

Unidad

# 2

## La luz



Quizás el sentido más importante para los seres humanos es el de la vista, mediante su uso distinguimos la forma y el color de los objetos, podemos estimar la distancia a la que se encuentran o si están en movimiento. Todo lo anterior de vital importancia para la sobrevivencia. Pero, además, nos permite apreciar la belleza de la naturaleza y de las obras de arte, con lo cual nos abre las puertas al goce estético visual. El estudio de la naturaleza de la luz, su comportamiento y su interacción con los objetos se remonta a miles de años. En Física se denomina óptica al estudio de la luz. En esta unidad, resumiremos parte importante del conocimiento de la ciencia sobre la luz, y algunas de sus aplicaciones más importantes.



- Reconocer que la luz puede ser entendida a través de un modelo ondulatorio y que, por lo tanto, tiene todos los comportamientos asociados a las ondas, como propagación, reflexión, refracción y difracción, entre otras.
- Asociar fenómenos luminosos de la experiencia cercana, como el arco iris o las imágenes que forma un espejo.
- Analizar comparativamente la reflexión en espejos planos y espejos curvos.
- Analizar comparativamente la refracción en lentes convergentes y lentes divergentes.
- Asociar los avances de la óptica con su aplicación en telescopios, microscopios, calefactores y otros artefactos importantes.
- Identificar problemas, hipótesis y procedimientos experimentales.
- Interpretar datos empíricos con la finalidad de probar o desechar hipótesis.



### ACTIVIDAD INICIAL

En estas páginas se presentan una serie de fotografías. Reúnete con una compañera o compañero y trabajen en las siguientes actividades:

1. Observa cada una de las imágenes y elabora una lista de los elementos comunes que encuentras entre ellas, desde el punto de vista de la luz.
2. Identifica en cada fotografía, los elementos que generan luz y elementos en los cuales la luz proviene de otra fuente.
3. ¿De dónde proviene la luz en cada uno de los casos?
4. ¿En qué fotografías se reconocen algunas propiedades de las ondas que se pueden aplicar a la luz?
5. Respecto a ambas fotografías, la luz de cuál de las fuentes debe recorrer una mayor distancia para llegar a un observador.

1. Explica qué entiendes por: electrones, protones y neutrones, y cuáles son sus características principales.
2. Una persona hace figuras con sombras que producen sus manos en una pantalla, para aquello es necesario que:

A

La pantalla esté entre la fuente de luz y las manos.

B

La fuente de luz esté entre las manos y la pantalla.

C

Las manos estén entre la pantalla y la fuente de luz.

D

Exista una fuente de luz en la pantalla.

3. ¿Qué crees que  con la luz al pasar por el vidrio de una lupa?

4. Una persona se protege del sol con una sombrilla, ello es posible porque la luz se podría comparar con:

A

Una lluvia de pequeñas pelotitas que provienen del sol.

B

Una emisión de partículas oscuras que salen de la sombrilla.

C

Rayos que provienen del sol y que viajan en línea recta.

D

Una sustancia que está presente en todo el aire y que es absorbida por la sombrilla.

¿Cuál o cuáles de las alternativas piensas que da una mejor respuesta?

5. Menciona las características que conoces de las ondas.
6. ¿Dónde crees que se origina la luz?

7. Si colocas un lápiz en un vaso de agua, este parece quebrarse en el límite del agua con el aire. ¿Tendrá este fenómeno algo que ver con lo que ocurre en una lupa?
8. ¿De qué manera se podría relacionar la forma en que se propaga una onda, con la forma en que lo hace una partícula? Piensa en ambos casos y elabora una hipótesis.



9. Un grupo de alumnos observa que al reflejar las letras de un diario en un espejo plano, estas aparecen al revés. Ellos proponen las siguientes ideas para explicar el fenómeno:
- el espejo siempre refleja las cosas al revés.
  - el espejo las refleja derechas, pero el ojo invierte la imagen.
  - la imagen se ve invertida, porque la luz son rayos que se cruzan.

Busca argumentos a favor y en contra de cada idea.

¿Cuál de las suposiciones podrían tener la categoría de hipótesis?

10. ¿Qué diferencias y semejanzas crees que existen entre un telescopio y un microscopio?

#### LO QUE ME GUSTARÍA SABER \_\_\_\_\_

- Elabora un listado de preguntas relacionadas con el comportamiento de la luz y su naturaleza, piensa en interrogantes que quisieras poder explicar una vez finalizada esta unidad.
- Identifica problemas cotidianos que te afecten a ti o a tu entorno y que se relacionen con la luz. ¿Cómo crees que influye, por ejemplo, la cantidad de luz cuando estudias?

