Los rayos de luz son líneas imaginarias perpendiculares a los frentes de onda que avanzan en la dirección de propagación de la luz.

La propagación de la luz en línea recta explica la formación de umbras y penumbras. La sombra total que produce un objeto opaco al paso de luz se llama **umbra,** y en ella no penetran los rayos de luz. La zona que recibe solo una parte de los rayos de luz es la **penumbra.**



*Una **fuente pequeña o puntual** de luz produce una sombra nítida, proporcional a la forma del objeto.*



*Una **fuente no puntual** o de mayor tamaño produce una sombra con zonas de umbra y penumbra.*

Compruébalo

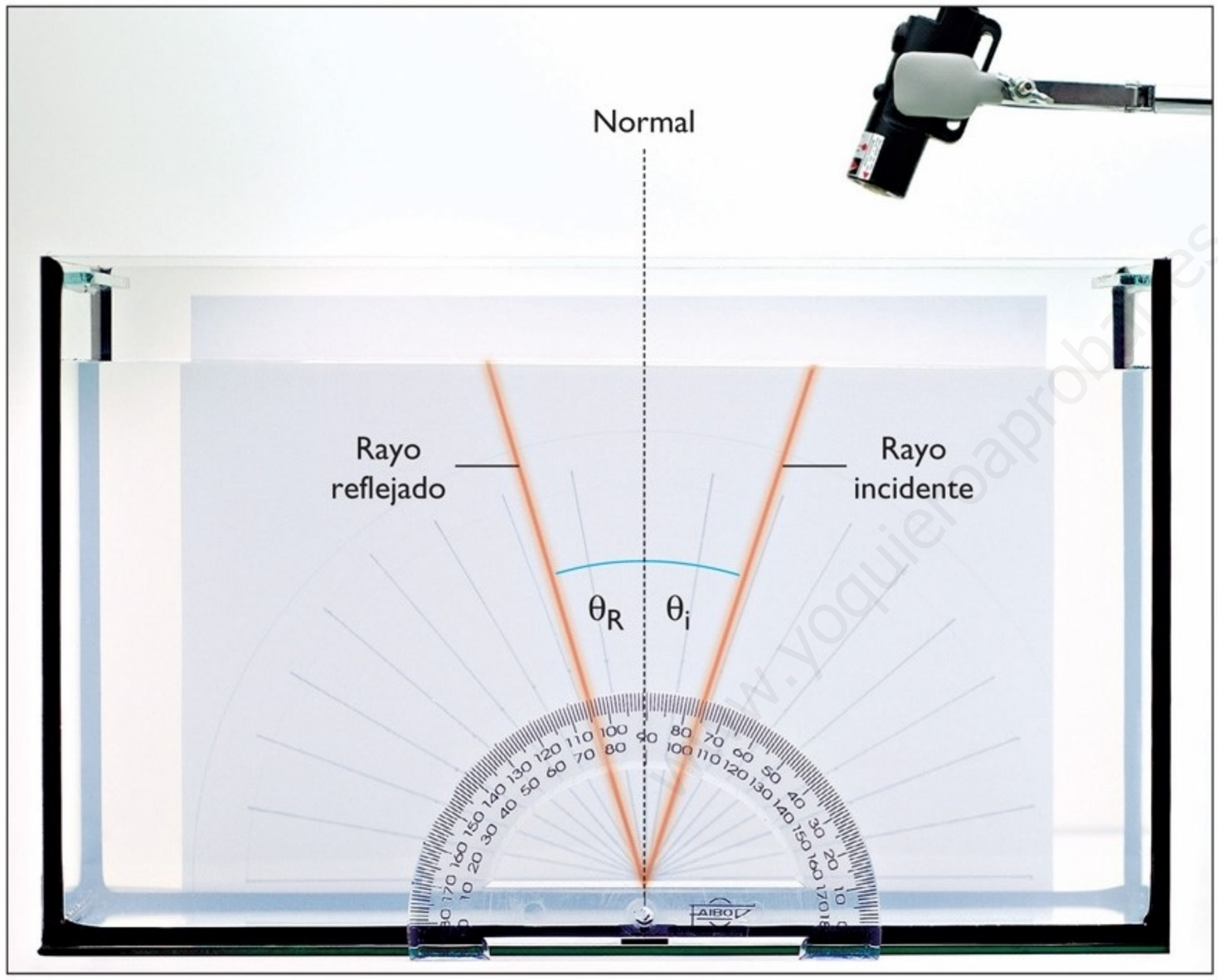
Consigue una linterna o una lámpara, un objeto opaco y una cartulina blanca para usar como pantalla. Ubica la linterna y la cartulina separadas por una distancia de dos metros. Pon el objeto opaco cerca de la cartulina y observa la sombra que produce. Luego, aleja lentamente el objeto de la pantalla y observa qué ocurre. ¿Cómo son los bordes de la sombra que se produce en cada caso?, ¿cómo explicas lo que observaste?

www.yoquieroaprobar.es

6. Reflexión y formación de imágenes en espejos

La **reflexión de la luz** ocurre cuando los rayos de luz inciden sobre una superficie de separación entre dos medios y se devuelven por el medio inicial. Este fenómeno es descrito por la **ley de reflexión.** Esta establece que:

- el **ángulo de incidencia** (θ_i) de cada rayo luminoso es igual a su **ángulo de reflexión** (θ_R), respecto de la recta normal a la superficie (N);
- el rayo incidente, el rayo reflejado y la normal están en el mismo plano.

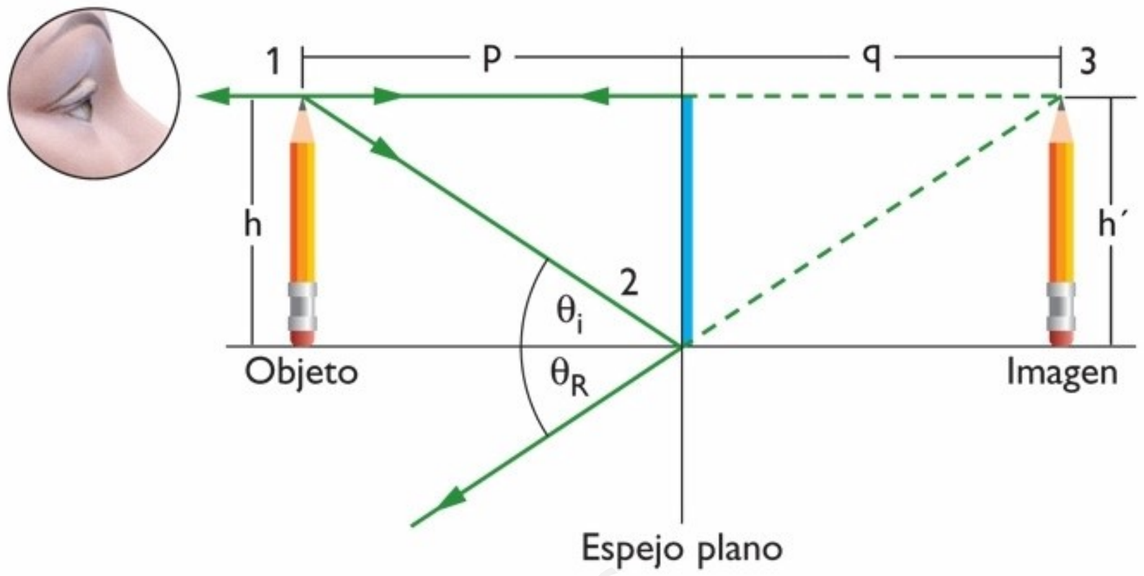


Espejos

Un **espejo** es toda superficie pulida donde la luz se refleja formando imágenes. En la antigüedad, los espejos se construían de metales muy pulidos como el bronce o la plata. En la actualidad se utiliza una aleación de mercurio con plata, cromo o aluminio que se fija tras un vidrio transparente. Los espejos se clasifican en **espejos planos** y **espejos esféricos** o **curvos.** Estos últimos, a su vez, pueden ser **espejos cóncavos** (o convergentes) y **espejos convexos** (o divergentes).

Imágenes formadas por espejos planos

Un espejo plano forma una **imagen virtual** del objeto ubicada a **igual distancia,** detrás del espejo. También, la imagen aparece volteada en el sentido izquierda-derecha y es de **igual tamaño** que el objeto.



1. Desde los extremos del lápiz, se proyectan rayos luminosos hacia el espejo.
2. Los rayos se reflejan en el espejo según la ley de reflexión.
3. Para un observador, los rayos reflejados parecieran venir desde un punto situado detrás del espejo, a una distancia (q) igual a la separación entre el espejo y el objeto (p). Entonces: **p = q.**

Dato

En una **imagen virtual** los rayos luminosos parecieran provenir de la imagen, pero en realidad el objeto que los emite está ubicado en otro lugar. En cambio, en una **imagen real** los rayos luminosos sí convergen y la luz proviene de ella.

Ejercicio resuelto

¿Cuál debe ser la mínima altura de un espejo plano para que una persona pueda verse de cuerpo entero? Supongamos una joven que mide 1,60 m y que sus ojos se ubican 0,10 m de la parte superior de su cabeza.

Se trazan los rayos de luz provenientes desde la cabeza y los pies, los cuales se reflejan en la parte superior e inferior del espejo, respectivamente.

El diagrama de rayos en la parte **ojos-pies,** forma dos triángulos rectángulos idénticos: ABD y DBC. Por lo tanto

$CD = AD = \frac{1}{2} AC$. El mismo principio se aplica en los rayos **ojos-coronilla.**

Entonces, la altura del espejo (h) es igual a $h = AF - \frac{1}{2} AC - \frac{1}{2} CF$

Pues bien, el segmento **AF** corresponde a la altura del joven = 1, 60 m.

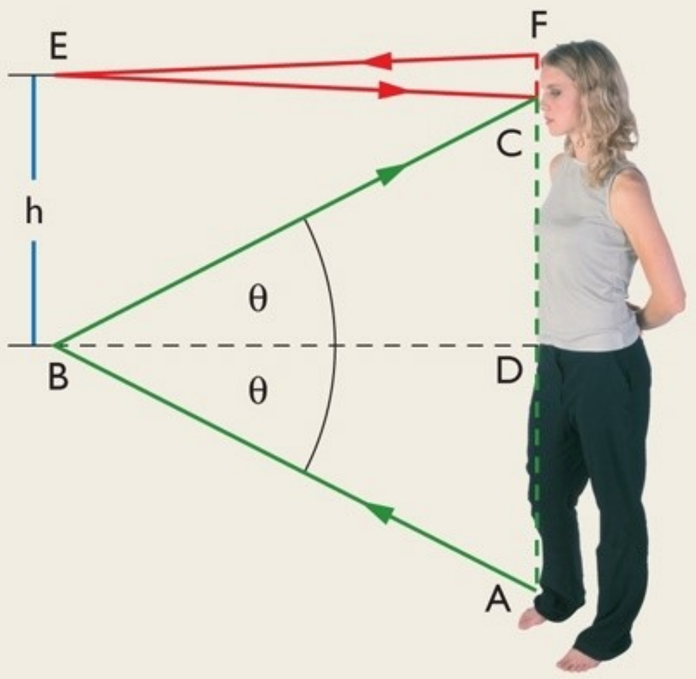
Ahora tenemos que calcular el segmento $\frac{1}{2} AC$:

$$\frac{1}{2} \cdot AC = \frac{1}{2} \cdot (AF - CF) = \frac{1}{2} \cdot (1{,}60\ m - 0{,}10\ m) = \frac{1}{2} \cdot 1{,}5\ m = 0{,}75\ m$$

El segmento $\frac{1}{2} CF$: $\frac{1}{2} CF = \frac{1}{2} \cdot (0{,}10\ m) = 0{,}05\ m$

Por lo tanto: $h = AF - \frac{1}{2} AC - \frac{1}{2} CF = 1{,}60\ m - 0{,}75\ m - 0{,}05\ m = 0{,}8\ m$

La altura del espejo es 0,8 m, que corresponde a la mitad de la estatura de la joven. En consecuencia, para observar una imagen de cuerpo entero se requiere un espejo de la mitad de la estatura.



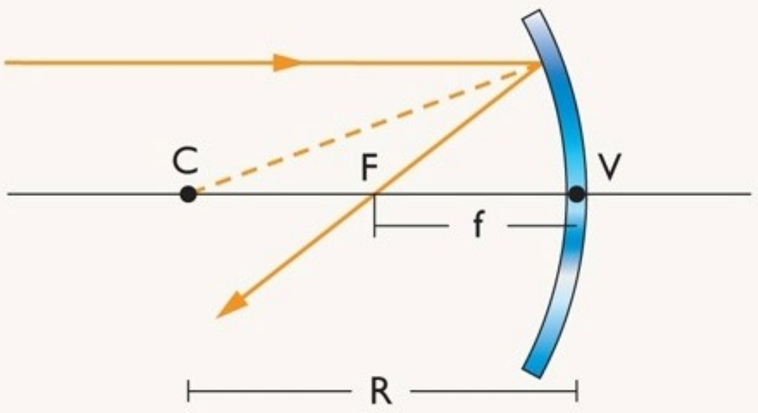
Serway. *Física.* México: Pearson Educación, 5° edición, 2001. (Adaptación)

www.yoquieroaprobar.es

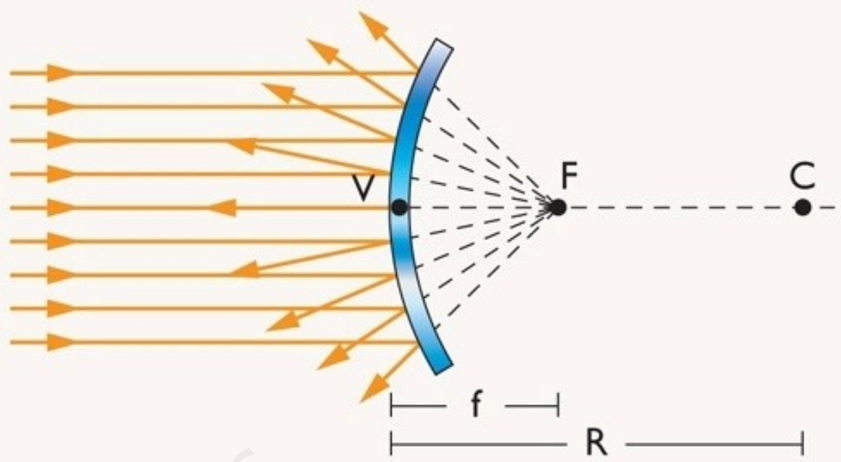
Imágenes formadas por espejos esféricos o curvos

Un espejo esférico es un espejo con una superficie curva. Se pueden clasificar en dos tipos de espejos: **cóncavos** o **convergentes,** que poseen una superficie curva hacia dentro, y **convexos** o **divergentes,** que poseen una superficie curva hacia fuera.

Espejo cóncavo



Espejo convexo

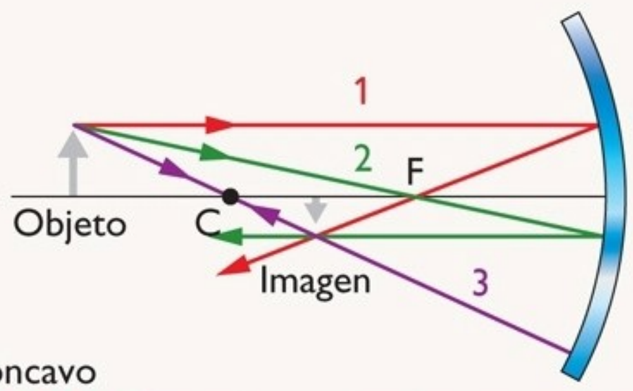


C: centro de curvatura. Es el punto central de la esfera que contiene al espejo.
V: vértice. Es el punto donde el eje óptico toca el espejo.
CV: eje óptico o eje principal del espejo. Es una recta imaginaria que pasa por el punto central del espejo.

R: radio de curvatura. Corresponde al radio de la esfera.
F: foco o punto focal. Es el punto medio del segmento CV, ubicado sobre el eje óptico.
f: distancia focal. Es la distancia entre el foco y el vértice.

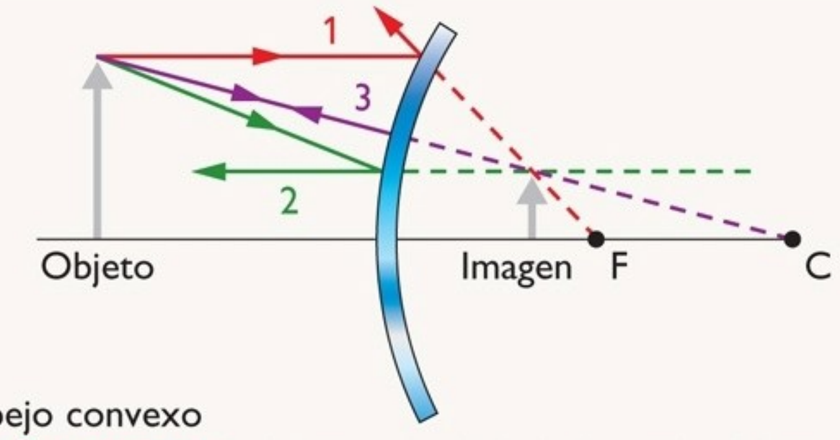
Para describir la formación de imágenes en espejos curvos, se trazan **rayos geométricos** que viajan en línea recta desde algún punto del objeto y se reflejan en el espejo.

Tanto para las imágenes formadas en espejos cóncavos como en convexos, se distinguen tres tipos de rayos principales: **rayo paralelo, rayo central** o **radial** y **rayo focal.** Basta considerar el punto donde se intersecan dos de estos rayos para determinar la posición donde se forma la imagen.



Espejo cóncavo

1. Rayo paralelo: llega al espejo en forma paralela al eje óptico y se refleja cruzando por el punto focal.
2. Rayo focal: incide en el espejo pasando por el punto focal y se refleja paralelo al eje óptico del espejo.
3. Rayo central: cruza el centro de curvatura del espejo y se refleja en la misma dirección que el rayo incidente, pero en sentido contrario.



Espejo convexo

1. Rayo paralelo: incide paralelo al eje óptico y al reflejarse parece provenir del punto focal del espejo convexo, ubicado tras la superficie.
2. Rayo focal: se dirige hacia el punto focal del espejo y se refleja paralelo al eje óptico.
3. Rayo central: avanza hacia el centro de curvatura del espejo y se refleja en la misma dirección de incidencia pero en sentido contrario.

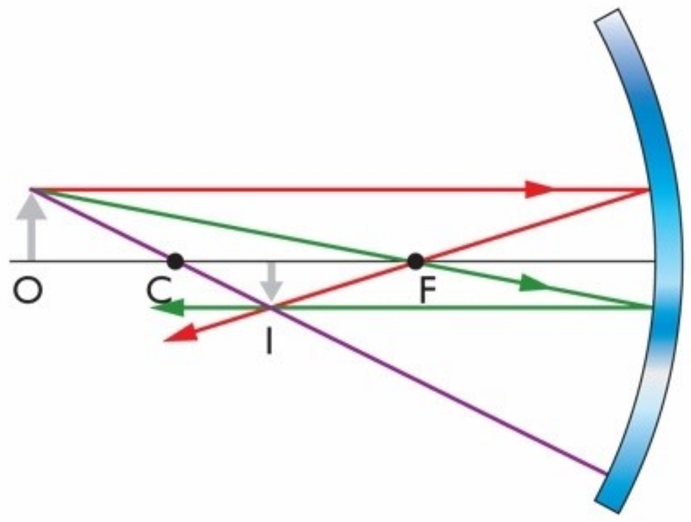
www.yoquieroaprobar.es

Espejos cóncavos

En un espejo cóncavo, los rayos de luz provenientes de un objeto, que inciden en su superficie, se reflejan y **convergen** en un punto, y por eso también son llamados espejos convergentes.

En este tipo de espejos se pueden formar cinco tipos de imágenes, según donde se ubique el objeto.

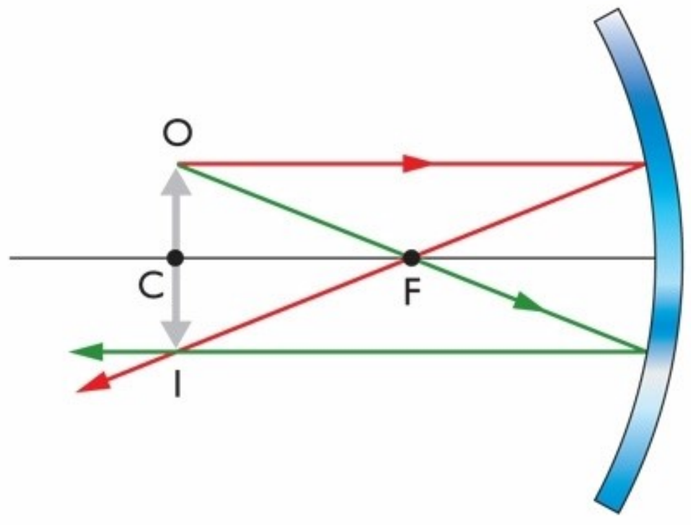
Caso 1:



Si el objeto O se ubica en cualquier punto más lejano que el centro de curvatura C, la imagen I que se forma será:

- real,
- más pequeña que el objeto,
- invertida,
- se ubicará entre el foco F y el centro de curvatura C.

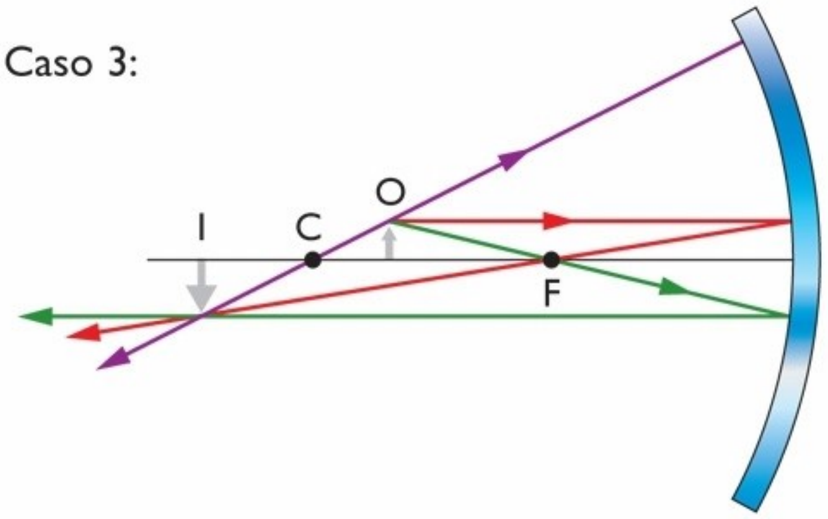
Caso 2:



Si el objeto O se ubica en el centro de curvatura C del espejo, la imagen I que se forma será:

- real,
- de igual tamaño que el objeto,
- invertida, y
- se ubicará en el centro de curvatura del espejo.

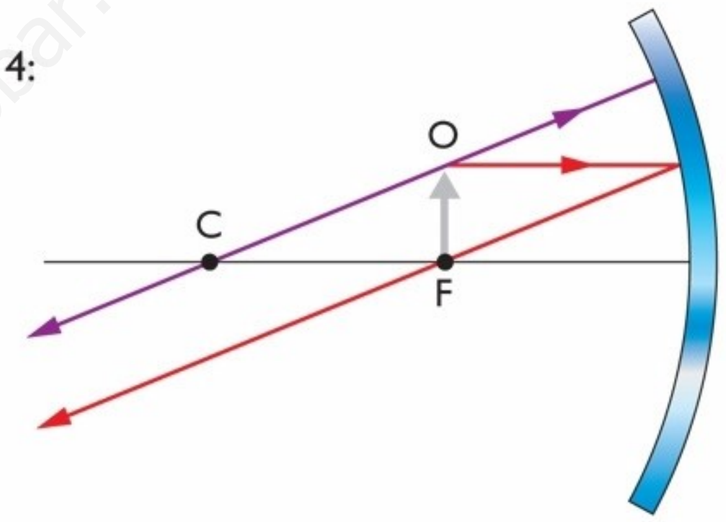
Caso 3:



Si el objeto O se ubica entre el foco F y centro de curvatura C del espejo, la imagen I que se forma será:

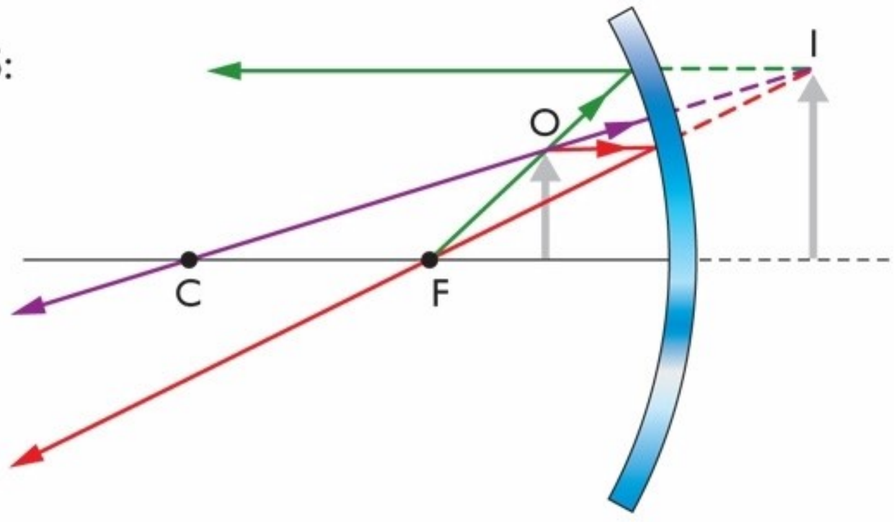
- real,
- aumentada,
- invertida, y
- se ubicará por fuera del centro de curvatura.

Caso 4:



Si el objeto se ubica justo en el foco F del espejo, no se forma la imagen pues los rayos reflejados son paralelos entre sí.

Caso 5:



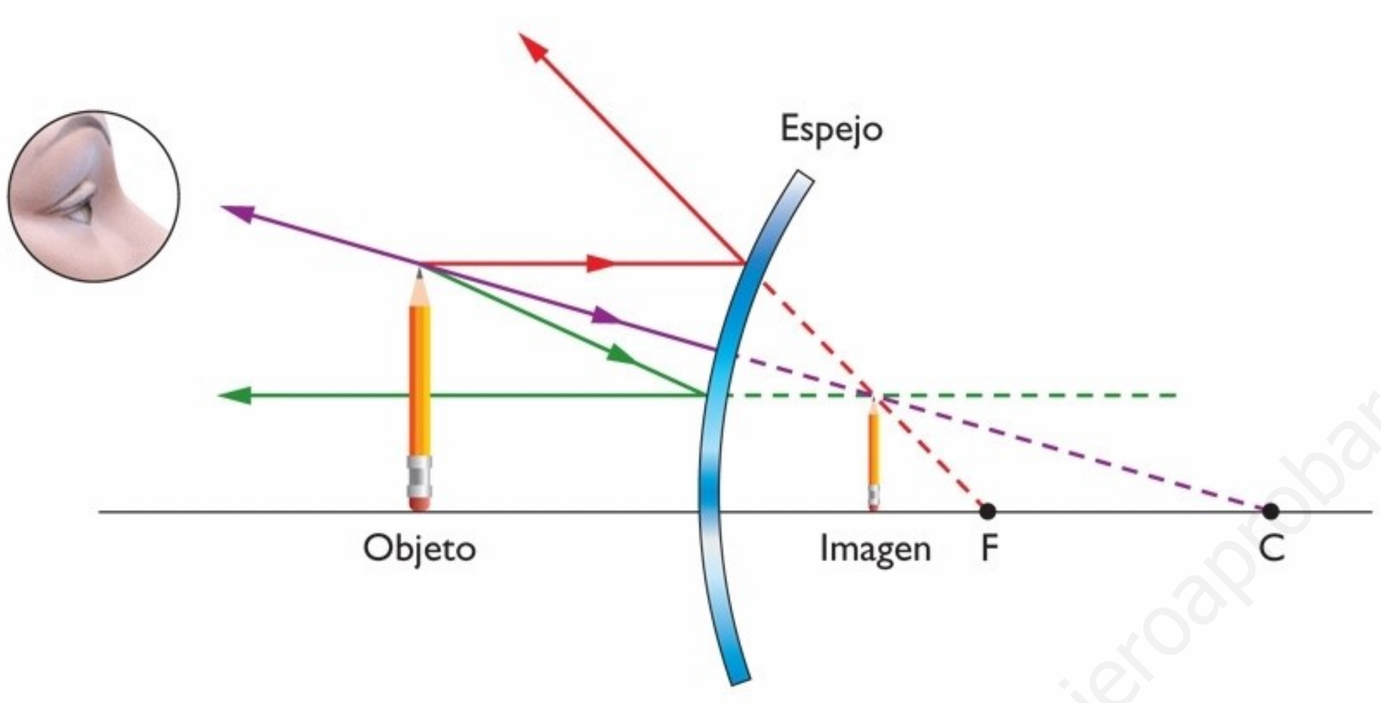
Si el objeto se ubica entre el espejo y foco F, la imagen que se forma será:

- virtual,
- aumentada,
- derecha, y
- parecerá ubicada detrás del espejo.

www.yoquieroaprobar.es

Espejos convexos

En un espejo convexo, los rayos de luz provenientes de un punto del objeto y que inciden en forma paralela al eje óptico del espejo son reflejados como si provinieran de un punto fijo ubicado tras el espejo. Este punto se conoce como **foco virtual,** situado a una distancia igual a la mitad del radio de curvatura del espejo. En un espejo convexo siempre se produce un solo tipo de imagen: **virtual, pequeña** y **derecha** con respecto al objeto. A medida que el objeto se aleja, la imagen se vuelve más pequeña y se acerca al punto focal del espejo.



Los espejos convexos entregan un mayor campo visual pero generalmente alteran mucho el tamaño y la posición de las imágenes que en ellos se forman, y las distorsionan respecto de los objetos; estos se visualizan más lejos de lo que realmente están.

www.yoquieroaprobar.es

INFIERE Y EXPLICA

Los espejos tienen diversos usos en la vida cotidiana. Toma nota de los siguientes ejemplos y responde:

a. Fíjate en los espejos ubicados en la salida de los estacionamientos o en los pasillos de las tiendas: ¿qué tipo de espejos son?, ¿cómo se ven las imágenes?, ¿cuál crees tú que es su utilidad?
b. Observa los espejos laterales de un automóvil: ¿qué advertencia señalan?, ¿por qué?, ¿cómo es la imagen observada?, ¿a qué tipo de espejo corresponden?
c. Por último, ¿qué tipo de espejo son los llamados espejos "con aumento"?, ¿dónde se debe ubicar el objeto para verlo aumentado?

EN LA RED

Ingresa el código MF1073 donde podrás trabajar con la formación de imágenes en espejos cóncavos y convexos.

Ecuación del espejo

Para determinar la distancia de una imagen o de un objeto con respecto a un espejo, existe una ecuación llamada **ecuación del espejo,** que se expresa:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

Donde:
p: es la distancia desde el objeto al espejo, llamada **distancia al objeto.**
q: es la distancia desde la imagen al espejo, llamada **distancia a la imagen.**
f : es la **distancia focal,** que corresponde a la mitad del radio de curvatura del espejo (R/2).

Esta ecuación se puede aplicar tanto a espejos cóncavos como a convexos, utilizando una **convención de signos (+, –)** para **p, q, f** y **R,** en cada caso. Además, para ambos espejos se establece como **lado anterior o real** del espejo, aquel donde inciden y se reflejan los rayos de luz, y **lado posterior o virtual,** aquel donde no se desplaza la luz.

Lado anterior o real del espejo	Lado posterior o virtual del espejo
p y q positivas luz incidente luz reflejada	p y q negativas

Tabla N° 1. Convención de signos para espejos

Si **p** es de signo +, el objeto está delante del espejo **(objeto real).**
Si **p** es de signo –, el objeto está detrás del espejo **(objeto virtual).**
Si **q** es de signo +, la imagen está delante del espejo **(imagen real).**
Si **q** es de signo –, la imagen está detrás del espejo **(imagen virtual).**
f y **R** son de signo +, si el espejo es cóncavo.
f y **R** son de signo –, si el espejo es convexo.

El **aumento** (o factor de magnificación) de la imagen formada por un espejo respecto al objeto real está dada por la comparación entre sus respectivos tamaños o alturas o bien por la razón entre las posiciones del objeto y la imagen:

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{q}{p}$$

Donde:
M: aumento de espejo.
h : tamaño real del objeto, llamado **altura del objeto.**
h': **altura de la imagen.**

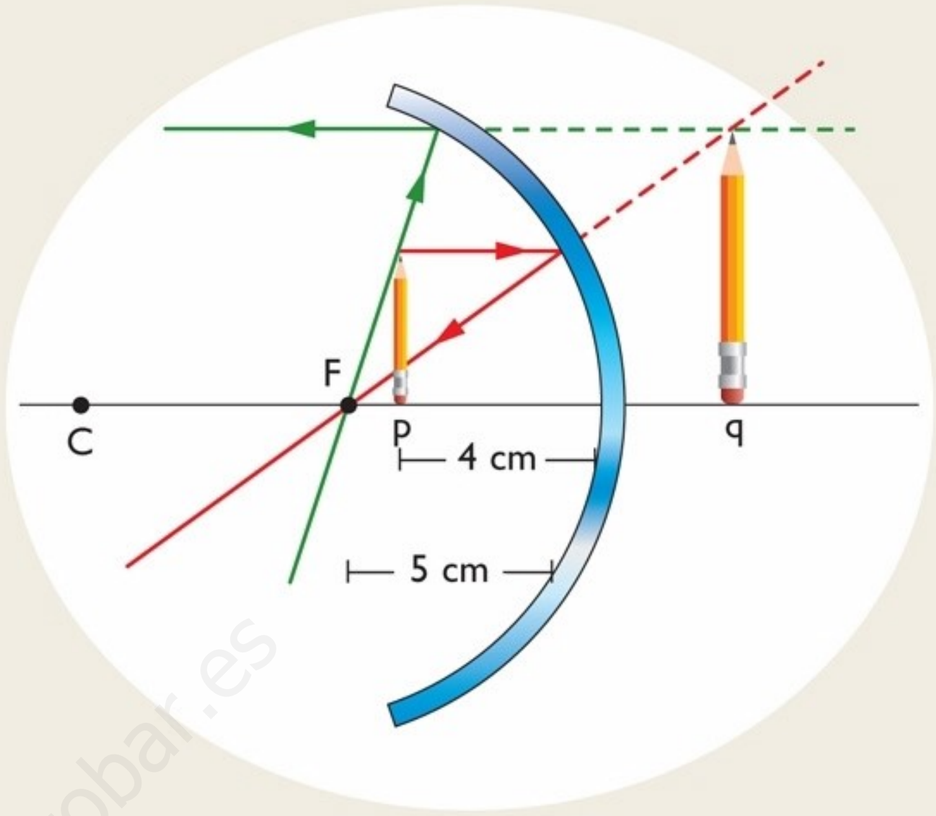
Si **M** es de signo +, la imagen es **derecha;** si **M** es de signo –, la imagen está **invertida.**

www.yoquieroaprobar.es

Ejercicio resuelto

1. Determina la ubicación y naturaleza de una imagen que se forma al situar un lápiz de 4 cm de altura, a una distancia de 4 cm de la superficie de un espejo cóncavo. Se sabe que la distancia focal del espejo es 5 cm.

- En primer lugar, según los datos del enunciado, se trata de un espejo cóncavo donde el objeto (el lápiz) se ubica entre el espejo y el punto focal.
- Luego dibujamos el diagrama de rayos que representa la situación:
  - **a.** Trazamos un **rayo paralelo**, es decir, que sale del objeto, paralelo al eje óptico y lo reflejamos pasando por el punto focal. Luego, se traza un **rayo focal**, es decir, que incide en el espejo pasando por el punto focal y se refleja paralelo al eje óptico.
  - **b.** Sabemos que la intersección de los rayos reflejados nos permite establecer la posición de la imagen. Así, para intersecar los rayos reflejados, los proyectamos hacia el lado posterior del espejo.
  - **c.** Según el diagrama, la imagen formada es virtual y aumentada.



- Ahora, calcularemos la distancia exacta de la imagen (q) detrás del espejo, aplicando la ecuación del espejo:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad \blacktriangleright \quad \frac{1}{q} = \frac{1}{5\text{ cm}} - \frac{1}{4\text{ cm}} = -\frac{1}{20\text{ cm}} \quad \blacktriangleright \quad q = -20\text{ cm}$$

Entonces, la imagen se forma a 20 cm en el lado posterior o virtual del espejo. De acuerdo a la convención de signos, como q es de signo –, confirma que la imagen es virtual.

Finalmente, el aumento está dado por la ecuación:

$$M = -\frac{q}{p} = -\frac{(-20\ \cancel{\text{cm}})}{4\ \cancel{\text{cm}}} = 5 \quad \blacktriangleright \quad \text{Si } M = \frac{h'}{h} \quad \blacktriangleright \quad h' = M \cdot h = 5 \cdot 4\text{ cm} = 20\text{ cm}$$

Como M es de signo +, la imagen es derecha. Además, es una imagen aumentada en cinco veces el tamaño del objeto.

Calcula y describe

1. Calcula la distancia a la que se ubica la imagen que se forma en un espejo cóncavo, cuyo radio de curvatura es 20 cm, cuando un objeto de 25 cm de altura se ubica a las siguientes distancias respecto al espejo. Describe, en cada caso, las características de la imagen obtenida.

a. 25 cm; **b.** 20 cm; **c.** 15 cm; **d.** 10 cm; **e.** 5 cm.

www.yoquieroaprobar.es

Evaluación de proceso

1 Responde.

a. Dentro de un átomo, un electrón salta de un orbital a otro emitiendo un fotón. ¿El electrón se acerca o aleja del núcleo atómico?, ¿el átomo absorbe o libera energía?

b. Explica si la siguiente afirmación es verdadera o falsa: "Mientras mayor es la longitud de onda de un fotón, más energía tiene".

2 **Haz en tu cuaderno una tabla como la siguiente. Complétala según lo que se indica y, luego, responde.**

Tipo de radiación	Rango de:		
	longitud de onda	frecuencia	energía

- Ordena los distintos tipos de radiación del espectro electromagnético de mayor a menor longitud de onda. Expresa los valores en unidades del SI.
- Calcula el rango de frecuencia y energía de cada tipo de radiación.

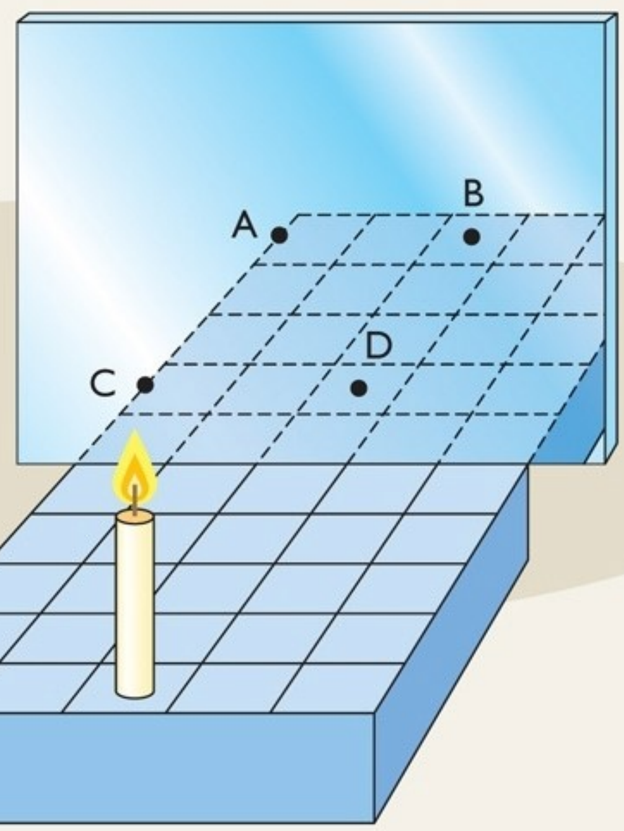
a. ¿Cuáles de las magnitudes están en proporción directa?, ¿cuáles son inversamente proporcionales?

b. ¿Qué tipo de ondas utilizarías si necesitaras hacer incidir gran cantidad de energía en un cuerpo?

3 **De los siguientes fenómenos que puede experimentar la luz, indica cuáles se pueden explicar según la teoría ondulatoria y cuáles según la corpuscular:**

a. difracción. **b.** refracción. **c.** efecto fotoeléctrico. **d.** reflexión.

4 **Una vela se ubica frente a un espejo plano sobre una rejilla cuadriculada, como muestra la figura. ¿En qué punto se ubica su imagen?, ¿qué características tiene la imagen formada?**



Fuente: TIMMS 2003. (Adaptación)

5 Resuelve.

a. Calcula la distancia a la que debe ubicarse un objeto frente a un espejo cóncavo, cuyo radio de curvatura es 20 cm, para obtener una imagen aumentada el doble.

b. Un espejo convexo, con un radio de curvatura de 0,5 m, permite vigilar los pasillos de una tienda. Describe la imagen de un cliente que está a diez metros del espejo y calcula su aumento.

www.yoquieroaprobar.es

Reviso

- Revisa el **Solucionario** y luego escribe tu puntaje en el cuadro.

DESCRIPTOR	PREGUNTA	PUNTAJE	¿QUÉ DEBES HACER?
Explicar el origen atómico de la luz.	1		Si obtienes menos de 2 puntos, realiza la actividad 1.
Identificar las características del espectro electromagnético.	2		Si obtienes menos de 7 puntos, realiza la actividad 2.
Calcular la frecuencia y la energía de los tipos de radiaciones del espectro electromagnético.			
Comprender las teorías que explican el comportamiento de la luz.	3		Si obtienes menos de 4 puntos, realiza la actividad 3.
Identificar las propiedades del fenómeno de reflexión de la luz en espejos.	4 y 5		Si obtienes menos de 3 puntos, realiza la actividad 4.
Resolver ejercicios sobre reflexión de la luz en espejos.			

Actividades

ACTIVIDAD 1

a. Explica qué es un fotón y cómo se relaciona con la emisión cuántica.

b. Dibuja un esquema que represente dos átomos del mismo elemento emitiendo luz; uno de ellos emitiendo un fotón de más energía que el otro.

ACTIVIDAD 2

a. Un aparato de rayos X emite ondas de longitud de onda de 1×10^{-12} m. Indica su velocidad de propagación, su frecuencia y energía; compara la longitud de onda de los rayos X con la de la luz visible.

b. Explica por qué la luz ultravioleta causa quemaduras en la piel al exponerse a ella y por qué la luz visible no causa estas lesiones.

ACTIVIDAD 3

a. Señala los argumentos que respaldan y los argumentos que contradicen la teoría corpuscular y ondulatoria de la luz.

b. Compara los fenómenos de reflexión, refracción, difracción y efecto fotoeléctrico, según la teoría corpuscular y la ondulatoria.

ACTIVIDAD 4

a. Un haz de luz incide sobre un espejo. Dibuja la dirección del ángulo incidente y reflejado cuando el ángulo de incidencia es: 30°; 45°; 90°.

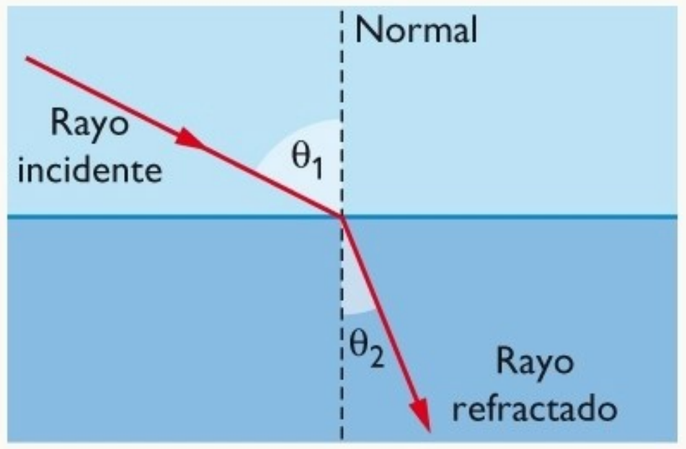
b. Elabora una ficha resumen para cada tipo de espejo (plano, cóncavo y convexo) y las imágenes que forman. Elabora también una ficha resumen para la convención de signos.

c. Un objeto de 1 cm de altura se ubica 20 cm delante de un espejo. Calcula el tamaño de la imagen si se trata de un espejo plano, de un espejo cóncavo y un espejo convexo. En los dos últimos casos considera que el radio del espejo es 15 cm.

www.yoquieroaprobar.es

7. Refracción y formación de imágenes en lentes

La refracción es el cambio en la dirección y rapidez de propagación que experimenta la luz al ingresar a un medio refringente o transparente. Esto se debe a que la velocidad de propagación de la luz varía al pasar de un medio a otro de diferentes características.



- Para determinar el ángulo de incidencia (θ_1) y de refracción (θ_2), se trazan en el mismo plano el rayo incidente, la normal y el rayo refractado.
- La trayectoria del rayo refractado es reversible, es decir, el rayo de luz realiza la misma trayectoria independiente del lado de la interfase donde incida.