## INDAGACIÓN: NATURALEZA DE LA LUZ

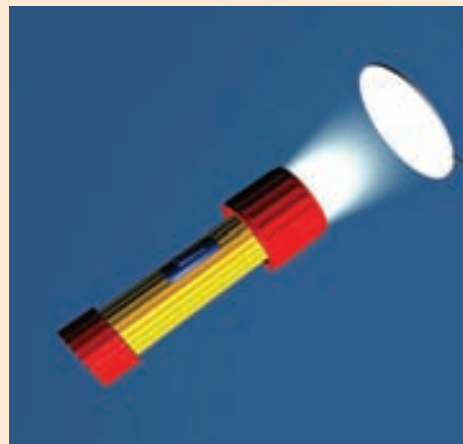
## ¿Por qué la sombra de un objeto conserva la misma forma de este?

Formen grupos de tres o cuatro compañeros o compañeras y discutan en torno a la pregunta de investigación. Elaboren una lista con ideas y planteen una hipótesis acerca de la forma en que viaja la luz.

Para intentar responder la interrogante, deberán reunir primero los siguientes materiales: una linterna o una lámpara de pie, cartón negro, cartón blanco, tijeras y una huincha de medir. Deben realizar la experiencia en una sala que se pueda oscurecer, por ejemplo, cerrando las cortinas, de manera que la fuente de luz del experimento sea la principal. Luego, sigan los siguientes pasos.

### Procedimiento

1. Recorten distintas figuras de cartón blanco y negro; un círculo de 10 cm de diámetro, un cuadrado de similar tamaño y una figura irregular.
2. Ubiquen cada una de las figuras a un metro de distancia de un muro, e ilumínenla de manera que la luz incida perpendicularmente en la superficie. Observen las sombras.
3. Repitan la experiencia haciendo incidir la luz sobre el cartón blanco y el cartón negro.
4. Luego, alejen medio metro el círculo y vuelvan a realizar la experiencia. Midan el diámetro de la sombra que se forma en el muro.
5. Repitan el paso anterior, alejando cada vez medio metro la figura y llegando hasta los tres metros de distancia. Registren los valores obtenidos en una tabla.



Con relación a lo observado en la experiencia, respondan las siguientes preguntas:

- a. ¿Se conserva la forma de las figuras en las sombras que se proyectan en el muro?
- b. ¿Qué diferencia se observa en las superficies al iluminar las figuras por el lado blanco y por el lado negro?, ¿qué creen que ocurre con la luz en ambos casos?
- c. Al alejar las figuras del muro, ¿qué ocurre con el tamaño de las sombras?
- d. A partir de lo anterior, ¿se podría determinar de qué manera se propaga la luz por el espacio?
- e. ¿Verificaron la hipótesis inicial? Expliquen.

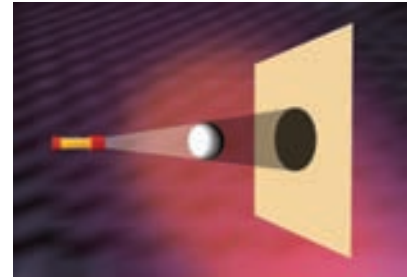
## 1. La luz y su naturaleza

### 1.1 La luz como partícula

Desde la antigüedad se han estudiado fenómenos relacionados con la luz. Pero, ¿de qué está constituida la luz? Un acercamiento desde la Física, para dar una respuesta, pasa por estudiar cómo es su comportamiento. En la “Indagación inicial” pudiste replicar algunas de las observaciones similares a las que ya se habían realizado a principios del siglo XVII. Estas observaciones pueden resumirse en:

- La luz se propaga en línea recta, esto se desprende porque la sombra de los objetos mantiene su forma, o se puede observar cotidianamente, por ejemplo, cuando se levanta polvo al barrer y entran rayos de luz solar a una habitación, donde se observará claramente la trayectoria rectilínea de la luz.
- Cuando se interpone un obstáculo en el recorrido de la luz, se produce sombra, es decir, ausencia de luz.
- Cuando la luz llega a las superficies, esta se refleja. Esto es algo que experimentamos cotidianamente; de lo contrario, no veríamos los objetos que nos rodean.