Es usual caracterizar los medios transparentes de acuerdo a su índice de refracción (n) que corresponde a la razón o cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en ese medio.

$$n = \frac{c}{v}$$

c: velocidad de la luz en el vacío.
v: velocidad de la luz en el medio.

El índice de refracción no tiene unidades y su valor es siempre mayor que 1, pues la velocidad de propagación de la luz en el vacío (o en el aire) es de 3×10^8 m/s, mientras que en cualquier otro medio su valor es menor.

www.yoquieroaprobar.es

Tabla N° 2: Índices de refracción para diversas sustancias

Sólidos a 20 °C	n*
Hielo (0 °C)	1,39
Sílice	1,46
Vidrio	1,52
Cloruro de sodio	1,54
Diamante	2,42

Líquidos a 20 °C	n*
Agua	1,33
Alcohol etílico	1,36
Glicerina	1,47
Benceno	1,50

Gases a 0 °C, 1 atm	n*
Aire	1,000293
Dióxido de carbono	1,00045

n*: el índice de refracción se ha medido en las diferentes sustancias con radiación cuya longitud de onda en el vacío λ_0 = 589 nm (luz verde).

Fuente: Serway, R. *Física.* México. Pearson Educación, 5ª edición, 2001. (Adaptación)

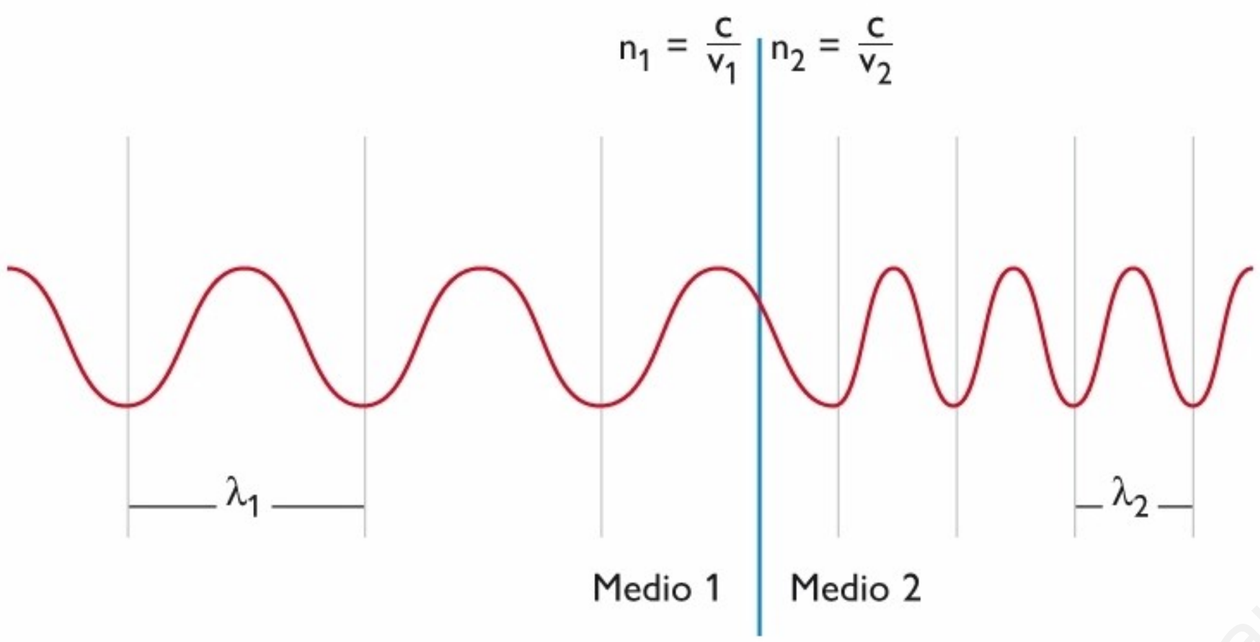
Analiza y calcula

1. Si en un medio la luz viaja a $2{,}2 \times 10^8$ m/s, calcula el índice de refracción de ese medio. ¿A cuál de los medios de la tabla corresponde?

2. Calcula la velocidad de la luz en: **a.** un diamante; **b.** un trozo de hielo; **c.** el agua.

Cuando la luz experimenta refracción, su frecuencia permanece constante pero su velocidad y longitud de onda varían. Esto se puede explicar considerando que la frecuencia, la velocidad y la longitud de onda se relacionan según la expresión $f = \frac{c}{\lambda}$.

Si la velocidad de la luz disminuye al viajar de un medio a otro, la longitud de onda debe disminuir en forma proporcional para que la frecuencia permanezca constante.



Dato

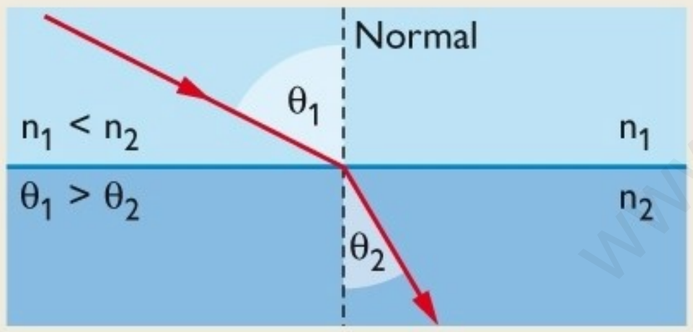
La ley de refracción o ley de Snell relaciona el ángulo de incidencia (θ_1) y el de refracción (θ_2) con los índices de refracción en cada medio, según la siguiente expresión:

$$n_1 \cdot \text{sen}\ \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\ \theta_2$$

A partir de la ley de refracción y aplicando geometría, se puede demostrar que la distancia al objeto (p) y la distancia a la imagen (q) en una interfase plana, como la superficie de un lago, se relaciona con los índices de refracción de los medios según:

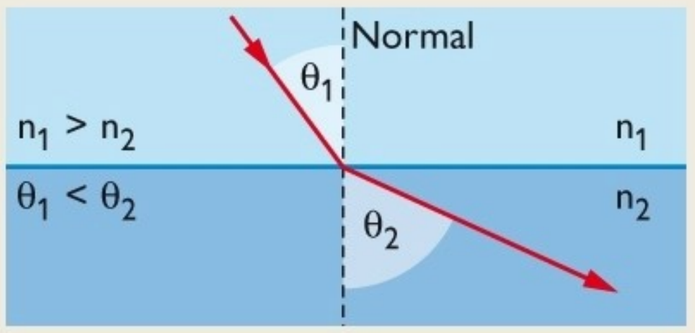
$$\frac{n_1}{p} = -\frac{n_2}{q}$$

Si la luz ingresa a un medio con un índice de refracción mayor (por ejemplo, del aire al agua):



- El ángulo del rayo refractado será menor que el ángulo del rayo incidente. Por lo tanto, el rayo refractado se desvía, acercándose a la normal.
- Disminuye la longitud de onda ($\lambda_1 > \lambda_2$).
- La luz pierde velocidad ($v_1 > v_2$).
- La frecuencia no cambia ($f_1 = f_2$).

Si la luz pasa a un medio con un índice de refracción menor (por ejemplo del agua al aire):



- El ángulo del rayo refractado será mayor que el ángulo del rayo incidente. Por lo tanto, el rayo refractado se desvía, alejándose de la normal.
- Aumenta la longitud de onda ($\lambda_1 < \lambda_2$).
- Aumenta la velocidad ($v_1 < v_2$).
- La frecuencia no cambia ($f_1 = f_2$).

Analiza y calcula

1. Una luz de longitud de onda 590 nm, atraviesa desde el aire por una ventana de vidrio.

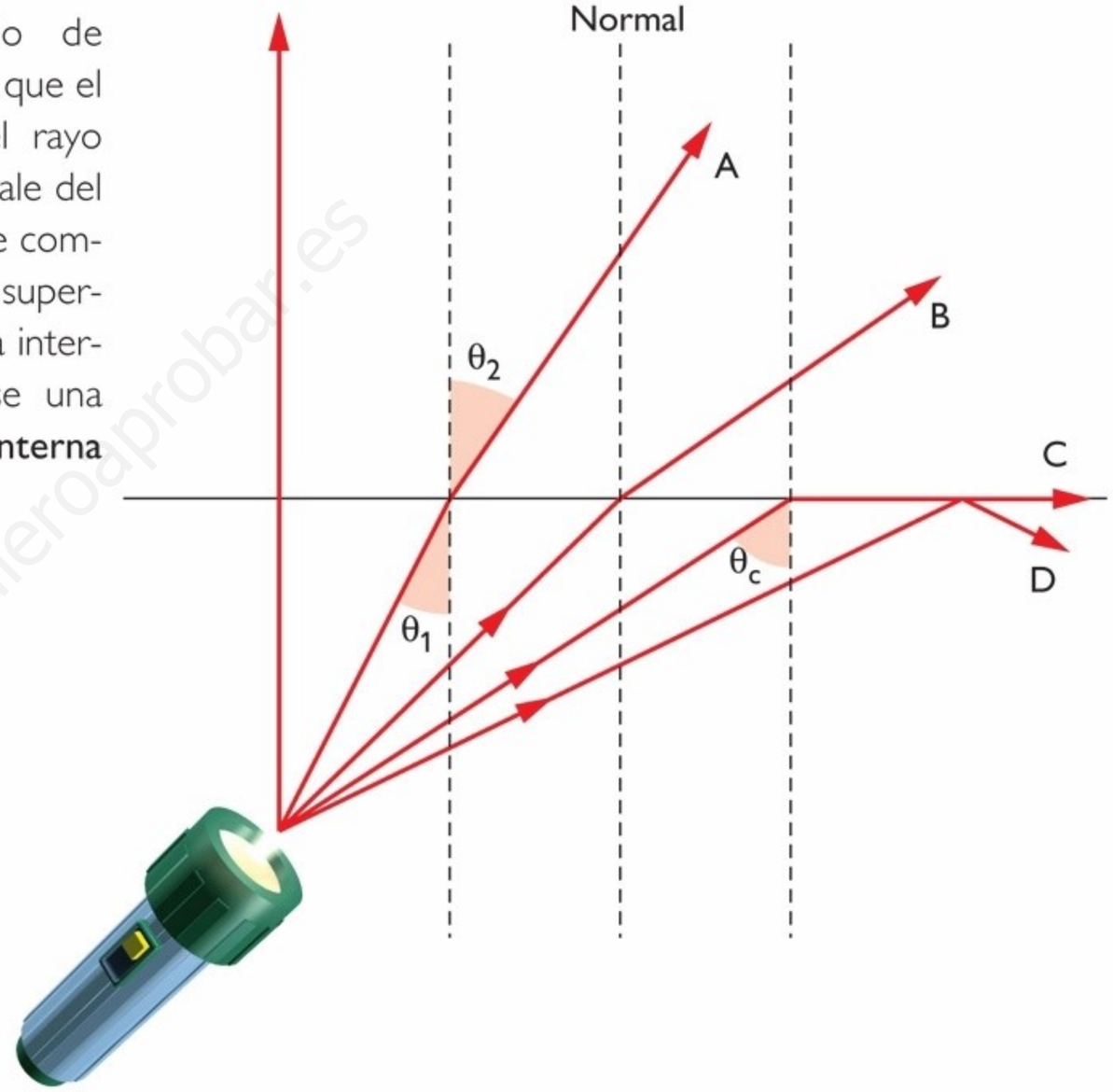
a. ¿Cuál es el valor del índice de refracción en cada medio?
b. ¿Qué ocurre con la velocidad de la luz al pasar por el vidrio?
c. ¿Cómo es el ángulo del rayo refractado, respecto del rayo incidente?
d. Calcula la longitud de onda de la luz en el vidrio.

www.yoquieroaprobar.es

Reflexión interna total

El fenómeno de **reflexión interna total** ocurre cuando **la luz pasa de un medio con alto índice de refracción a otro de menor índice de refracción.** Por ejemplo, al sumergir bajo el agua una fuente de luz que emite rayos hacia el aire. Debido a que el índice de refracción del aire es menor que el del agua, el ángulo del rayo refractado será mayor que el de incidencia, alejándose de la normal (A). Al aumentar el ángulo de incidencia, el rayo refractado se abrirá cada vez más (B), hasta alejarse tanto de la normal que saldrá tangencial a la superficie que separa el agua del aire (C). El ángulo de incidencia que provoca un ángulo de refracción de 90° respecto a la normal se conoce como **ángulo crítico (θ_c).**

Para un ángulo de incidencia mayor que el ángulo crítico, el rayo incidente ya no sale del agua, reflejándose completamente en la superficie interior de la interfase, generándose una **reflexión total interna** (D).



www.yoquieroaprobar.es

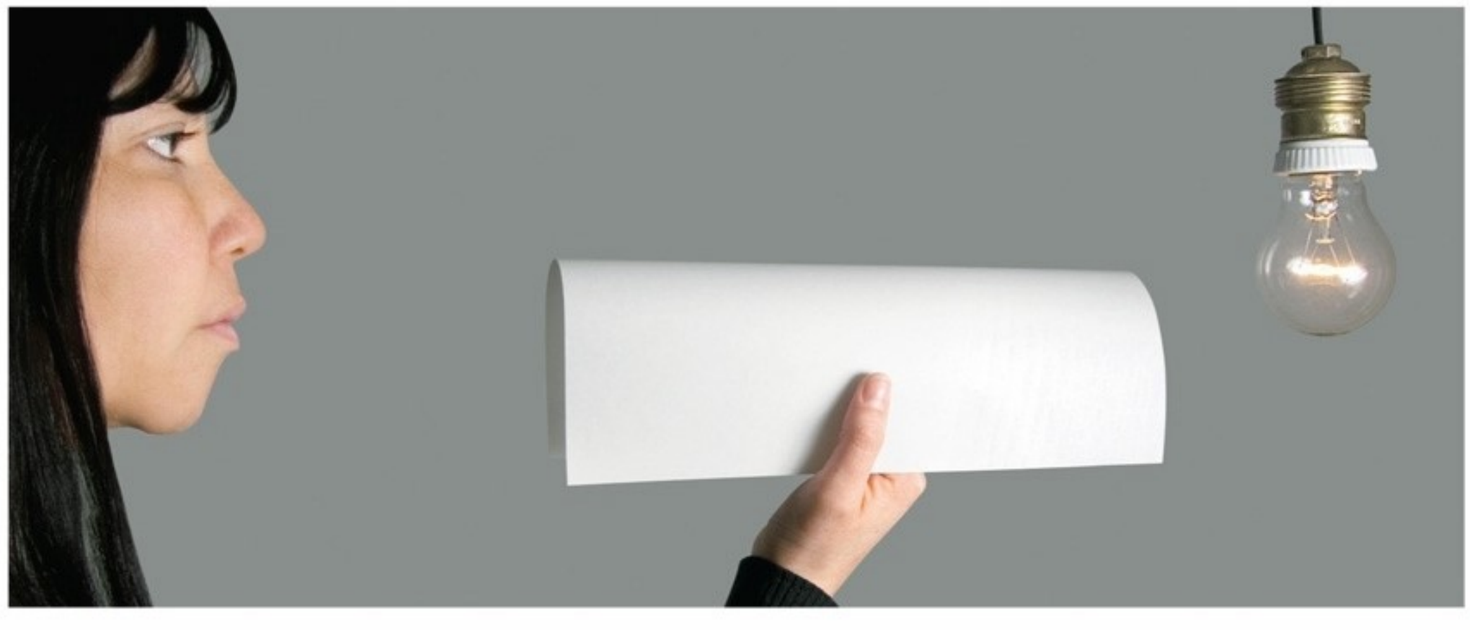
Dato

Los espejismos son ilusiones ópticas que se producen debido a la refracción. Por ejemplo, en la carretera, en un día caluroso, el pavimento se calienta y se forma sobre él una capa de aire caliente de unos 10 cm de espesor. Esta capa de aire es menos densa que el aire frío a más altura. Así, la luz que viaja por el aire e incide con ángulos mayores que el ángulo crítico no se refracta en la capa de aire caliente, experimentando reflexión total interna. Es por eso que al observar el pavimento este parece estar mojado, debido a que los rayos de luz provenientes del cielo se reflejan en la interfase como si hubieran incidido en la superficie de un espejo.

Gentileza Wilson Arancibia

Compruébalo

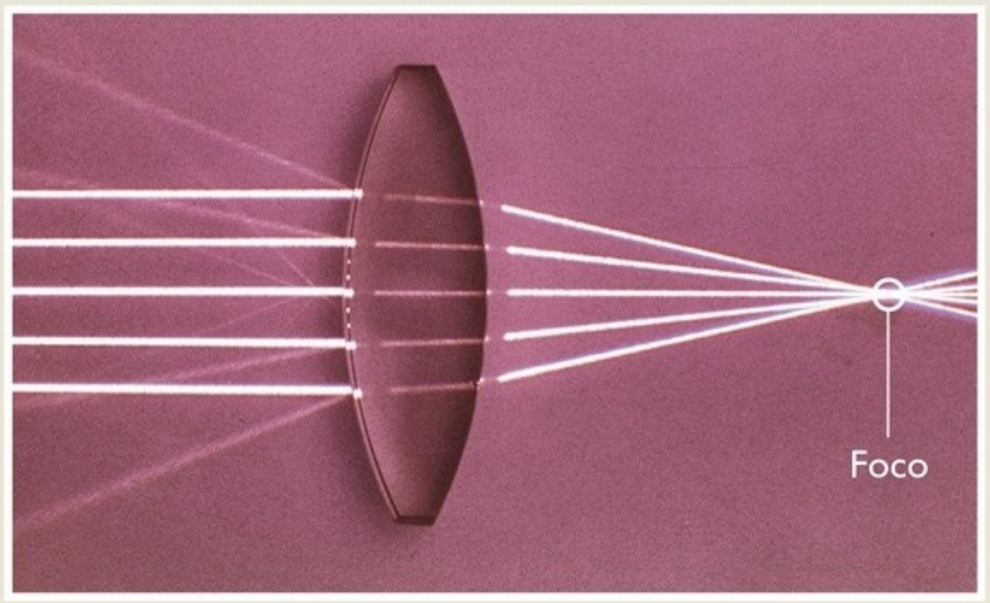
Curva un trozo de papel blanco y liso y mira sobre su superficie hacia una fuente de luz. ¿Qué observas en la superficie del papel? Explica a través de un esquema.



Lentes delgadas

Las **lentes** son cuerpos transparentes limitados por dos superficies, de las cuales al menos una es curva. Se clasifican en dos grandes grupos:

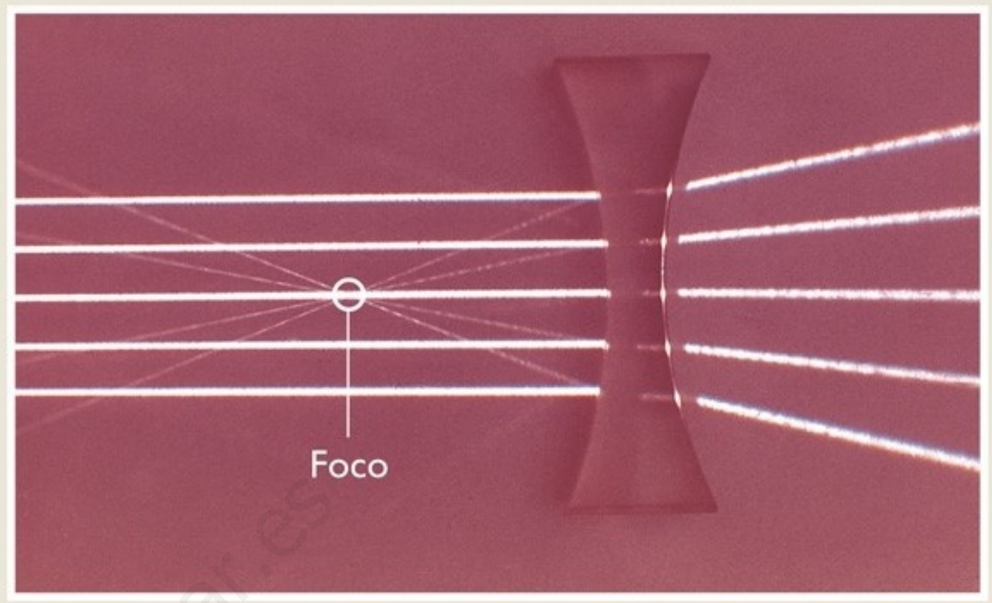
Lentes convergentes



- Los rayos de luz paralelos que llegan a la lente se refractan y convergen en un punto ubicado tras la lente, llamado **foco.**
- Se caracterizan por tener su centro más grueso y bordes más estrechos.
- Existen tres tipos:

Lente biconvexa. | Lente plano-convexa. | Lente menisco convexa.

Lentes divergentes



- Los rayos de luz paralelos que llegan a su superficie se refractan, abriéndose como si vinieran de un punto situado frente a la lente, llamado **foco virtual.**
- Se caracterizan por tener su centro más angosto y sus extremos más gruesos.
- Existen tres tipos:

Lente bicóncava. | Lente plano-cóncava. | Lente menisco cóncava.

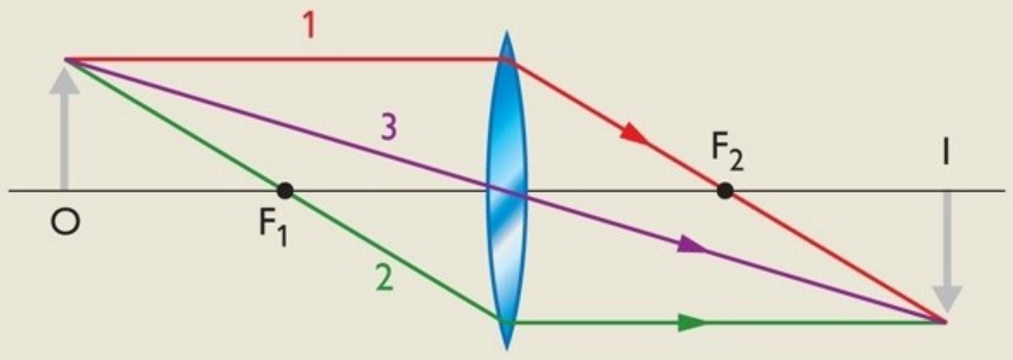
En todo tipo de lente, la luz puede venir de ambos lados. Es por esto que **cada lente tiene dos focos o puntos focales.** Definiremos como primer punto focal (F_1) al que se ubica en el mismo lado de la lente donde incide la luz y como segundo punto focal (F_2), el que se ubica en el lado opuesto a la incidencia de la luz.

La **distancia focal (f)** corresponde a la longitud desde el centro de la lente hasta cualquiera de los focos de una lente. La distancia focal de una lente depende tanto del índice de refracción del material con el cual está fabricada como del radio de curvatura de su superficie anterior y posterior. En esta unidad estudiaremos **lentes delgadas,** en ellas el espesor de la lente es pequeña en relación a la distancia focal.

www.yoquieroaprobar.es

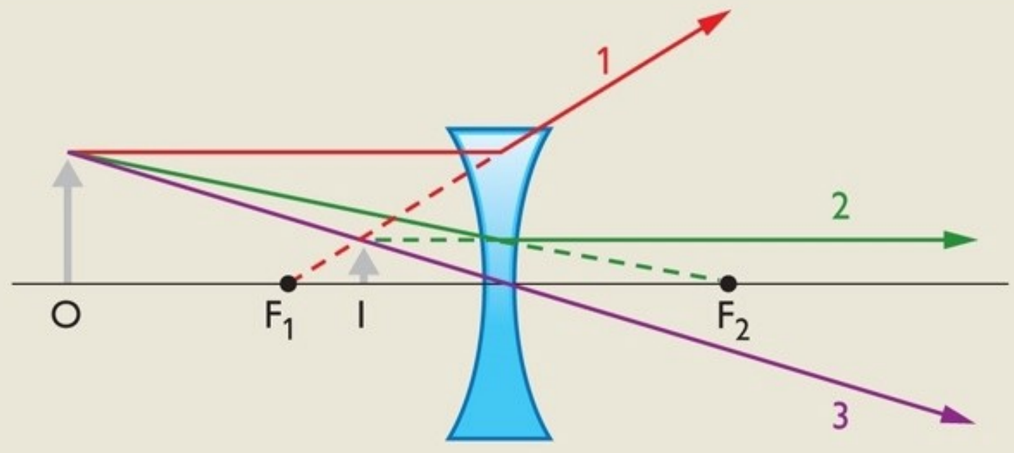
Para obtener la imagen que forma una lente delgada de un objeto ubicado frente a ella, se debe dibujar un diagrama de rayos similar al que se realiza para los espejos esféricos. A partir de un punto del objeto se trazan los rayos que atraviesan la lente. El lugar donde estos rayos (o sus prolongaciones) intersecan corresponde a la imagen de ese punto.

Lente convergente



1. **Rayo paralelo:** viaja en forma paralela al eje óptico y se refracta pasando por el segundo punto focal F_2.
2. **Rayo focal:** pasa primero por el primer punto focal F_1, y se refracta paralelo al eje óptico.
3. **Rayo central:** viaja hacia el centro de la lente cruzando el eje óptico, no sufre desviación.

Lente divergente

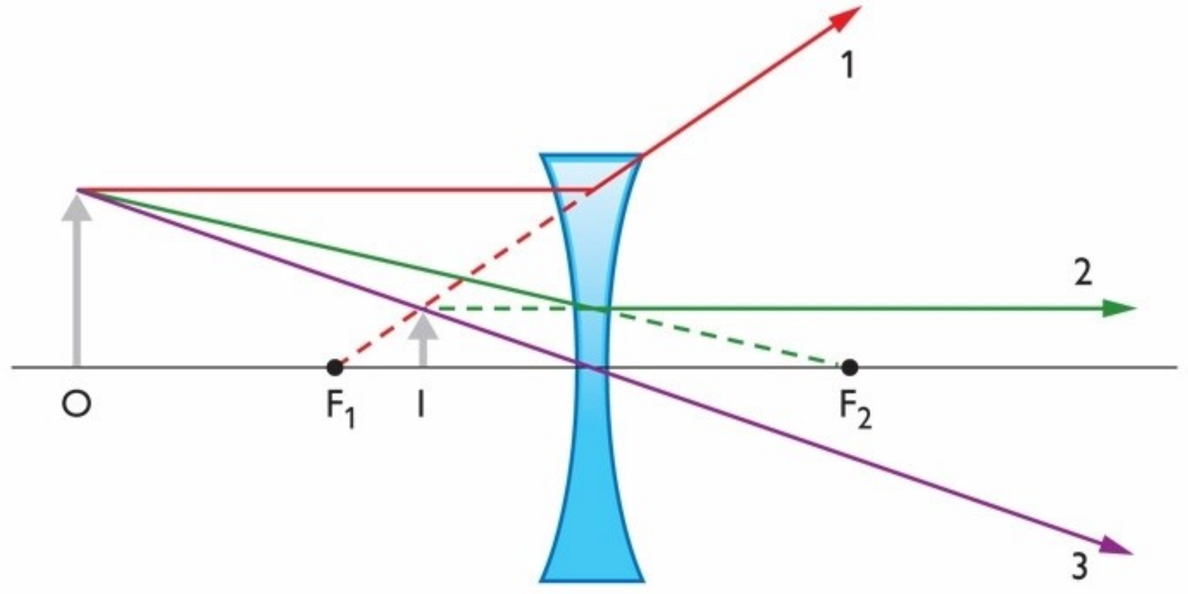


1. **Rayo paralelo:** viaja paralelo al eje óptico desde el objeto, al pasar por la lente se abre como si viniera del primer punto focal F_1.
2. **Rayo focal:** viaja hacia el segundo foco F_2, y se refracta paralelo al eje óptico.
3. **Rayo central:** viaja hacia el centro de la lente cruzando el eje óptico, sin cambiar su dirección.

www.yoquieroaprobar.es

Imágenes formadas por lentes divergentes

En las lentes divergentes, sin importar la distancia del objeto a la lente, la imagen siempre será **virtual,** más **pequeña** y **derecha** con respecto al objeto.



En la red

Ingresa el código MF1082 donde podrás trabajar con la formación de imágenes en lentes convergentes y divergentes.

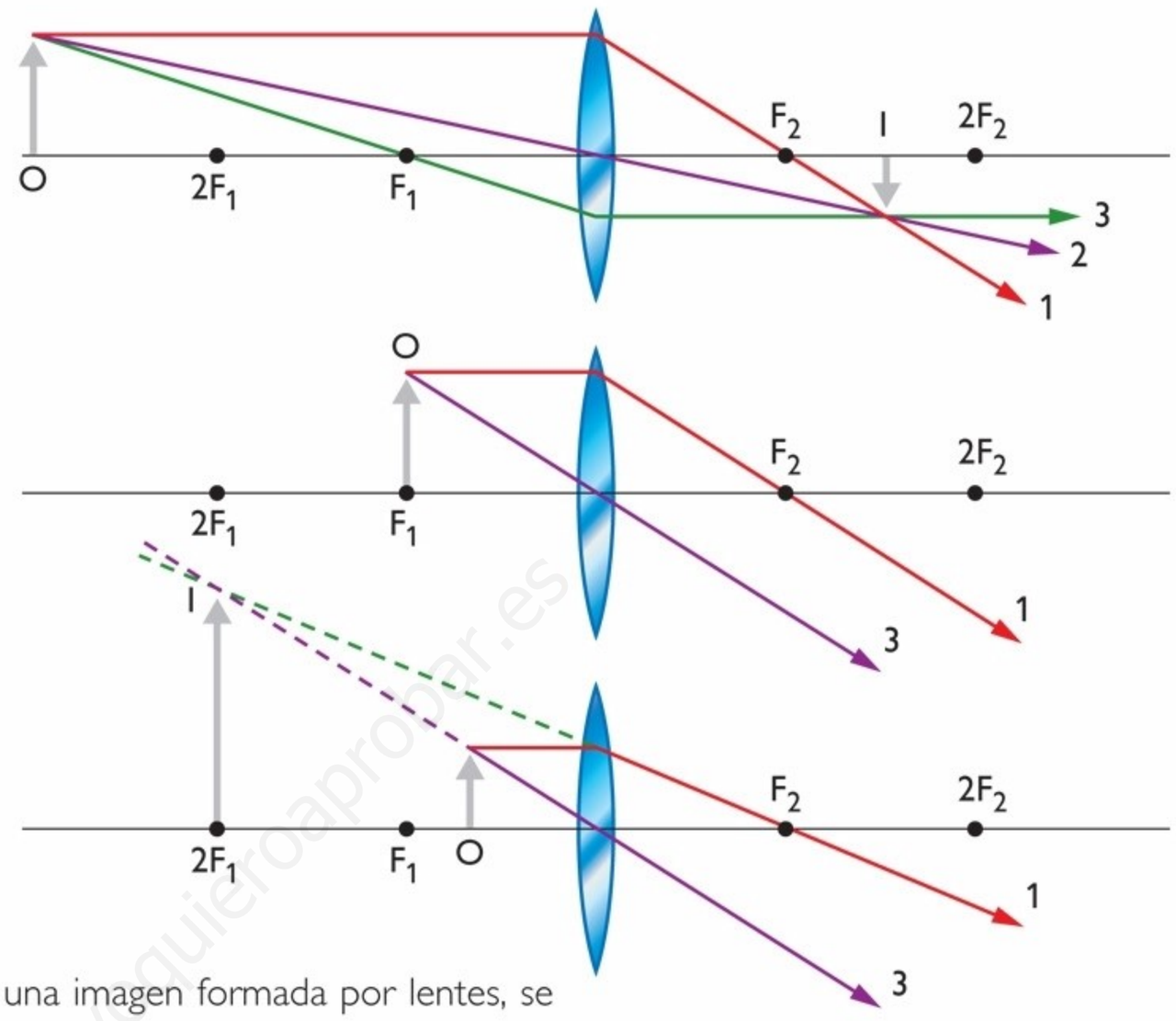
Imágenes formadas por lentes convergentes

Las imágenes que pueden formar las lentes convergentes dependen de la ubicación del objeto con respecto al primer punto focal (F_1). Por ejemplo:

- Si el objeto se ubica alejado de la lente más de dos veces la distancia al primer punto focal (F_1), la imagen que se forma es: **real, invertida, más pequeña** y se ubica en el lado opuesto de la lente, entre F_2 y $2F_2$ (el doble de la distancia focal).

- Si el objeto se ubica en el primer punto focal (F_1) **no se forma imagen.** Los rayos refractados son paralelos.

- Si el objeto se ubica entre el primer punto focal (F_1) y la superficie de la lente, la imagen que se forma es: **virtual, derecha, aumentada** y se ubica en el mismo lado que el objeto, pero más lejos de la lente.



Ecuación de las lentes

Para determinar las características y ubicación de una imagen formada por lentes, se puede utilizar la **ecuación de las lentes:**

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

donde **p** es la distancia del objeto, **q** es la distancia de la imagen, **f** es la distancia focal.

La **amplificación** o **aumento** de una lente está dada por la expresión:

$$M = \frac{-q}{p} = \frac{h'}{h}$$

donde **M** es el aumento, **h´** es el tamaño de la imagen, **h** es el tamaño del objeto.

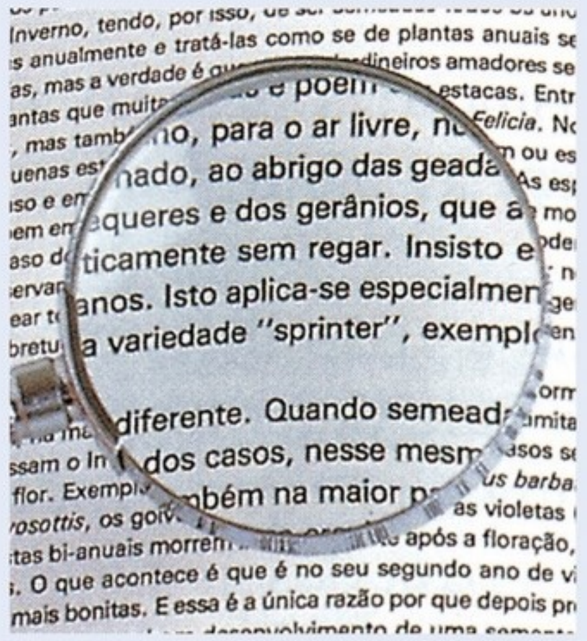
La **convención de signos** en las lentes cambia en lo referente a la posición de la imagen (q):

Tabla N° 3: Convención de signos para lentes

La imagen es **real** si se ubica al otro lado de la lente; **q** es +.
La imagen es **virtual** si se forma en el mismo lado del objeto; **q** es –.
f es + para lentes convergentes; **f** es – para **lentes divergentes.**
M es + para una imagen derecha; **M** es – para una imagen invertida.

DATO

Cuando usamos una lente biconvexa para leer un texto con letras muy pequeñas, las letras, que son el objeto, deben estar entre el punto focal y la lente. Esto se denomina "efecto lupa".



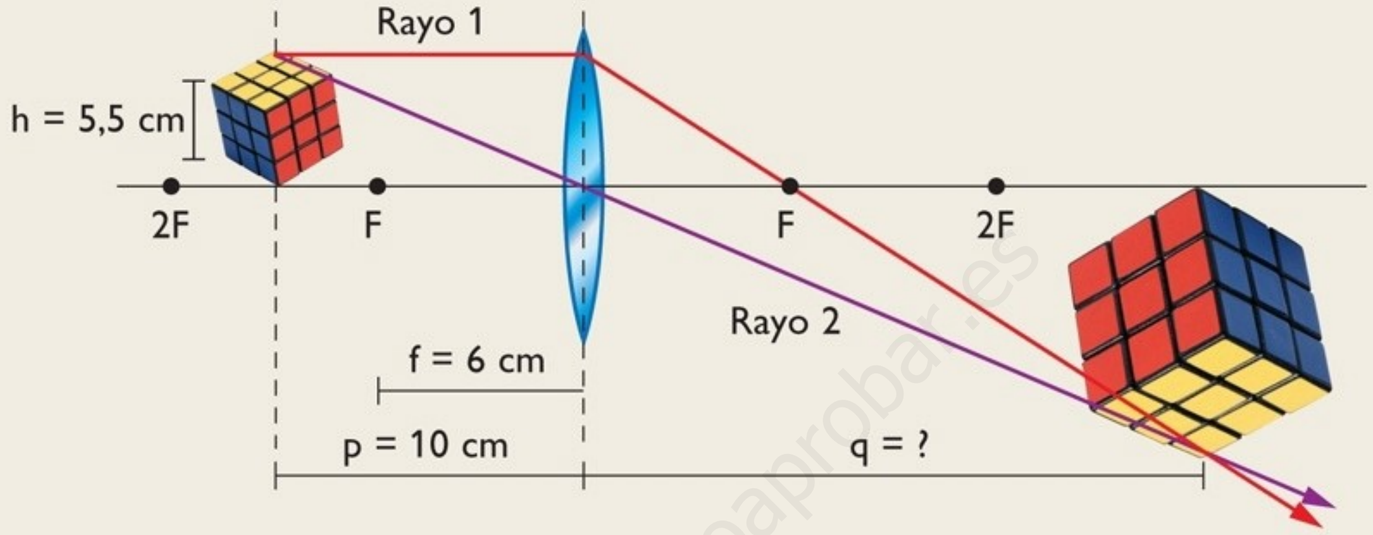
www.yoquieroaprobar.es

Ejercicio resuelto

Una lente convergente de distancia focal 6 cm se utiliza para formar la imagen de un cubo sobre una pantalla. Si el cubo mide 5,5 cm y se ubica a 10 cm de la lente, responde:

a. ¿A qué distancia se debe ubicar la pantalla donde se proyecta la imagen?
b. ¿Cuál será la amplificación o aumento de la imagen?
c. ¿La imagen es derecha o invertida respecto al objeto?

Para hacerse una idea de la ubicación y características de la imagen, dibujamos el diagrama de rayos para este ejemplo y anotamos los datos que entrega el enunciado.



a. A partir de la ecuación de las lentes se puede estimar la distancia de la imagen, vale decir, la distancia a la cual se debe ubicar la pantalla.

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad \blacktriangleright \quad q = \frac{f \cdot p}{p - f} = \frac{6\ cm \cdot 10\ cm}{10\ cm - 6\ cm} = \frac{60\ cm^{\cancel{2}}}{4\ \cancel{cm}} = 15\ cm$$

Si q = 15 cm, la pantalla debe estar 15 cm detrás de la lente.

b. La amplificación o aumento de la imagen se obtiene remplazando los valores de q y p en la ecuación de amplificación.

$$M = \frac{-q}{p} = \frac{-15\ \cancel{cm}}{10\ \cancel{cm}} = -1,5$$

Para calcular el tamaño de la imagen, se multiplica el tamaño del objeto por su amplificación:

$$5,5\ cm \cdot 1,5 = 8,25\ cm$$

La imagen es 1,5 veces más grande que el objeto; mide 8,25 cm.

c. Como M es de signo –, la imagen está invertida respecto al objeto.

Calcula, describe y representa

1. Una moneda se ubica 4 cm frente a una lente convergente (lupa), cuya longitud focal es 15 cm. Dibuja los rayos principales que forman la imagen. Calcula la distancia de la imagen al espejo y su amplificación. ¿Cuáles son las características de la imagen?

www.yoquieroaprobar.es

Actividad práctica N° 2

Medición del ángulo de refracción en la interfase aire-agua

Objetivo

Determinar cómo varía el ángulo de refracción de un rayo de luz según las características de los medios que forman una interfase.

Problema de investigación

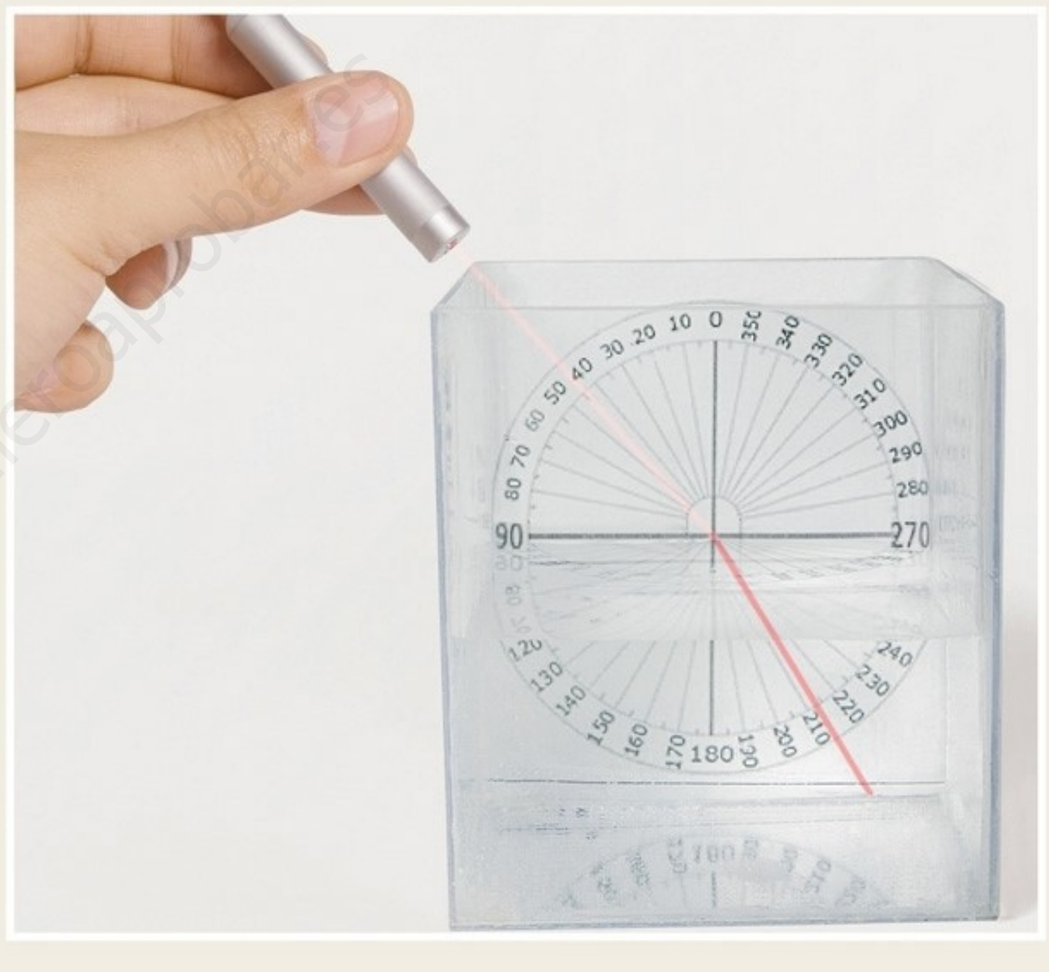
¿Cómo varía el ángulo de refracción al variar la concentración de azúcar en el agua?

Hipótesis

Al aumentar la concentración de azúcar de la mezcla, el ángulo de refracción debería disminuir (acercarse a la normal), manteniendo fijo el ángulo de incidencia.

Consigue los siguientes materiales:

- Un recipiente transparente, similar al que se muestra en la fotografía.
- Una fotocopia en papel blanco de un transportador de 360°.
- Un puntero láser.
- Agua.
- Azúcar.
- Una cuchara sopera.



En uno de los lados mayores del recipiente, pega la fotocopia del transportador. Llena el recipiente con agua hasta la mitad de su capacidad. La interfase aire-agua debe quedar exactamente en la línea central del transportador (como se muestra en la fotografía). Ubica sobre el agua el puntero láser y fija el ángulo de incidencia en 45°. Anota el valor del ángulo refractado.

Repite tus mediciones aumentando la concentración de azúcar en el agua. Completa la tabla con tus observaciones experimentales.

Cantidad de azúcar (cucharadas)					
Ángulo de refracción (°)					

Nota: cada vez que disuelves azúcar puede aumentar el nivel del agua. Recuerda mantener siempre el mismo nivel de mezcla para que coincida con la horizontal del transportador. Realiza esta experiencia en un lugar ligeramente oscurecido.

Análisis y conclusión

1. ¿Qué sucede con el ángulo de refracción a medida que aumenta la concentración de azúcar en el agua?
2. ¿Como determinarás la variación de la velocidad de propagación de la luz en la mezcla?
3. Elabora un informe escrito en el que expongas el experimento presentado. Guíate por la sección **Informe de laboratorio.**

8. Aplicaciones de la reflexión y refracción

Más del 80% de la información que el ser humano recibe de su medio externo lo hace a través del sentido de la vista. Es por eso la importancia y la trascendencia que la óptica y sus aplicaciones han tenido en nuestra vida cotidiana. Por ejemplo: la utilización de lentes para corregir defectos de la visión; o el desarrollo de sofisticados instrumentos a base de lentes y espejos, que han posibilitado enormes avances en áreas como la biología y la astronomía.

A continuación, estudiaremos algunos instrumentos cuyo funcionamiento se basa en la óptica.