Estas tres evidencias fueron consideradas por el físico inglés **Isaac Newton** (1643-1727) para explicar el comportamiento de la luz, a través de un modelo conocido como **teoría corpuscular**. En ella planteaba que la luz estaba compuesta por pequeñísimas partículas. Esto podía explicar satisfactoriamente los puntos mencionados más arriba, aunque dejaba otras observaciones sin respuesta. Aun así, esta teoría fue mayoritariamente aceptada hasta el siglo XVIII, quizás debido al gran prestigio de este científico.



Que la sombra de los objetos conserve su forma fue una de las evidencias para afirmar que la luz se movía en línea recta.

#### Ten presente que:

- Cuando se habla en ciencia de un modelo científico, se refiere a la explicación de un cierto fenómeno a través del uso de analogías. Por ejemplo, la teoría corpuscular funciona de tal manera que si imaginamos la luz compuesta de pequeñas pelotitas se pueden explicar muchos fenómenos observados. Las teorías científicas se van perfeccionando a medida que explican nuevos fenómenos.

### ¿QUÉ SUCEDERÍA SI...?

La teoría de Newton acerca de la luz se basa en la existencia de pequeños corpúsculos. Piensa en el caso de una ampolleta que está encendida, si está emitiendo constantemente corpúsculos, ¿por qué no pierde masa hasta desaparecer?

## 1.2 La luz como una onda

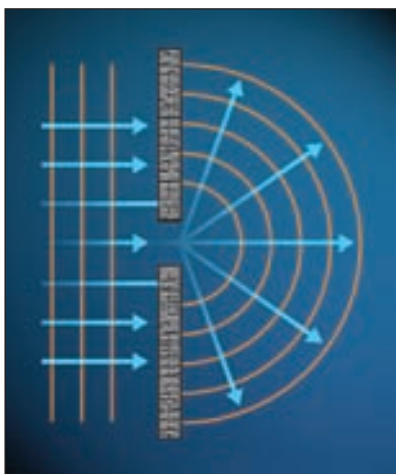
### Actividad 1

OBSERVAR-DESCRIBIR

#### ¿QUÉ OCURRE CON LA LUZ AL PASAR POR UNA ABERTURA?

Consigue una lámina de aluminio, como las que vienen en los tarros de café instantáneo y una pequeña aguja delgada.

1. Realiza una pequeña perforación en el centro de la lata, utilizando la aguja. Pon especial cuidado en que solamente la punta de ella atraviese la lámina.
2. Con una mano, cúbrete un ojo y con la otra sostén la lámina frente al otro ojo, con el brazo estirado.
3. Ubícate en una habitación que esté a oscuras y observa, a través del agujero, una ampolleta que esté en otra habitación, a una distancia de seis a ocho pasos.
4. Dibuja en tu cuaderno lo que observas cuando la luz penetra en el agujero de la lámina y compáralo con las fotografías y dibujos de difracción que están en la unidad de sonido.



Según Huygens, en la abertura, cada punto de la porción de la onda se convierte en foco emisor de ondas. En los extremos de la abertura, los focos emisores son responsables de que las ondas se abran y bordeen las esquinas.

En la unidad de sonido estudiamos el fenómeno llamado difracción, según el cual, una onda se curva al pasar por un agujero o al chocar con un obstáculo, siempre y cuando la **longitud de la onda** sea de un tamaño similar al tamaño del obstáculo. El físico holandés **Christian Huygens** (1629-1695) propuso, en el mismo tiempo de Newton, que la luz tenía un comportamiento ondulatorio, pues la propagación, reflexión y refracción son propiedades de las ondas; sin embargo, su idea fue desestimada hasta el año 1801, en que gracias al experimento del físico inglés **Thomas Young** (1773-1829) se pudo observar la difracción e interferencia, fenómenos propios de las ondas y que la teoría corpuscular no era capaz de explicar.

Una de las dificultades de observar la difracción es la pequeña longitud de onda de la luz. Por ejemplo, para una luz que el ojo humano distingue como roja, su longitud de onda es alrededor de los 700 nm, es decir  $\lambda = 7 \times 10^{-7} \text{m}$ , por lo cual hay pocas posibilidades de observar obstáculos de ese tamaño en la vida cotidiana. De acuerdo a esto, ¿qué respuesta se podría dar si te preguntaran por qué la luz no se difracta al pasar por una ventana?