El microscopio compuesto

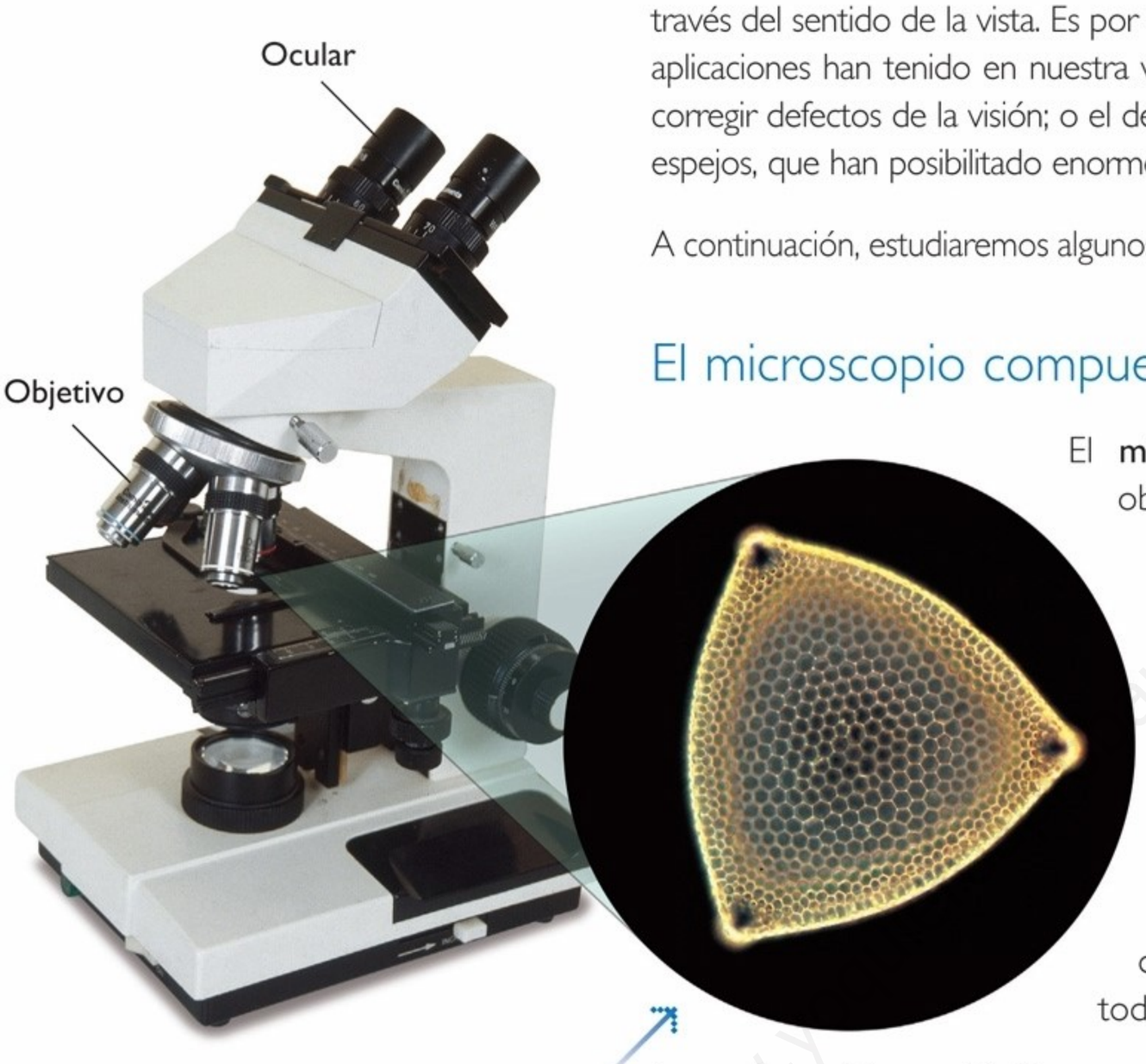


Imagen de una diatomea obtenida en un microscopio compuesto.

El **microscopio compuesto** se utiliza para observar objetos cercanos y muy pequeños, formando una imagen aumentada del objeto. El modelo más básico de microscopio se compone por dos lentes convergentes:

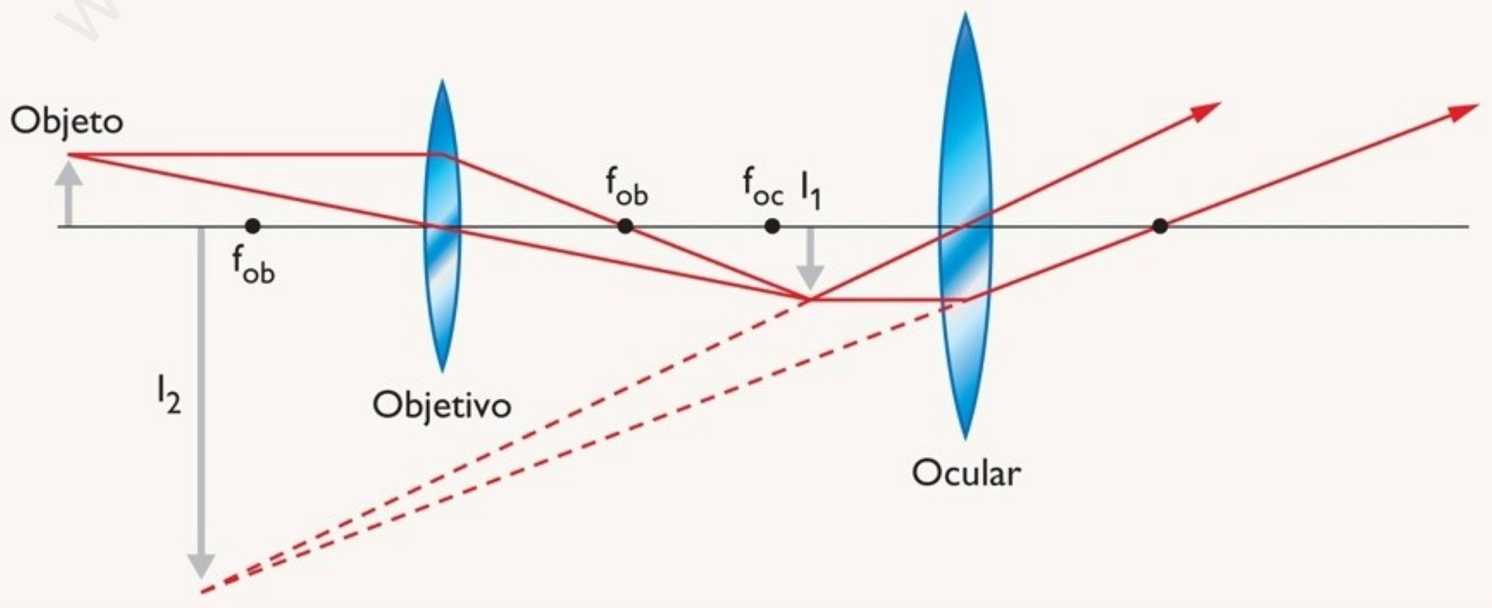
- El **objetivo** es la lente más próxima al objeto; tiene una distancia focal (f_{ob}) muy pequeña (menor que 1 cm).

- El **ocular** es la lente más próxima al ojo; tiene una distancia focal (f_{oc}) mayor que el objetivo, pero de todas formas de unos pocos centímetros.

1. El objeto (O) se ubica a una distancia mayor que de la distancia focal del objetivo (f_{ob}).

2. El objetivo forma una imagen intermedia (I_1) real e invertida, que se ubica en el punto focal del ocular (f_{oc}) o entre él y el ocular.

3. El ocular utiliza la imagen I_1 como su objeto. Así, forma una imagen final (I_2) virtual, invertida y muy aumentada.



La **amplificación** del microscopio es el producto de la amplificación del ocular y el objetivo, donde:

$$M = M_{oc} \cdot M_{ob}$$

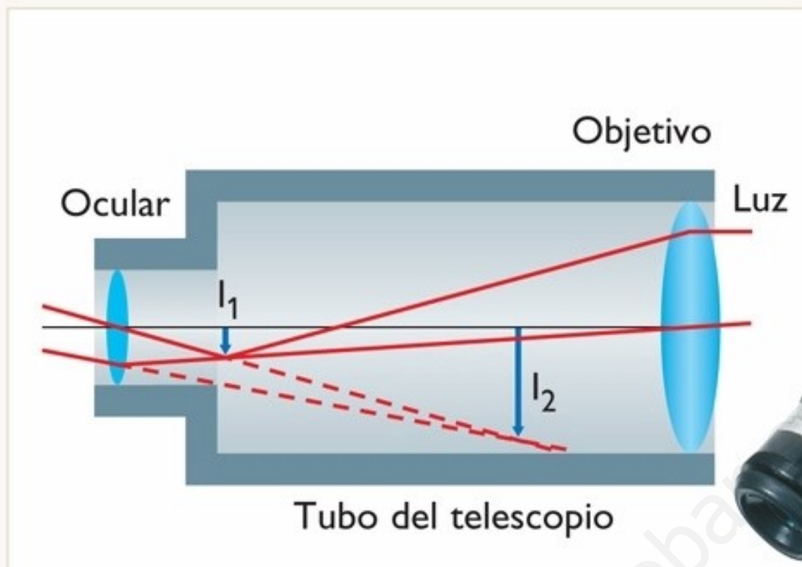
El microscopio compuesto puede aumentar hasta 2.500 veces el tamaño del objeto observado, de acuerdo a la configuración de lentes utilizada.

El telescopio

El telescopio se utiliza para observar objetos grandes que están muy distantes. Existen dos tipos de telescopios: el **telescopio refractor,** que usa lentes, y el **telescopio reflector,** que usa espejos cóncavos.

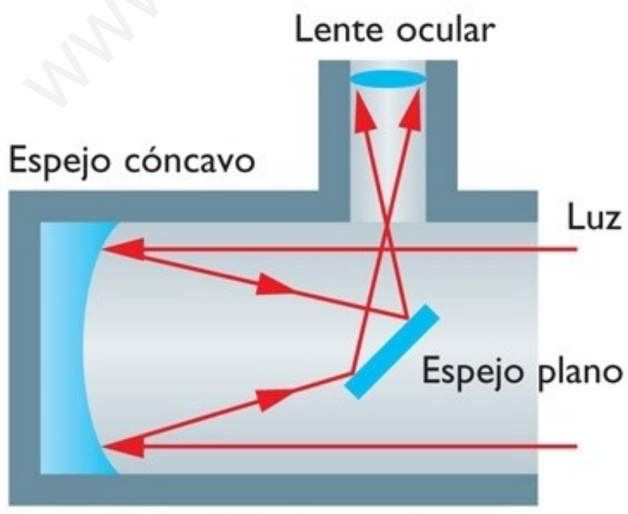
El telescopio refractor funciona de manera semejante al microscopio compuesto.

- El objetivo forma una imagen intermedia (I_1) real, invertida y más pequeña que el objeto.
- El ocular utiliza la imagen I_1 como su objeto. Forma una imagen final (I_2) virtual, no invertida y aumentada.



En el telescopio reflector, la lente objetivo es remplazada por un espejo cóncavo.

- Los rayos de luz provenientes de estrellas lejanas (rayos paralelos) se reflejan en el espejo cóncavo ubicado en la base del tubo del telescopio y convergen en el foco, donde se ubica un espejo plano.
- El espejo plano desvía los rayos de luz hacia una abertura en el tubo del telescopio.
- La lente ocular permite aumentar la imagen y hacerla visible para el observador.



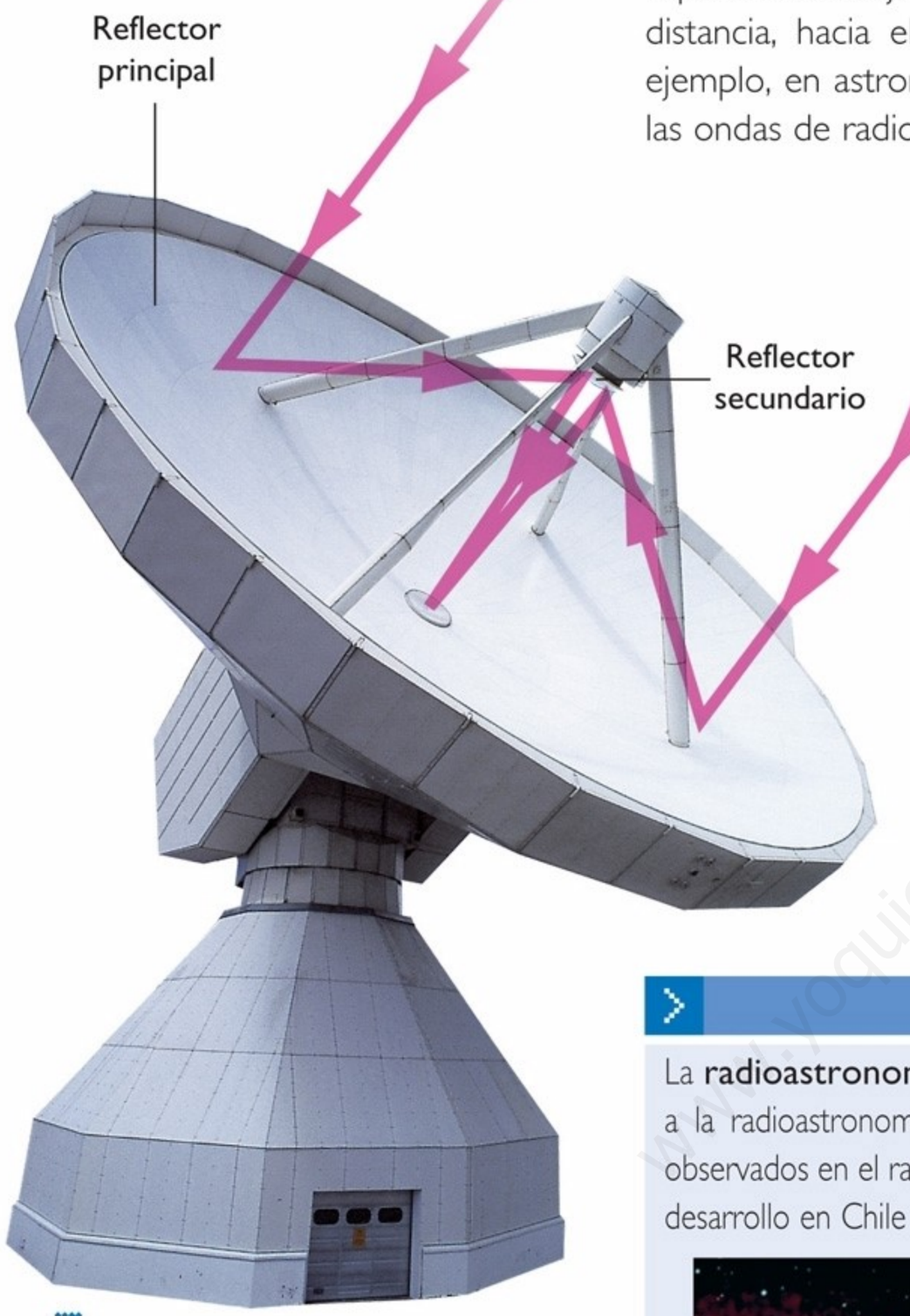
Reflexiona

El desarrollo de algunos instrumentos ópticos, como los microscopios o telescopios, necesitan una inversión monetaria elevada para poder obtener resultados científicos destacados y novedosos. ¿Qué te parece que un gobierno dedique importantes sumas de dinero a proyectos científicos teniendo otras necesidades que cubrir entre sus ciudadanos?, ¿qué medidas se te ocurren para financiar estos proyectos?, ¿crees tú que se podrían obtener beneficios económicos de estos proyectos?, ¿cómo?

www.yoquieroaprobar.es

Antenas parabólicas

Las **antenas parabólicas** funcionan como grandes espejos convergentes, que son capaces de reflejar ondas electromagnéticas provenientes de objetos situados a gran distancia, hacia el punto focal. Las antenas parabólicas tienen distintos usos, por ejemplo, en astronomía los **radiotelescopios** utilizan antenas parabólicas para recibir las ondas de radio emitidas por cuerpos celestes.



Radiotelescopio.

Las antenas parabólicas también se usan para emitir ondas. Para esto se ubica el emisor de ondas en el punto focal, y las señales salen como rayos paralelos que pueden ser dirigidos con mucha precisión a un punto determinado. Esto se aplica, por ejemplo, en la emisión de señales de televisión satelital.

Dato

La **radioastronomía** es el estudio de los cuerpos celestes que emiten ondas de radio. Gracias a la radioastronomía se han podido observar fenómenos astronómicos que no pueden ser observados en el rango de longitud de onda visible. Para saber más sobre la radioastronomía y su desarrollo en Chile ingresa el siguiente código: MF1088.

Gentileza NRAO/AUI/NSF

Emisión de ondas de radio (color naranjo) de la galaxia Fornax A. La imagen fue captado por el observatorio de radioastronomía VLA en Nuevo México.

www.yoquieroaprobar.es

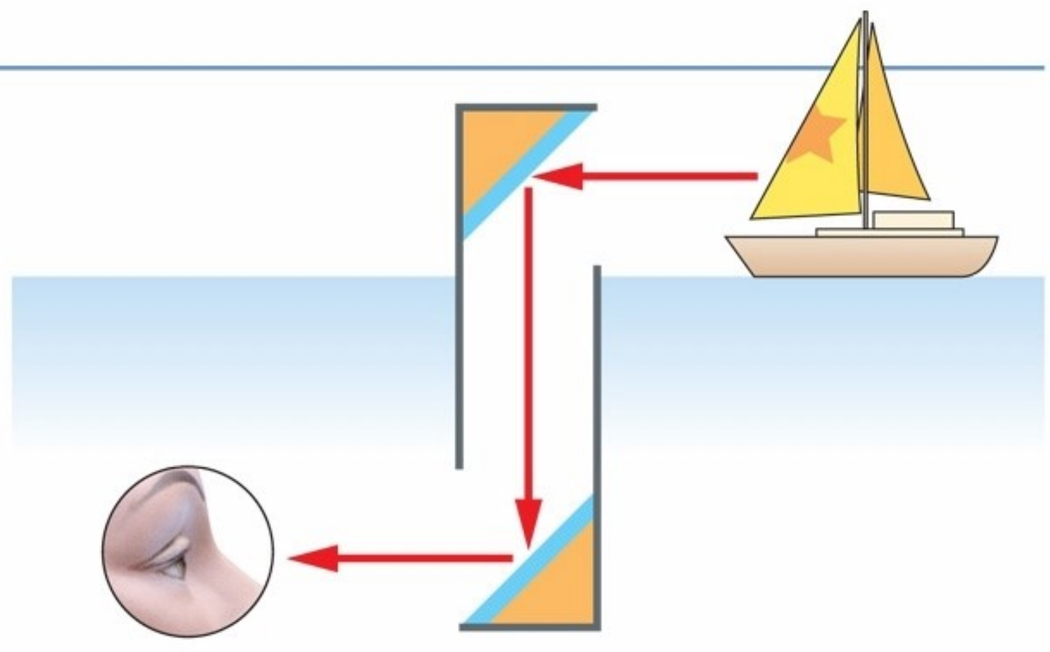
Hornos solares

Un **horno solar** es un dispositivo formado por uno o varios espejos cóncavos que concentran la luz solar en el foco del espejo. La radiación infrarroja, que forma parte de la luz solar, es absorbida por un cuerpo que se ubica en el foco del espejo, aumentando su temperatura.

Horno solar de Odeillo. Francia. Está formado por más de 9.500 espejos planos dispuestos en una superficie curva, funcionado como un gran espejo cóncavo que concentra la luz solar en el foco, el cual se ubica en la parte superior de la torre central.

Investiga y explica

1. El periscopio es un instrumento óptico que te permite ver sin ser visto. Se puede construir de manera casera colocando dos espejos inclinados con un ángulo de 45° en el interior de una caja con dos orificios, como se muestra en la figura.



a. Explica cómo puede llegar al ojo del observador el rayo de luz procedente del objeto que se desea mirar.

b. ¿Por qué se usan periscopios en los submarinos? ¿Qué otras aplicaciones tienen estos instrumentos?

c. ¿Cuáles son las características de la imagen?

2. Explica, a través de un esquema, el funcionamiento de una antena que capta señales de televisión. Ten en cuenta las leyes de la reflexión.

¿A qué profundidad se ve un pez?

Una persona se encuentra sobre un muelle, a 3 m sobre la superficie del agua, mirando un pez en el lago que se encuentra a una profundidad de 4 m. ¿A qué profundidad ve al pez?

1 *Entender el problema e identificar la incógnita*

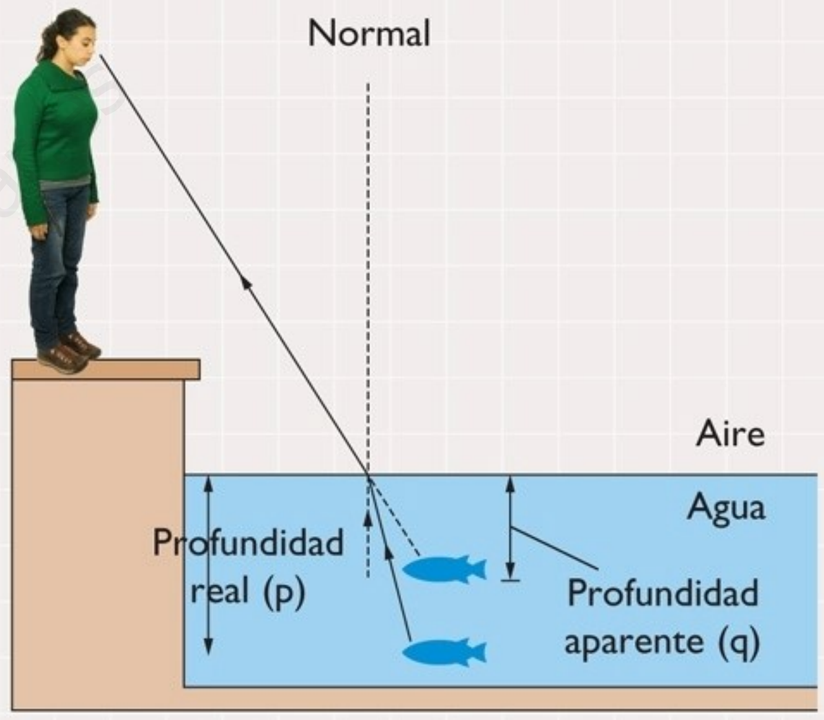
- Este es un problema sobre refracción, fenómeno que produce distintos efectos ópticos. En este caso, **la joven ve el pez a menor profundidad de lo que realmente está.** Tenemos que averiguar la profundidad aparente, donde se forma la imagen del pez.

2 *Anotar los datos del problema*

- Distancia persona – superficie del agua = 3 m
- Distancia pez – superficie del agua = 4 m
- Índice de refracción del agua (n_1) = 1,33
- Índice de refracción del aire (n_2) = 1

3 *Planificar la estrategia*

- Para resolver el problema debemos considerar:
  - La dirección de un rayo de luz que se refleja en el pez y llega al ojo de la joven: el rayo de luz se aleja de la normal al pasar del agua al aire, pues pasa a un índice de refracción menor.
  - La joven interpreta que el pez está en la dirección del rayo de luz que llega a sus ojos (sin importar que en el camino haya sufrido cambios en la dirección). Esto se ilustra en el diagrama de rayos.



www.yoquieroaprobar.es

  - En una superficie refractora plana, como en la interfase aire-agua de este ejemplo, se cumple la siguiente relación matemática:

$$\frac{n_1}{p} = -\frac{n_2}{q}$$

A partir de ella podemos determinar el valor de la profundidad aparente del pez (q).

4 *Ejecutar el plan*

- Despejamos la incógnita:

$$q = -\frac{n_2}{n_1} p$$

- Remplazamos los valores:

$$q = -\frac{1}{1{,}33} \cdot 4\ \text{m} = -0{,}75 \cdot 4\ \text{m} = -3\ \text{m}$$

Respuesta

La joven observa al pez como si este se encontrara a una profundidad de **3 m.** Según la convención de signos, si q es – significa que la imagen formada es virtual.

Suponiendo el mismo caso del problema anterior: ¿a qué distancia el pez ve a la persona?

1

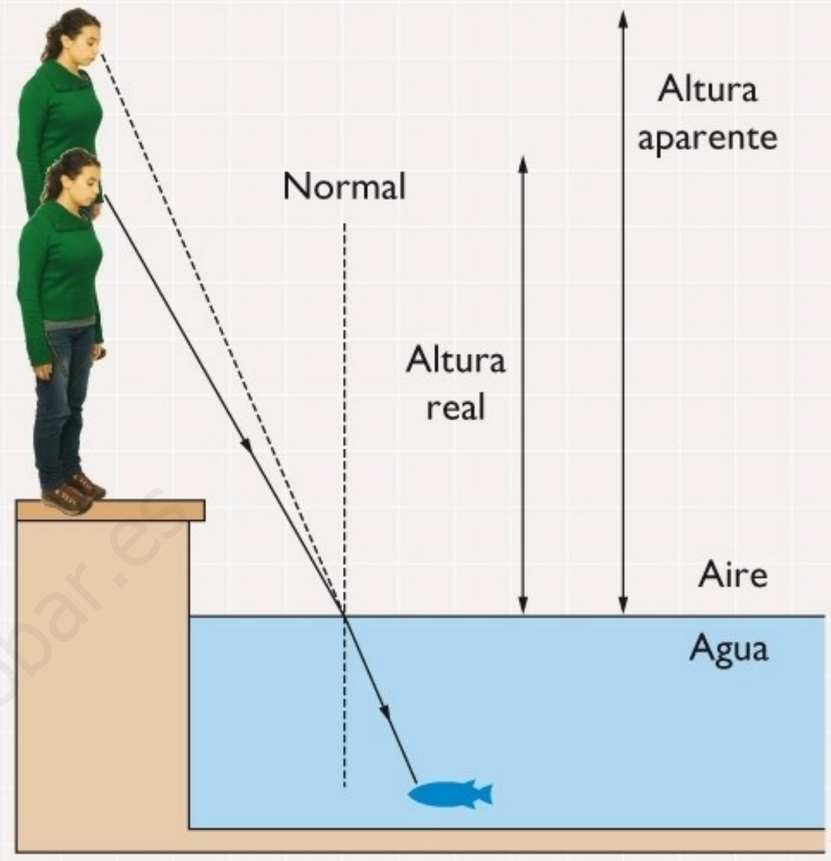
- En este caso el problema se invierte: tenemos que averiguar la altura aparente de la joven cuando el pez la observa desde el fondo del lago.

2

- Distancia persona – superficie del agua = 3 m
- Distancia pez – superficie del agua = 4 m
- Índice de refracción del agua (n_1) = 1,33.
- Índice de refracción del aire (n_2) = 1

3

- Debemos fijarnos en la trayectoria de un rayo de luz que se refleja en la joven y llega al ojo del pez: al pasar del aire al agua el rayo de luz se acerca a la normal, pues pasa a un índice de refracción mayor.
- El pez interpreta que la joven está en la dirección del rayo de luz que le llega: la ve a mayor altura de lo que realmente está. Esto se ilustra en el diagrama de rayos.



- Para determinar la distancia exacta a la que el pez ve a la joven, utilizamos la siguiente ecuación, a partir de la cual podemos determinar el valor de la altura aparente de la persona (q):

$$\frac{n_1}{p} = -\frac{n_2}{q}$$

4

- Despejamos la incógnita:

$$q = -\frac{n_2}{n_1} p$$

- Remplazamos los valores:

$$q = -\frac{1,33}{1} \cdot 3 \text{ m} = -3,99 = -4 \text{ m}$$

Respuesta

El pez ve a la joven como si estuviera a **4 m** de altura. Según la convención de signos si q es de signo – significa que la imagen formada es virtual.

Problemas propuestos

1. Una moneda se encuentra en el fondo de un recipiente que contiene benceno (n = 1,50). Calcula la profundidad del recipiente, si un observador que ve la moneda directamente desde arriba, la observa como si estuviera a 5 cm de profundidad.

2. Un vaso de vidrio que tiene un fondo muy grueso (1 cm) se posa sobre un papel. Si una persona se encuentra sentada delante del vaso, ¿verá el papel más arriba o más abajo de lo que está? ¿Por qué?

www.yoquieroaprobar.es

Índices de radiación ultravioleta

Explorar el problema

La **radiación ultravioleta,** o radiación **UV,** es radiación electromagnética emitida por el Sol, su longitud de onda comprende desde los 100 nm hasta los 400 nm. Su nombre se debe a que su rango de frecuencia es superior a la frecuencia del color violeta del espectro visible, es decir, mayor a los $7{,}5 \times 10^{14}$ Hz. Este tipo de radiación se clasifica en tres tipos, de acuerdo a su energía y los daños que produce.

Ultravioleta A (UVA). Radiación UV que llega a la superficie terrestre con mayor intensidad, pero menor energía, comprende frecuencias desde $7{,}5 \times 10^{14}$ Hz hasta $9{,}4 \times 10^{14}$ Hz y longitudes de onda de 320 a 400 nm. A pesar de su relativamente baja energía es muy peligrosa para la vida en general y en particular para la salud humana: en caso de exposiciones prolongadas de la piel y los ojos a esta radiación, se pueden producir: cataratas, debilitamiento del sistema inmunológico y melanomas que originan cáncer de piel. De los tres tipos de radiacion UV que llegan a la Tierra, al tener menor energía es proporcionalmente menos perjudicial.

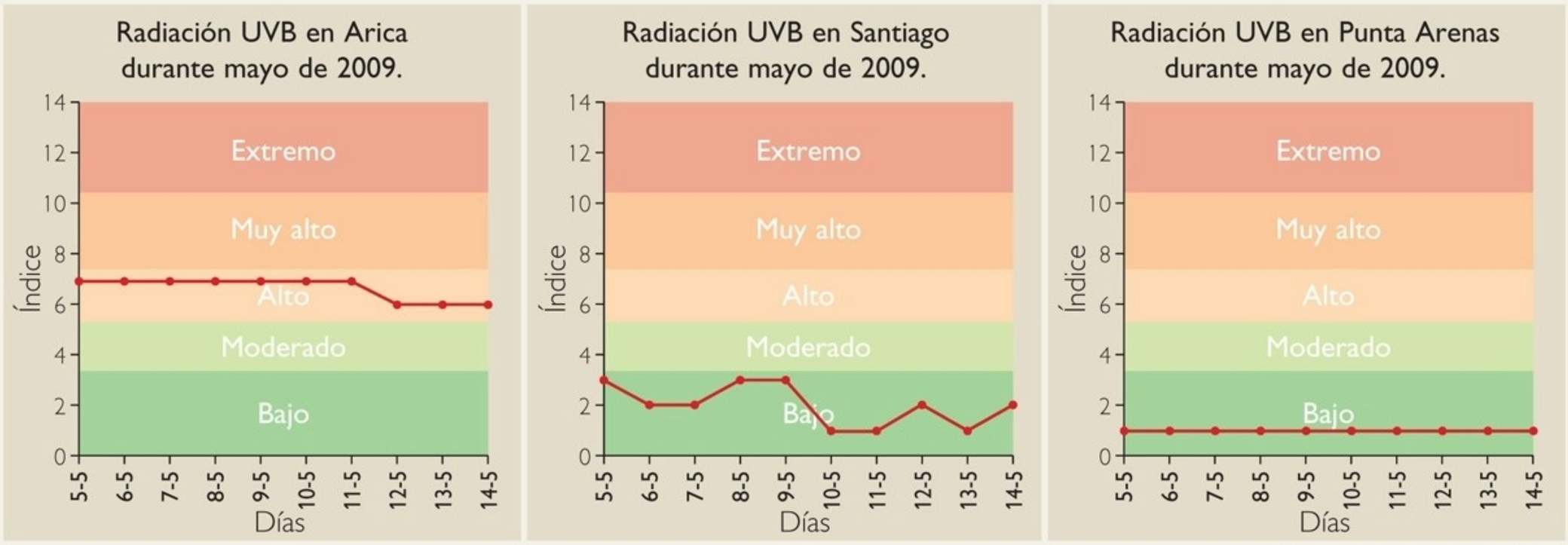
Ultravioleta B (UVB). Es la llamada radiación UV biológica. Representa el 5% de la radiación UV que llega a la superficie de la Tierra. Comprende frecuencias entre $9{,}4 \times 10^{14}$ Hz a $1{,}1 \times 10^{15}$ Hz y su longitud de onda varía entre 280 nm y 320 nm. Es más peligrosa que la radiación UVA, ya que dosis y tiempos de exposición menores causan efectos similares a los producidos por la radiación UVA.

Ultravioleta C (UVC). Radiación UV de alta energía, comprende frecuencias desde $1{,}1 \times 10^{15}$ Hz hasta $3{,}0 \times 10^{15}$ Hz y longitudes de onda entre los 100 y 280 nm. Es totalmente dañina para los seres vivos y en su presencia no sería posible la vida en la Tierra. Esta radiación interactúa con el ozono y el oxígeno de la estratosfera, siendo absorbida, de manera que no alcanza la superficie terrestre.

La intensidad de la radiación ultravioleta que llega a la Tierra depende principalmente de la hora del día, de la época del año, de la latitud, de la altura del terreno, del espesor de la capa de ozono, entre otras variables. Para clasificar la intensidad de radiación, se estableció el índice de radiación ultravioleta, que va de 1 a 14. Observa los rangos presentados en las tablas que registran el índice de la radiación UVB medido en mayo de 2009 en Arica, Santiago y Punta Arenas.

Es aconsejable cuidar nuestra piel de la radiación ultravioleta cuando realizamos actividades al aire libre, en las que estamos más expuestos a la radiación solar.

www.yoquieroaprobar.es



Fuente: www.meteochile.cl

Analizar el problema

A partir de la información entregada y de la investigación en diversas fuentes, responde en tu cuaderno las siguientes preguntas.

1. ¿Cuáles son los tipos de radiación ultravioleta provenientes del Sol? Averigua qué medidas de precaución se deben tomar para evitar los daños.
2. ¿Qué relación se puede establecer entre la latitud de cada ciudad mencionada y la cantidad de radiación ultravioleta medida?
3. Menciona las similitudes y diferencias que se puedan deducir a partir del análisis y comparación de los gráficos.

Tomar una decisión

1. Investiga el índice de radiación UV en tu ciudad y averigua cuál es la época del año y la hora del día más peligrosa en cuanto a radiación UV.
2. ¿Cuáles son los daños a los que te expones al recibir una cantidad excesiva de luz solar?, ¿tomas las precauciones adecuadas para prevenirlos?, ¿cuáles?

Mi compromiso

Elige una de las siguientes actividades y realízala junto a un grupo de compañeras y compañeros.

- Confeccionen un diario mural en el que indiquen los momentos de más riesgo en la localidad que habitan, y las medidas para prevenir los daños.
- Enumeren las medidas que podría tomar la población para disminuir su exposición a la radiación solar, elaboren volantes con esta información y distribúyanlos entre quienes, por sus condiciones laborales, estén más expuestos a estos daños.
- Inicien una campaña informativa en su colegio, con el propósito de prevenir posibles daños a la salud, derivados de la radiación UV.

www.yoquieroaprobar.es

Plantas solares en el norte de Chile

El efecto fotoeléctrico, que ya hemos estudiado en esta unidad, abrió nuevos caminos para la investigación energética. Un ejemplo es su aplicación en la creación y perfeccionamiento de **celdas fotovoltaicas,** especialmente diseñadas para transformar la energía solar en energía eléctrica. Este tipo de celdas suele utilizarse en calculadoras y relojes, así como para uso doméstico en casas aisladas del tendido eléctrico, o bien en aparatos más sofisticados como satélites y naves espaciales, pero aún no se utilizan masivamente en las ciudades.

Celdas fotovoltaicas.

Nuestro país usa principalmente energía que proviene de los hidrocarburos, a pesar del efecto negativo que aquello tiene para la atmósfera. Entonces, si existen formas limpias de producir energía, ¿cuál es el motivo por el cual no se utilizan? Una de las posibles respuestas, es que al tratarse de una tecnología más compleja que el uso de combustibles fósiles, requiere de procesos de adaptación y de capacitación para poder entrar en funcionamiento. Y justamente es aquello lo que se pretende, con el proyecto de instalación de la primera **planta de energía fotovoltaica** de nuestro país en la localidad de San Pedro de Atacama. Esta planta tendrá una extensión de 1 a 2 hectáreas y debería estar en funcionamiento al finalizar el año 2010, produciendo entre 500 kW y 1 MW de potencia.

Durante el año 2009, también se anunció un llamado a concurso internacional para construir en Chile la primera **planta de concentración solar** de 10 MW de potencia y con una superficie de 20 hectáreas. Este tipo de planta solar, que sería única en Latinoamérica, usa una tecnología diferente: cientos de espejos concentran la energía solar sobre una superficie que transmite la energía térmica a una caldera. Esta, al aumentar de temperatura, calienta un fluido produciendo vapor a alta presión, el que acciona el movimiento de las aspas de una turbina que unida a un generador produce energía eléctrica.

La construcción de ambas centrales en el norte de nuestro país incentiva el uso de energías renovables no convencionales (ERNC) y aprovecha de manera inteligente el gran recurso energético concentrado en el Sol. Ahora bien, para realizar este tipo de proyecto, no basta la intención, se requiere además de estudios profundos relacionados con el tema.

En ese sentido, la Comisión Nacional de Energía tiene a disposición un explorador de energía eólica y solar en la Red (http://condor.dgf.uchile.cl/ViewerV2/EnergiaRenovable/) que entrega registros de las condiciones del viento y la radiación solar en distintos puntos del territorio, recopilado por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile.

El impulso del Estado para la construcción de parques de energía alternativa es un paso importante, pero no suficiente, para mejorar la calidad de vida de los chilenos, pensando en un entorno libre de contaminación. Piensa: ¿cómo sería la ciudad en que habitas si cada casa tuviera energía limpia?, ¿qué aspectos serían distintos?

Fuente: www.cne.cl

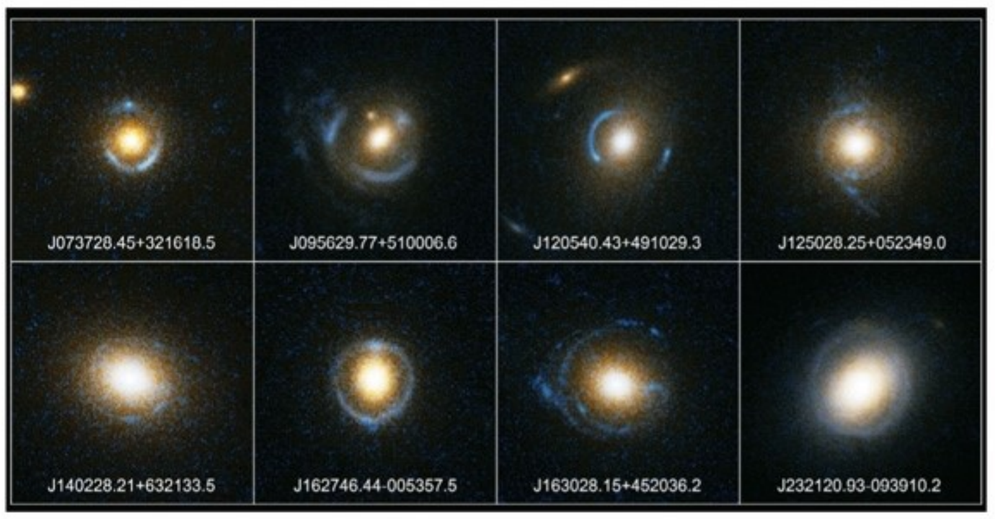
Lentes gravitacionales

Cuando la luz pasa por una lente, como las estudiadas en esta unidad, experimenta refracción, efecto que se utiliza en instrumentos ópticos como la lupa, el microscopio o el telescopio, para amplificar la imagen de ciertos objetos. Sin embargo, existen unos tipos de lentes naturales, llamadas **lentes gravitacionales,** que se usan en astronomía para obtener información de objetos muy lejanos e imposibles de ver, como agujeros negros o materia oscura. Las lentes gravitacionales funcionan aprovechando la desviación de la luz de estrellas lejanas al pasar cerca de cuerpos masivos que se quieren estudiar.

La primera vez que se pensó en la existencia de estas lentes fue gracias a la teoría de la relatividad general de Albert Einstein, en la que predijo que la masa de un cuerpo produce una deformación en el espacio que lo rodea, debido a su campo gravitatorio. Esto tendría una consecuencia observable si se trata de grandes acumulaciones de materia, como las estrellas o las galaxias. La luz de las estrellas se desvía al pasar por las cercanías de cuerpos espaciales, de una manera similar a como cambia la trayectoria de la luz al pasar por una lente, en este caso, los cuerpos masivos actuarían como una lente. Aprovechando este efecto y usando telescopios de gran potencia, los astrónomos en la Tierra observan que el objeto luminoso distante forma un anillo alrededor del objeto-lente, a esta formación se le denomina "anillo de Einstein".

Los astrónomos calculan que el 90% de la galaxia corresponde a materia oscura, es decir, materia de la cual no podemos recibir información mediante su luz. En este tipo de materia se encuentran objetos interesantes para estudiar, como agujeros negros y estrellas de neutrones, entre otros. Al observar cómo la luz de estrellas lejanas se desvía al pasar cerca de estos objetos invisibles, se puede realizar una estimación de la masa del cuerpo usando el efecto de las lentes gravitacionales.

Otra utilidad que tienen las lentes gravitacionales es observar objetos muy lejanos, como los quásares, gracias a la amplificación de la luz producida por galaxias relativamente cercanas a la Tierra. Estas lentes constituyen un fenómeno en que interactúan la gravitación y la luz (el espectro electromagnético); su utilización en astronomía promete obtener información del Universo que hasta ahora permanecía desconocida.



Anillos de Einstein

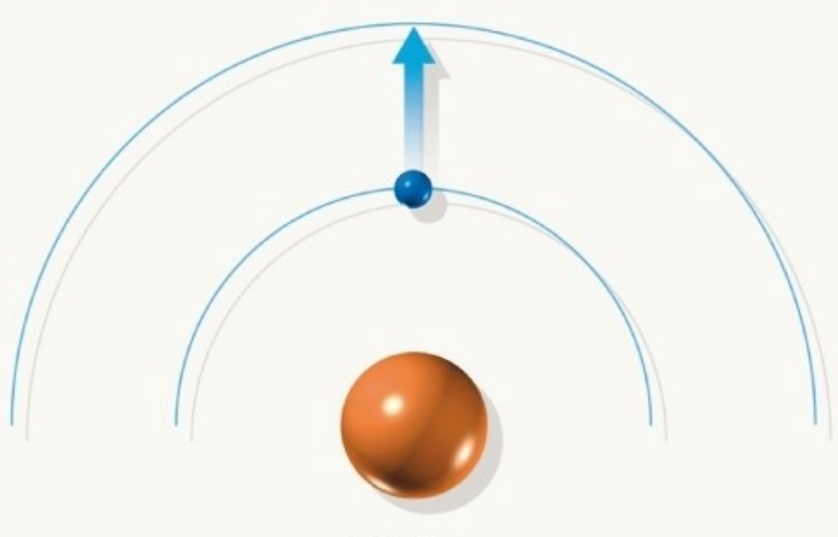
Fuente: www.nasa.gov

Comprendo lo que leo

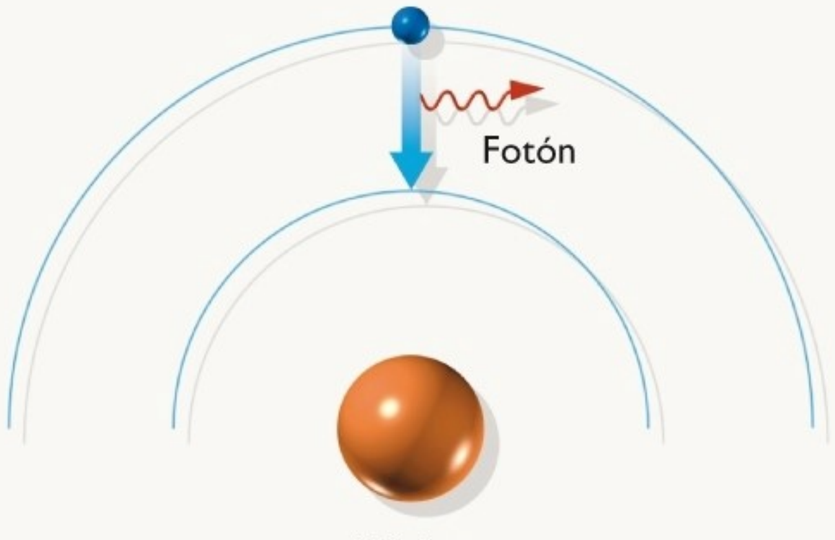
1. ¿Por qué pueden compararse las lentes gravitacionales con las lentes que se utilizan en óptica?
2. ¿Qué fue lo que postuló Einstein acerca de la naturaleza de las lentes gravitacionales?
3. Menciona la utilidad que tienen estas lentes en astronomía.
4. ¿Qué importancia podría tener en el futuro esta técnica para el estudio del Universo?