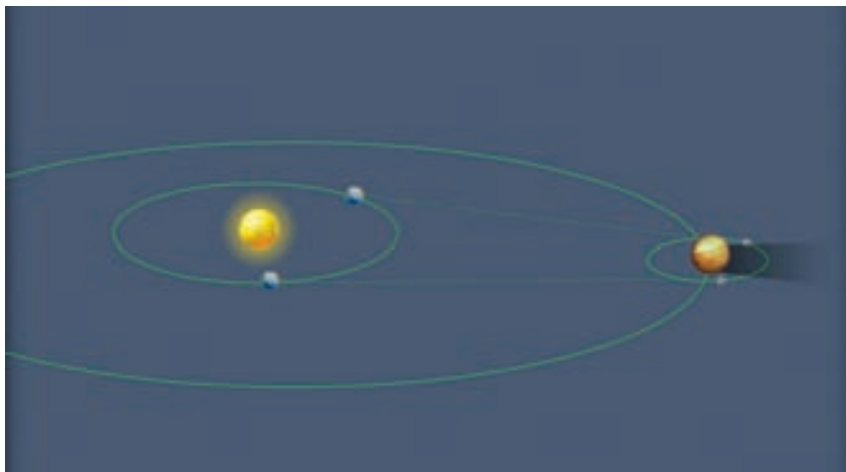
El principio de Huygens, en el cual se basó para realizar su teoría ondulatoria de la luz, dice que todo punto de un frente de ondas puede considerarse como un nuevo emisor de fuentes de ondas. A partir de lo anterior se pueden explicar la reflexión, la refracción, la propagación y difracción, entre otros fenómenos ondulatorios.



### 1.3 Propagación de la luz

El primer intento que se conoce por medir la rapidez de la luz se atribuye a **Galileo Galilei** (1562-1642) quien ideó el siguiente experimento. Dos personas, en la cima de dos montes vecinos, se instalarían cada uno con una lámpara. Al descubrir uno de ellos la lámpara, la luz viajaría hasta su compañero, quien al percibir la luz debería encender a la vez la suya, hecho que constataría el primero. Conociendo la distancia que recorre la luz y el tiempo que la luz demora en ir y venir, se podría calcular la rapidez de la luz. Galileo realizó el experimento junto a un ayudante, pero descubrió que su compañero encendía la lámpara de manera casi instantánea, por lo cual concluyó solamente que poseía una “rapidez extraordinaria”.

Más tarde, en el año 1675, el astrónomo danés **Ole Christensen Roemer** logró medir por primera vez la rapidez de la luz utilizando las lunas de Júpiter (ver dibujo). Roemer sabía cada cuánto tiempo se producían eclipses de aquellas lunas, y al observar el retraso de uno de ellos, por la posición de la tierra en el espacio, pudo obtener un valor de alrededor de  $2,3 \times 10^8$  m/s, menor al valor aceptado hoy en día, pero mayor que cualquier fenómeno de su época.



En el año 1849, el físico francés **Hippolyte Fizeau** ideó un experimento, que analizaremos en detalle en la página siguiente, para medir la rapidez de la luz. El valor que obtuvo Fizeau en su experimento fue de  $3,1 \times 10^8$  m/s.

De acuerdo a las medidas actuales, con técnicas de luz láser, se ha determinado que la rapidez de la luz en el vacío es de  $2,997924574 \times 10^8$  m/s, pero el valor aproximado que usaremos será de  $3 \times 10^8$  m/s. Según las teorías actuales de la Física, la rapidez de la luz en el vacío es un límite natural en el universo, es decir, que ningún objeto puede viajar más rápido que la luz, además de ser una constante universal.



#### CONCEPTOS CLAVE

**Constante universal:** en Física se designa de esta manera a cantidades que medidas en cualquier parte resultarían igual. Por ejemplo, la carga del electrón, la constante de gravitación universal, etc.

#### INTER@CTIVIDAD

En la siguiente dirección: <http://museovirtual.csic.es/salas/luz/luz4.htm> encontrarás más detalles sobre los experimentos explicados en esta página, junto con otros que permitieron determinar con mayor precisión la rapidez de la luz.



## Experimento de Fizeau

### Planteamiento del problema

Durante mucho tiempo se pensó que la luz se propagaba con una rapidez infinita. Para ejemplificar esta idea, imaginemos un haz de luz que sale del Sol y viaja hasta nosotros, pese a que la distancia entre el Sol y la Tierra es de aproximadamente 150 millones de kilómetros, el haz de luz llegaría de forma instantánea hasta nosotros.