Síntesis

- La **luz** es energía generada al interior de los átomos a partir del fenómeno de **emisión cuántica.** (Pág. 58)



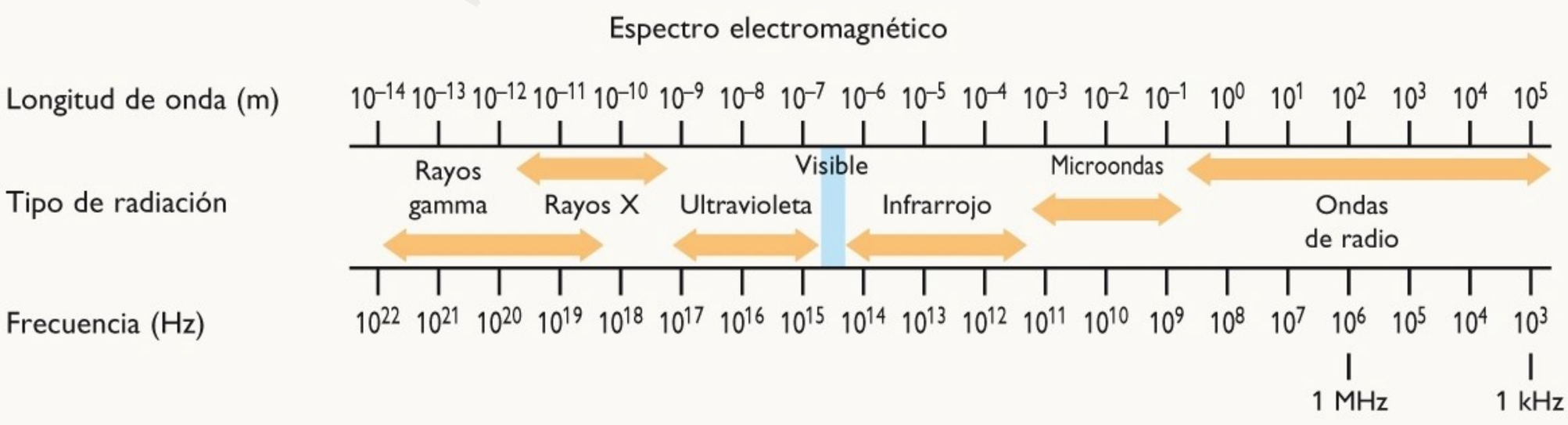
Cuando un electrón accede a una órbita con mayor nivel de energía, se dice que el electrón o el átomo está **excitado.** Para realizar esta transición necesita absorber energía.



Los electrones excitados son inestables y después de un tiempo, vuelven a su nivel de energía original (se desexcitan), cediendo la misma cantidad de energía que absorbieron. La energía se libera como "paquetes" llamados **fotones.**

- Actualmente se acepta la **dualidad onda-partícula** de la luz. Los fenómenos relacionados con la propagación de la luz son explicados a través de la teoría ondulatoria, mientras que aquellos relacionados con la interacción de la luz con la materia están basados en la teoría corpuscular. (Pág. 62)

- Los distintos tipos de ondas electromagnéticas se distribuyen según su longitud de onda y su frecuencia en el **espectro electromagnético.** La luz visible es una forma de radiación electromagnética que comprende una pequeña porción de este espectro. (Págs. 63 a 65)



- El **efecto fotoeléctrico** y el **efecto Compton** son fenómenos que demuestran que la luz también se comporta como partícula. (Págs. 66 y 67)

www.yoquieroaprobar.es

- **Espejos**

Son superficies pulidas donde la luz se refleja formando imágenes. (Págs. 70 a 75)

Espejos planos

Forman una imagen **virtual, volteada** en el sentido izquierda-derecha, de **igual tamaño** que el objeto.

Espejos esféricos

Espejos cóncavos

Pueden formar **cinco tipos de imágenes,** según donde se ubique el objeto.

Imagen formada cuando el objeto se ubica entre el espejo y foco.

Espejos convexos

Siempre forman un solo tipo de imagen: **virtual, pequeña** y **derecha.**

- **Lentes**

Son cuerpos transparentes limitados al menos por una superficie curva donde la luz se refracta. (Págs. 81 a 84)

Lentes divergentes

La imagen siempre es **virtual, pequeña** y **derecha** con respecto al objeto.

Lentes convergentes

Forman **distintos tipos de imágenes** dependiendo de la ubicación del objeto con respecto al primer punto focal (F1).

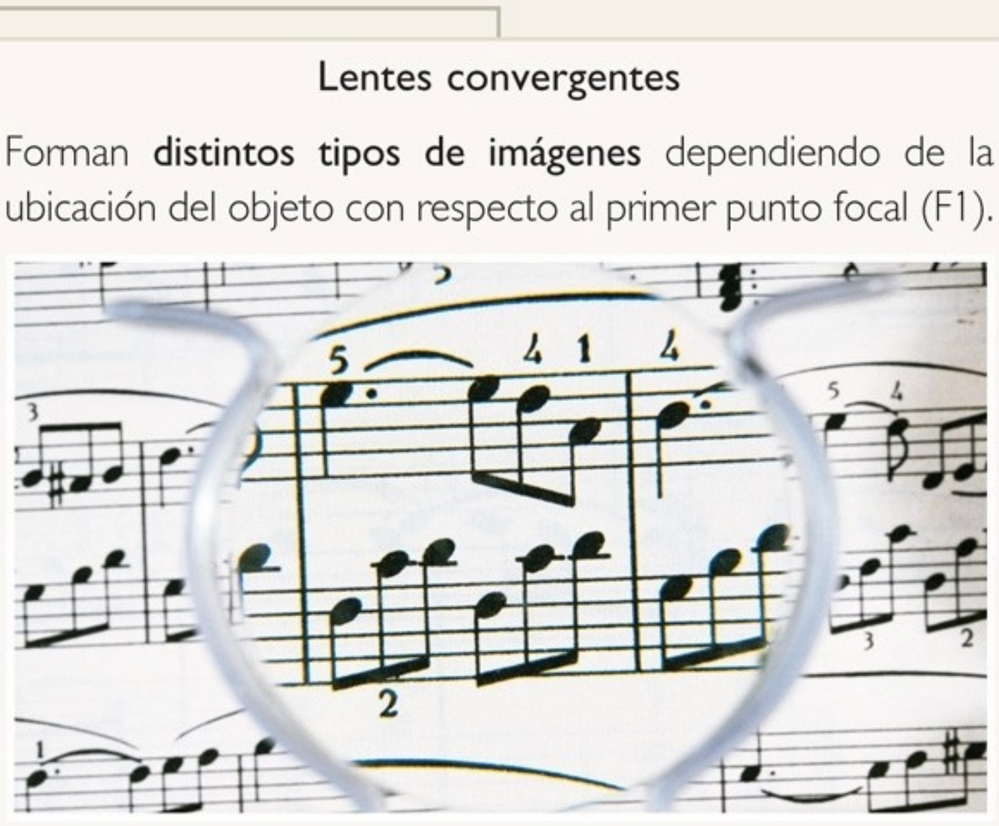


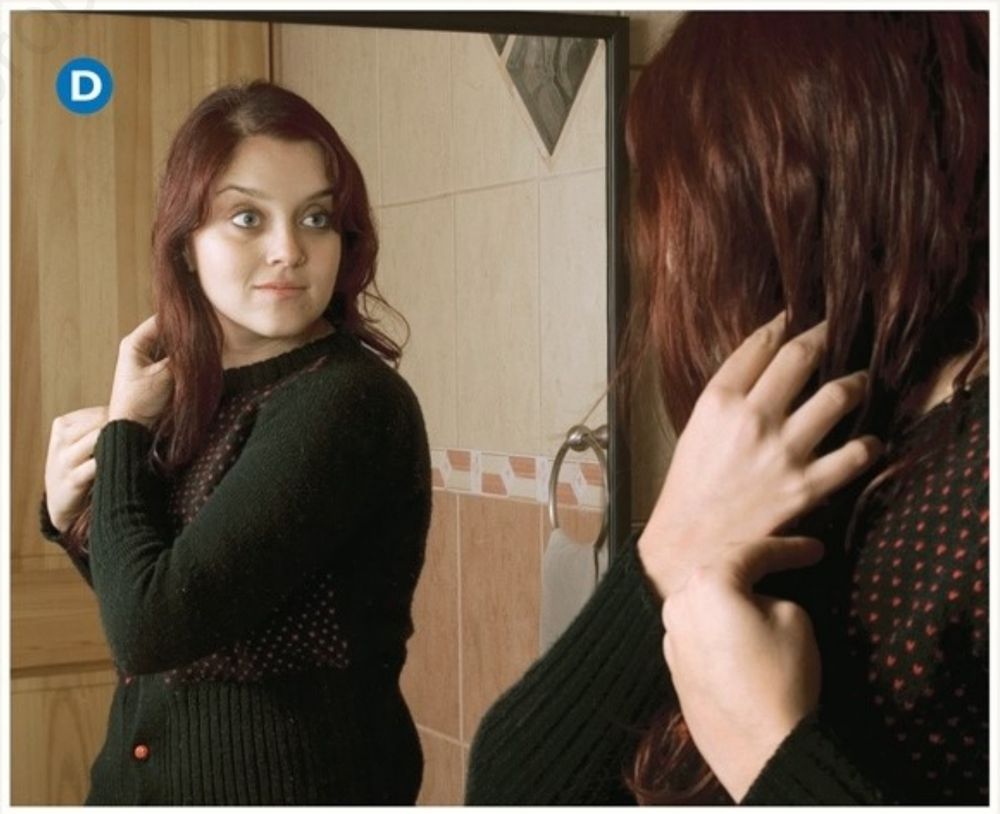
Imagen formada por una lupa.

- Algunos instrumentos que basan su funcionamiento en la reflexión en espejos y la refracción en lentes son: el microscopio, los telescopios, las antenas parabólicas y los hornos solares. (Págs. 86 a 89)

www.yoquieroaprobar.es

Evaluación final

1 Observa las siguientes imágenes y luego responde:



www.yoquieroaprobar.es

a. En cada caso, indica qué tipo de espejo las forman.
b. Indica las características de cada imagen: si es real o virtual, derecha o invertida, aumentada o pequeña.

2 **Al mirarse al espejo una persona ve su cara más grande. ¿Qué puede afirmarse al respecto?**

a. Se trata de un espejo plano.
b. Se trata de un espejo convexo.
c. Puede ser un espejo cóncavo.
d. Puede ser un espejo cóncavo o convexo, dependiendo de la distancia a la que se ubique la persona.
e. Falta más información.

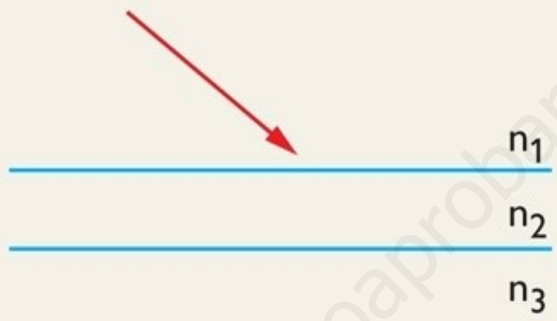
3 Calcula:

a. La distancia a la que se encuentra una botella frente a un espejo convexo (distancia focal = 20 cm), para que la imagen tenga la mitad de la altura de la botella.
b. La distancia focal de un espejo cóncavo que forma una imagen virtual y aumentada el doble de su tamaño de un anillo de 2 cm de diámetro ubicado a 3 cm de distancia del espejo.

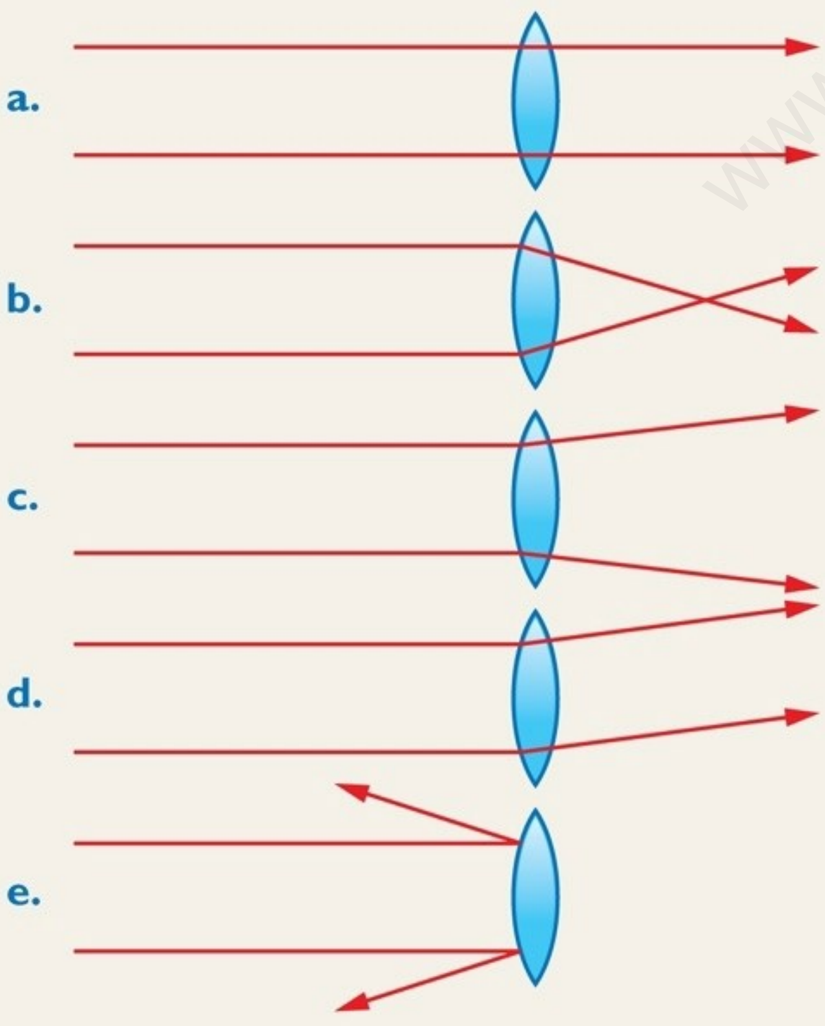
4 Si el índice de refracción del agua es $n_1 = 1{,}33$ y el del diamante es $n_2 = 2{,}4$:

a. Determina la velocidad de la luz en m/s en diferentes medios: en el agua y en el diamante.
b. ¿Qué significa que el índice de refracción de la luz en el diamante es 2,4?

5 Dibuja en tu cuaderno la trayectoria de un rayo de luz atravesando tres medios transparentes con diferentes índices de refracción. Supón que $n_1 > n_2 < n_3$.



6 ¿Cuál de los diagramas muestra mejor lo que ocurre cuando la luz pasa a través de una lupa? Fundamenta.



Fuente: TIMMS 1999

www.yoquieroaprobar.es

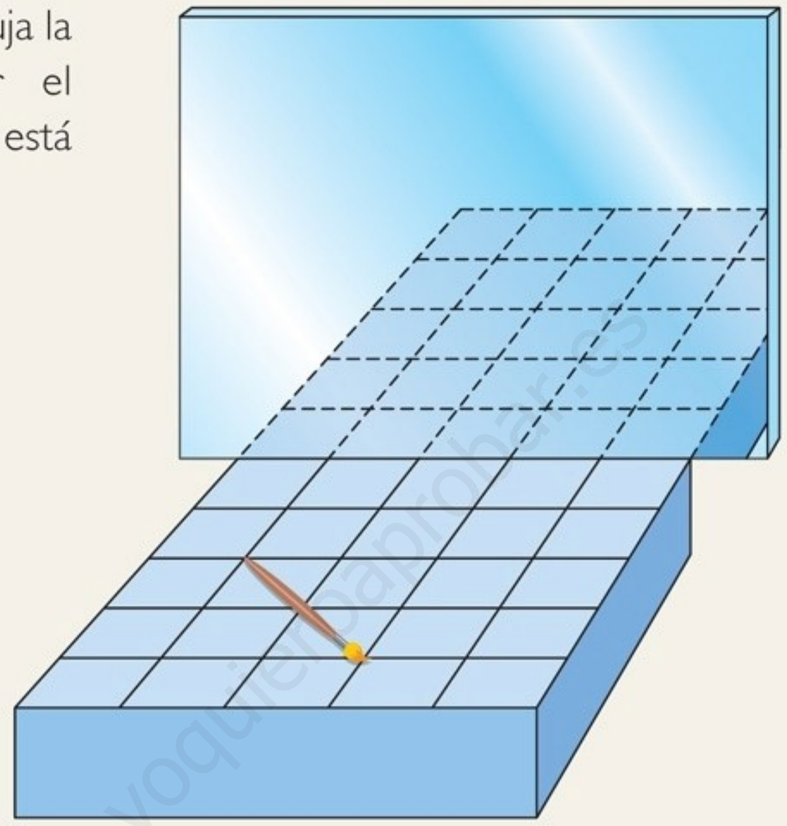
7 Calcula.

a. La posición y el tamaño de la imagen formada por una lente convergente de distancia focal 30 cm. Supón que el objeto es una moneda de 5 cm de diámetro situado en las siguientes posiciones: a 40 cm de la lente, a 30 cm de la lente y a 20 cm de la lente.

b. La longitud focal de una lente divergente si el objeto se ubica a 60 cm en el lado izquierdo de la lente y la imagen está también en el lado izquierdo a 40 cm.

8 **En la figura se muestra un pincel frente a un espejo plano.**

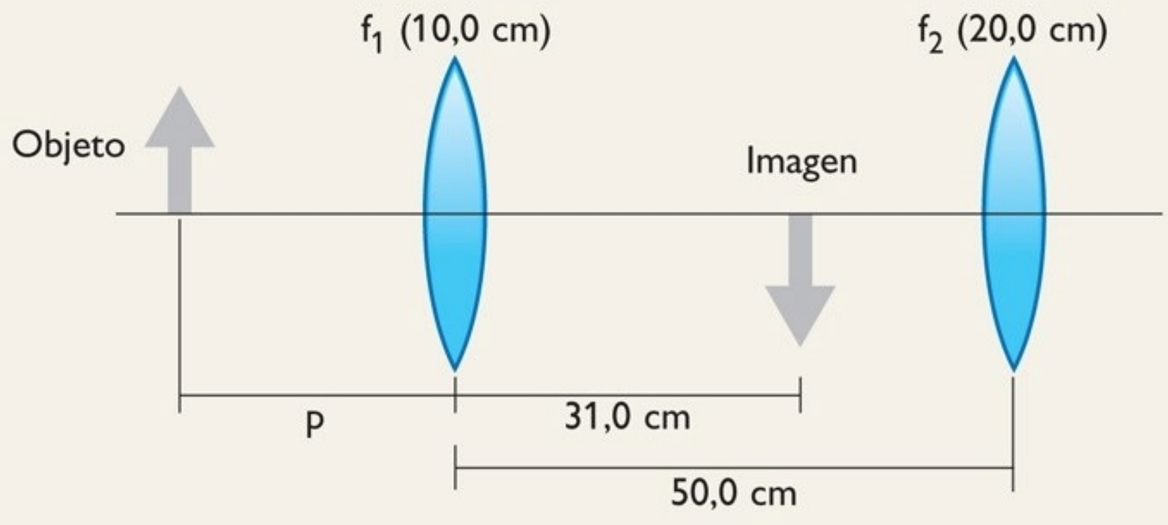
a. Copia la figura en tu cuaderno y dibuja la imagen del pincel. Guíate por el cuadriculado de la superficie donde está posado el pincel.



Fuente: TIMMS 2003. (Adaptación)

b. Construye el diagrama de rayos correspondiente.

9 **Observa el esquema y luego responde:**



a. ¿Qué tipo de lentes se muestran en el diagrama?

b. Dibuja el diagrama de rayos para esta situación.

c. ¿A qué distancia de la primera lente se debe ubicar el objeto para obtener esa imagen?

d. ¿Cuáles son las características de la imagen formada?

Fuente: Serway, R. *Física.* México: Pearson Educación, 5ª edición, 2001. (Adaptación)

www.yoquieroaprobar.es

Reviso

- Revisa el **Solucionario** y luego escribe tu puntaje en el cuadro.

DESCRIPTOR	PREGUNTA	PUNTAJE	¿QUÉ DEBES HACER?
Analizar las propiedades del fenómeno de reflexión de la luz en espejos.	1, 2 y 3		Si obtienes menos de 11 puntos, realiza la actividad 1. Si obtienes 11 puntos, realiza la actividad 2.
Resolver ejercicios sobre reflexión de la luz en espejos.			
Analizar las propiedades del fenómeno de refracción de la luz.	4 y 5		Si obtienes menos de 10 puntos, realiza la actividad 3. Si obtienes 10 puntos, realiza la actividad 4.
Resolver ejercicios sobre refracción de la luz en lentes.	6 y 7		
Interpretar esquemas donde aparecen fenómenos de reflexión y refracción de la luz.	8 y 9		Si obtienes menos de 6 puntos, realiza la actividad 5. Si obtienes 6 puntos, realiza la actividad 6.
Aplicar las leyes de reflexión y refracción.			

Actividades

ACTIVIDAD 1.
a. Describe la imagen formada por un espejo plano, uno cóncavo y uno convexo.
b. Un objeto ubicado a 8 cm de un espejo cóncavo forma una imagen virtual a 10 cm detrás del espejo. Si el objeto se aleja hasta 25 cm del espejo; ¿dónde estará la imagen?

ACTIVIDAD 2. Se tiene un espejo cóncavo de radio de curvatura 1,2 m. Calcula la distancia a la que hay que colocar un objeto para tener una imagen cuatro veces mayor pero invertida. Si el espejo es convexo, determina la distancia del objeto para obtener una imagen reducida a la mitad.

ACTIVIDAD 3.
a. Define el índice de refracción de un medio y enuncia las leyes de la refracción.
b. Un rayo de luz láser pasa del aire hasta el agua: dibuja la dirección del rayo de luz.
c. Elabora una ficha resumen para lentes convergentes y divergentes y las imágenes que forman. Elabora también una ficha resumen para la convención de signos.

ACTIVIDAD 4. Observa la situación 3 de la página de inicio de la unidad y a partir de lo que has aprendido explica el fenómeno óptico que observas.

ACTIVIDAD 5. Dibuja el diagrama de rayos para la construcción de imágenes en espejos (planos y esféricos) y lentes (convergentes y divergentes).

ACTIVIDAD 6. El objetivo (lente convergente) de una cámara fotográfica tiene una distancia focal de +50 mm. Se toma una foto de un niño de pie de 1,2 m de altura, a 3 m de distancia. Calcula la distancia entre la lente y la película para que se forme sobre esta una imagen nítida.

www.yoquieroaprobar.es

Preparando la PSU

En esta sección, te invitamos a resolver preguntas similares a las expuestas en la PSU, cuyas clave están en el **Solucionario.** Para comenzar, revisa el análisis de una de ellas.

Analizando una pregunta

1 Se puede afirmar que las ondas electromagnéticas:

A. no se propagan en medios materiales.
B. pueden ser longitudinales y transversales.
C. son siempre transversales.
D. son esencialmente longitudinales.
E. no siempre son transversales.

Corrección:
Para responder la pregunta primero, se leen las alternativas propuestas y se van descartando hasta dar con la afirmación correcta. La alternativa A establece que las ondas electromagnéticas no se propagan en medios materiales; sin embargo, sabemos que la luz es capaz de propagarse por el aire, el agua, el vidrio y muchos otros materiales, por lo cual esta afirmación es falsa. Sabemos que las ondas electromagnéticas son oscilaciones perpendiculares de los campos magnético y eléctrico, con respecto al desplazamiento y que, por lo tanto, se trata de ondas que son siempre transversales. De acuerdo con esto, las alternativas B, D y E son incorrectas y la C es la alternativa correcta.

2 ¿Qué fenómeno físico consiste en la emisión de electrones de un metal, producto de su interacción con un fotón de luz?

A. Efecto Compton.
B. Difracción de la luz.
C. Efecto fotoeléctrico.
D. Interferencia.
E. Espectro de emisión.

3 Si la Luna está a una distancia promedio de la Tierra de 340.400 km, ¿cuánto se demora la luz, reflejada en ella, en llegar hasta nosotros? Considera que la velocidad de la luz en el vacío es de 300.000 km/s.

A. 3,00 s
B. 1,13 s
C. 3,40 s
D. 300 s
E. 2,26 s

4 Al observar el espectro electromagnético se puede concluir que:

I. a medida que aumenta la frecuencia de la onda, aumenta su energía.
II. a menor longitud de onda, aumenta su frecuencia.
III. a medida que disminuye la energía de la onda, aumenta su longitud de onda.

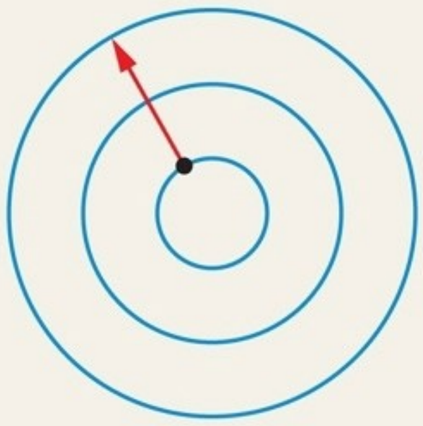
A. Solo I
B. Solo II
C. I y II
D. II y III
E. I, II y III

5 Si la longitud de onda del color rojo es de $6{,}9 \times 10^{-7}$ m, ¿cuál es su frecuencia cuando se propaga en el vacío?

A. $3{,}0 \times 10^{8}$ Hz
B. $6{,}9 \times 10^{-7}$ Hz
C. $4{,}3 \times 10^{14}$ Hz
D. $8{,}6 \times 10^{14}$ Hz
E. $6{,}9 \times 10^{14}$ Hz

www.yoquieroaprobar.cl

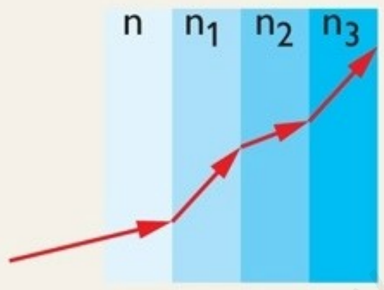
6 En el siguiente dibujo se representa el salto de un electrón, al interior de un átomo, de una órbita a otra. ¿Qué fenómeno se produce?



A. Absorción de un fotón.
B. Emisión de un electrón.
C. Emisión de un fotón.
D. Absorción de un electrón.
E. Emisión de energía.

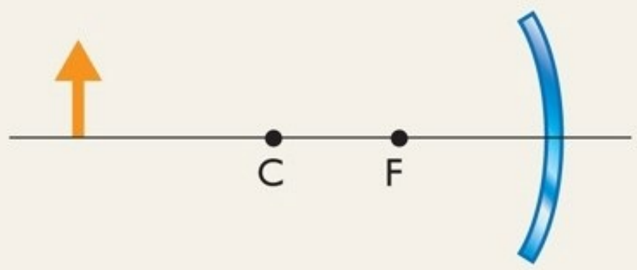
7 En el esquema se representan varias capas líquidas de distinto índice de refracción. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta?

I. $n_2 > n_1$
II. $n_2 = n_3$
III. $n_1 < n$



A. Solo I
B. Solo II
C. I y II
D. I y III
E. I, II y III

Observa la siguiente imagen de un objeto frente a un espejo cóncavo, y responde las preguntas 8 y 9.



8 ¿Qué tipo de imagen se formará?

A. Real y más grande.
B. Real y más pequeña.
C. Invertida y más grande.
D. Virtual y más pequeña.
E. Derecha y virtual.

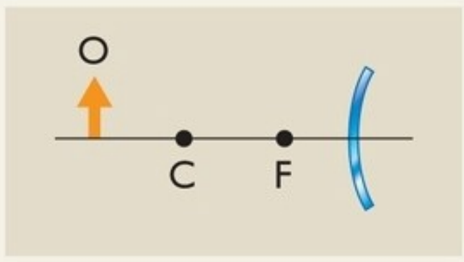
9 Si el objeto se sitúa entre el centro de curvatura (C) y el foco del espejo (F), ¿qué tipo de imagen se obtendría?

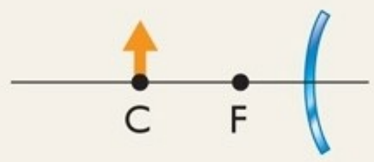
A. Invertida y más pequeña.
B. Invertida y virtual.
C. Derecha y real.
D. Invertida y real.
E. Derecha y más grande.

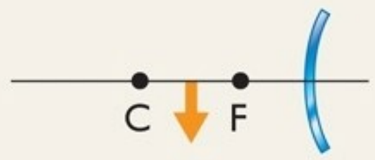
10 ¿Qué se debería utilizar para construir un telescopio refractor?

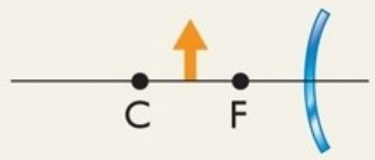
A. Un par de lentes biconvexas.
B. Un espejo convexo y una lente divergente.
C. Un par de espejos cóncavos.
D. Un espejo cóncavo y una lente biconvexa.
E. Un par de lentes bicóncavas.

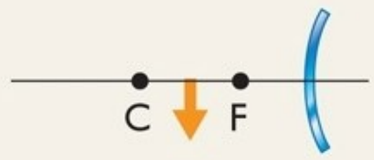
11 En el siguiente esquema se representa a un objeto frente a un espejo convexo. Determina cuál de las alternativas corresponde a la imagen obtenida.

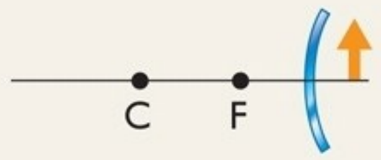


A.


B.


C.


D.


E.


www.yoquieroaprobar.es

Unidad 2 La luz

Evaluación diagnóstica (páginas 54 y 55)

1. 4 puntos en total.

   a. Refracción. (1 punto)
   b. Reflexión. (1 punto)
   c. Refracción. (1 punto)
   d. Reflexión, propagación. (1 punto)

2. 6 puntos en total.

Ondas mecánicas	Criterio de comparación	Ondas electromagnéticas
Variable e inferior a la velocidad de la luz. (1 punto)	Velocidad de propagación.	Constante igual a 3×10^8 m/s. (1 punto)
Medio material. (1 punto)	Medio de propagación.	Puede propagarse en el vacío. (1 punto)
Transversal o longitudinal respecto a la velocidad de propagación. (1 punto)	Dirección de la vibración.	Transversal a la velocidad de propagación. (1 punto)

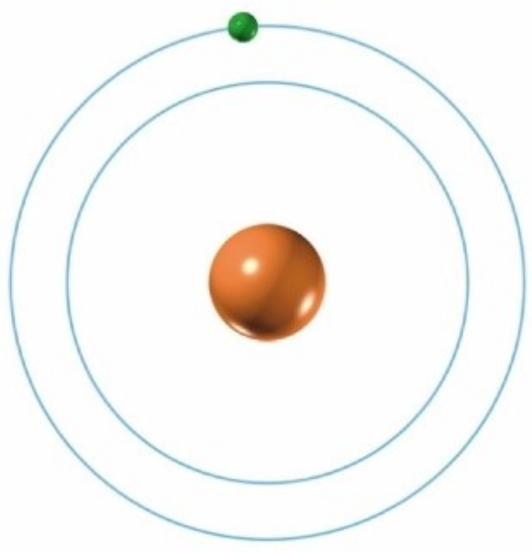
3. **a.** La velocidad; **b.** La longitud de onda; **e.** La amplitud. (1 punto)

4. 6 puntos en total.

   a. **Electrón:** partícula de masa pequeña y carga negativa, se mueve alrededor de la región central del átomo llamada núcleo.
   Protón: partícula de carga positiva que se encuentra en la región más densa del átomo, el núcleo atómico.
   Neutrón: partícula eléctricamente neutra que en conjunto con el protón constituye el núcleo atómico. (1 punto)

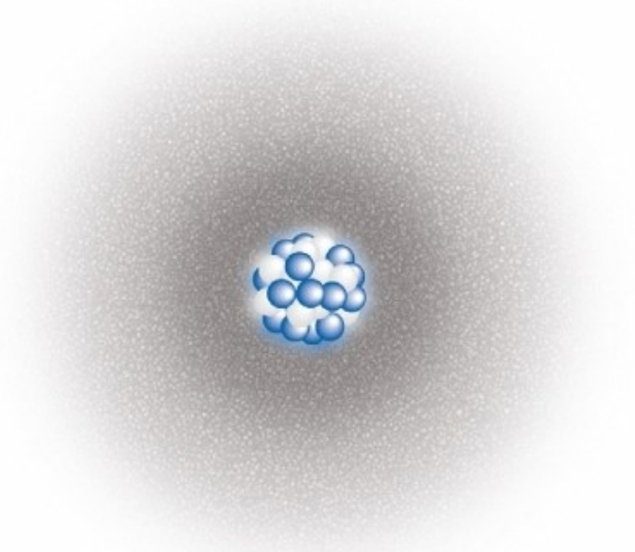
   b. 2 puntos en total.

Átomo de Bohr



(1 punto)

Átomo mecano-cuántico



(1 punto)

www.yoquieroaprobar.es

c. 3 puntos en total.

Elemento	Electrones	Protones	Neutrones	
Li	3	3	4	(1 punto)
C	6	6	6	(1 punto)
O	8	8	8	(1 punto)

5. 6 puntos en total.

a. La velocidad de propagación de la luz es finita. (1 punto)
b. Relación v = d/t. Al medir la distancia y el tiempo de viaje de la señal luminosa, se podría determinar la velocidad de la luz. (1 punto)
c. Para el experimento de Galileo, la medición del tiempo debe ser muy precisa. Como en su época no existía la tecnología para medirlo con exactitud, no pudo determinar la velocidad de la luz y concluyó, por tanto, que esta era muy alta para poder calcularla. (1 punto)
d. La precisión en cronometrar el tiempo y medir la distancia de viaje de la señal luminosa es fundamental para el experimento. Hoy, existen estas tecnologías; en la época de Galileo, no. (1 punto)
e. Si la señal luminosa realiza el viaje de ida y vuelta hasta el observador, el tiempo medido será:
$t = 2\ d/v = 1{,}06 \times 10^{-5}$ s (1 punto)
f. Los observadores deberían ubicarse a una distancia igual a: $d = (v \cdot t)/2 = 7{,}5 \times 10^{8}$ m. (1 punto)

Evaluación de proceso (páginas 76 y 77)

1. 2 puntos en total.

a. Al emitir un fotón, el electrón se acerca al núcleo y libera energía. (1 punto)
b. Falso, la longitud de onda es inversamente proporcional a la energía del fotón. (1 punto)

2. 9 puntos en total.

Tipo de radiación	Rango de:			
	longitud de onda (m)	frecuencia (–Hz)	energía (J)	
Ondas de Radio	$3{,}0 \times 10^{-1} - 1 \times 10^{3}$	$1 - 1 \times 10^{9}$	$10^{-33} - 10^{-24}$	(1 punto)
Microondas	$1 \times 10^{-3} - 3{,}0 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{9} - 3 \times 10^{11}$	$10^{-24} - 10^{-22}$	(1 punto)
Espectro IR	$7{,}8 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{11} - 4 \times 10^{14}$	$10^{-22} - 10^{-19}$	(1 punto)
Visible	$7{,}8 \times 10^{-7} - 3{,}8 \times 10^{-7}$	$4 \times 10^{14} - 8 \times 10^{14}$	$2{,}7 \times 10^{-19} - 5{,}3 \times 10^{-19}$	(1 punto)
UV	$6 \times 10^{-10} - 3{,}8 \times 10^{-7}$	$8 \times 10^{14} - 3{,}0 \times 10^{17}$	$5{,}3 \times 10^{-19} - 2 \times 10^{-16}$	(1 punto)
Rayos X	$6 \times 10^{-12} - 1 \times 10^{-9}$	$3{,}0 \times 10^{17} - 5{,}0 \times 10^{19}$	$2 \times 10^{-16} - 3{,}3 \times 10^{-14}$	(1 punto)
Rayos gamma	$1 \times 10^{-14} - 1 \times 10^{-10}$	$3 \times 10^{18} - 3 \times 10^{22}$	2×10^{-15} - 2×10^{-11}	(1 punto)

a. La energía y la frecuencia están en proporción directa; la longitud de onda y la frecuencia en proporción inversa; la energía y a la longitud de onda en proporción inversa. (1 punto)
b. Desde UV hasta rayos gamma. Sobre UV, todas son muy dañinas para el ser humano. (1 punto)

www.yoquieroaprobar.es

3. 4 puntos en total.
Teoría ondulatoria: **b.** refracción y **d.** reflexión. (2 puntos)
Teoría corpuscular: **a.** difracción y **c.** efecto fotoeléctrico. (2 puntos)

4. 2 puntos en total.
La imagen se ubica en B. Es una imagen virtual y volteada de izquierda a derecha respecto al objeto, sin magnificación.

5. 2 puntos en total.

a. p = 5 cm. (1 punto)
b. La imagen del cliente es virtual y pequeña, con una disminución de tamaño, M = –0,026. (1 punto)

Evaluación final (páginas 98 a 101)

1. 8 puntos en total.
a. A. Espejo convexo. (1 punto) C. Espejo convexo. (1 punto)
B. Espejo cóncavo. (1 punto) D. Espejo plano. (1 punto)
b. A. Imagen virtual, pequeña y derecha. (1 punto) C. Imagen deformada, derecha y virtual. (1 punto)
B. Imagen deformada, invertida y real. (1 punto) D. Imagen virtual y de igual tamaño. (1 punto)

2. La alternativa correcta es la **c.** Puede ser un espejo cóncavo. (1 punto)

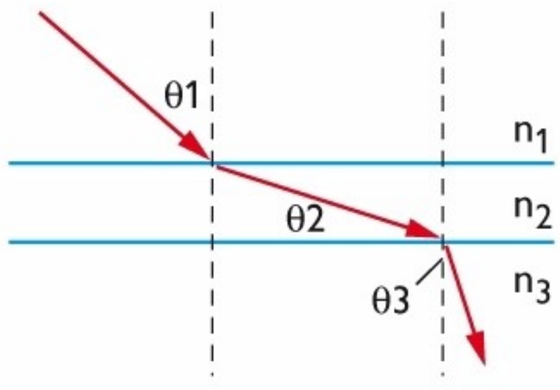
3. 2 puntos en total.

a. p = –10 cm. (1 punto) **b.** f = 6 cm. (1 punto)

4. 3 puntos en total.

a. Considerando la velocidad de la luz en el vacío, $c = 3 \times 10^8$ m/s, se tiene: v (agua) = $2{,}26 \times 10^8$ m/s; v (diamante) = $1{,}25 \times 10^8$ m/s. (2 puntos)
b. Que la velocidad de la luz en el vacío es aproximadamente 2,4 veces la velocidad de propagación de la luz en el diamante. (1 punto)

5. 2 puntos en total.



$\theta 1 < \theta 2$ (1 punto)
$\theta 2 > \theta 3$ (1 punto)

6. La alternativa correcta es la **b.** El esquema es el único que representa la trayectoria de los rayos de luz al pasar por una lente convergente. (1 punto)

www.yoquieroaprobar.es

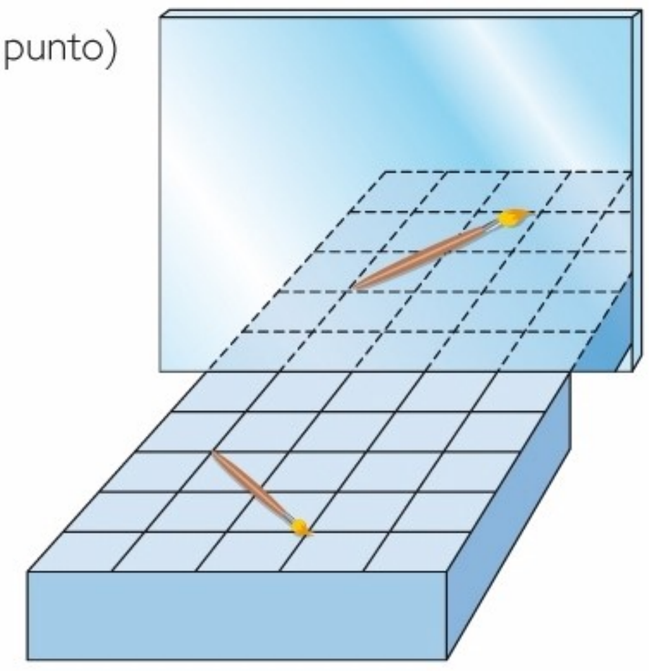
7. 4 puntos en total.

a. A 40 cm de la lente: p = 40 cm; q = 120 cm; h = –15 cm. (1 punto)
A 30 cm de la lente: p = 30 cm; q = 30 cm; h = 5 cm. (1 punto)
A 20 cm de la lente: p = 20 cm; q = –60 cm; h = 15 cm. (1 punto)

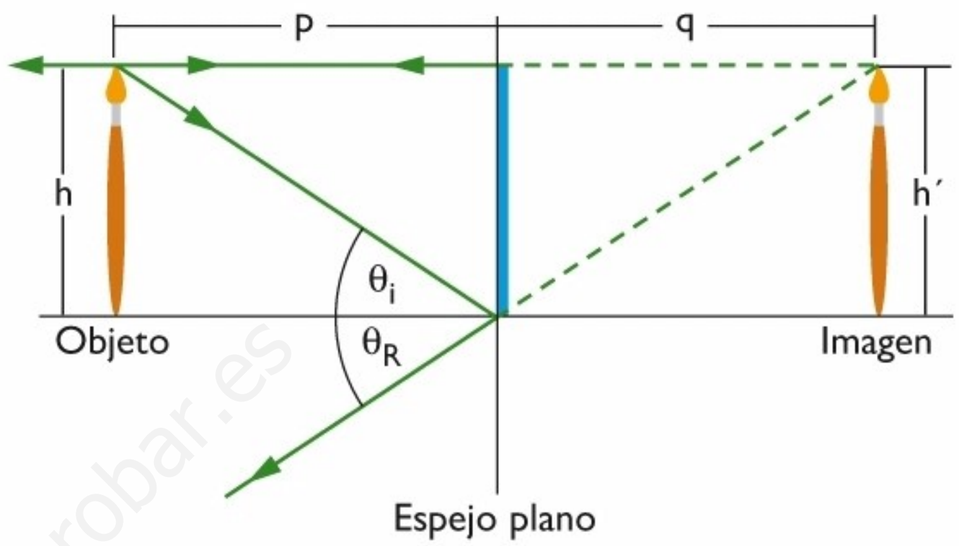
b. f = –120 cm (1 punto)

8. 2 puntos en total.

a. (1 punto)



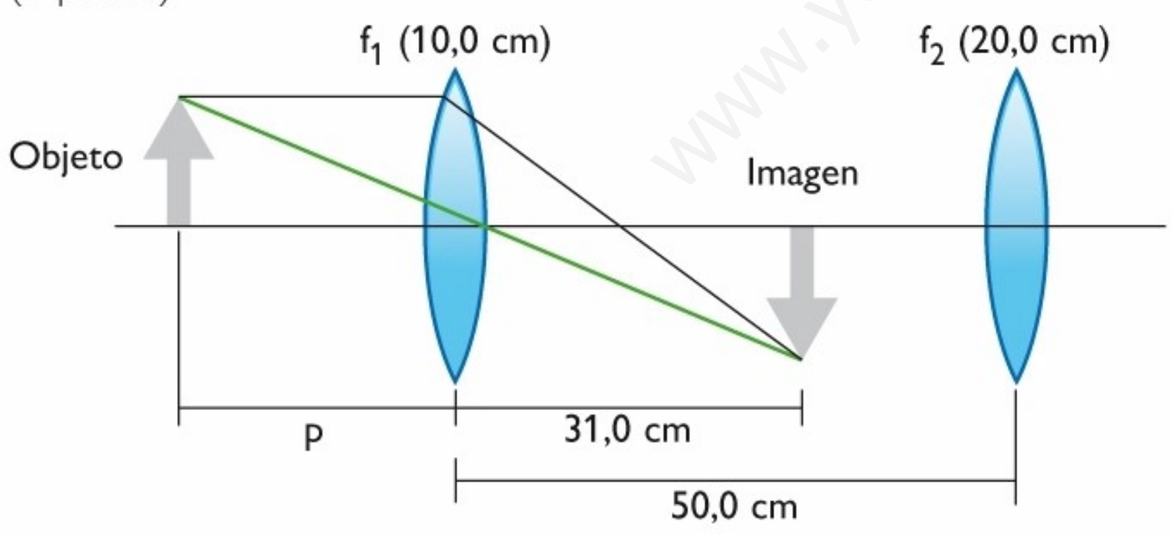
b. (1 punto)



9. 4 puntos en total.

a. Lentes convergentes. (1 punto)

b. (1 punto)



c. p = 14,8 cm. (1 punto)

d. Aumentada, invertida y real. (1 punto)

Preparando la PSU (páginas 102 y 103)

1. C	**3.** B	**5.** C	**7.** D	**9.** D	**11.** E
2. C	**4.** E	**6.** A	**8.** B	**10.** A	

www.yoquieroaprobar.es