Roemer determinó una primera aproximación de la rapidez con que se propagaba la luz, pero ¿sería dicho cálculo el valor exacto de la rapidez de la luz?

### Hipótesis

La luz se propaga con una rapidez finita.

### Procedimiento

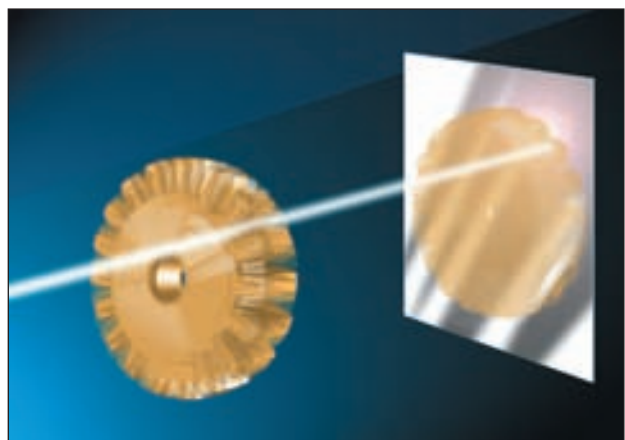
El experimento que ideó Fizeau tenía como objetivo medir el tiempo que tardaba un pulso de luz en ir hasta un espejo plano y volver.

1. Para generar pulsos de luz, se hacía pasar un rayo luminoso entre los dientes de una rueda que giraba.
2. Como la rueda seguía girando, el pulso de luz al volver podía toparse con un diente y, en ese instante, dejaba de ser percibida por el ojo.
3. Sabiendo esto, la rapidez de giro de la rueda se regulaba de tal forma que el pulso de luz saliera por una ranura y al retornar se topara con el diente que estaba al lado.
4. Entonces, el tiempo que demoraba la luz en ir y volver del espejo era igual al tiempo que tomaba un diente en moverse a la posición siguiente.

Con este experimento, Fizeau obtuvo un valor para la rapidez de la luz de  $3,1 \times 10^8$  m/s.

### Análisis

- a. ¿En qué ideas previas sobre la luz se basó Fizeau para diseñar su experimento?
- b. ¿Por qué piensas que determinando el valor del tiempo que la luz tardaba en ir volver al espejo, Fizeau determinaría la rapidez de la luz?
- c. ¿Qué podrías concluir tú con el resultado de este experimento?
- d. Plantea si se comprobó la hipótesis y por qué.





## 1.4 Origen de la luz

Si en una noche despejada observas con atención las estrellas (sin considerar el efecto del titilar), podrás notar que tienen distintos colores; algunas son rojas, otras azules, otras blanquecinas. Si prestas atención a fuentes luminosas, como una vela, un farol de alumbrado público, o un madero quemándose, podrás observar de igual manera diferentes colores. Para poder explicarnos aquello, tendríamos que comprender cómo se origina la luz, fenómeno que recién se pudo explicar durante el siglo pasado.

El modelo atómico cuántico propone que los electrones se disponen en orbitales alrededor del núcleo atómico. Los electrones de esa manera poseen una energía característica, que aumenta si más alejados se encuentran del núcleo. Al pasar de una órbita a otra de menos energía hay una diferencia que se traduce en un fotón de luz, es decir, una cierta cantidad de energía convertida en luz.

Si el átomo recibe una cierta cantidad de energía, el electrón salta a una órbita superior, cuando la energía recibida por el átomo es mucha, el electrón puede escapar de su ligazón al núcleo. Si esa energía recibida es luz, se observará una absorción de luz por parte del átomo. Estas interacciones entre la materia y la energía son estudiadas por la mecánica cuántica, área de la Física desarrollada durante los primeros treinta años del siglo XX.

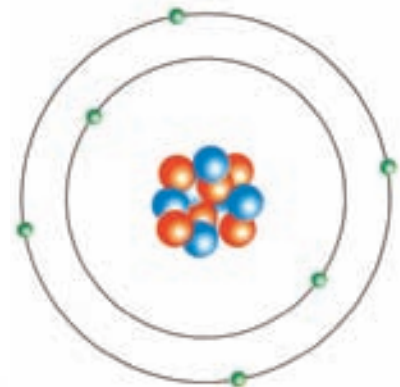
Como algunos saltos están permitidos y otros son menos probables, se origina luz con diferente energía y eso se manifiesta en luz de diferente color.

### CONCEPTOS CLAVE

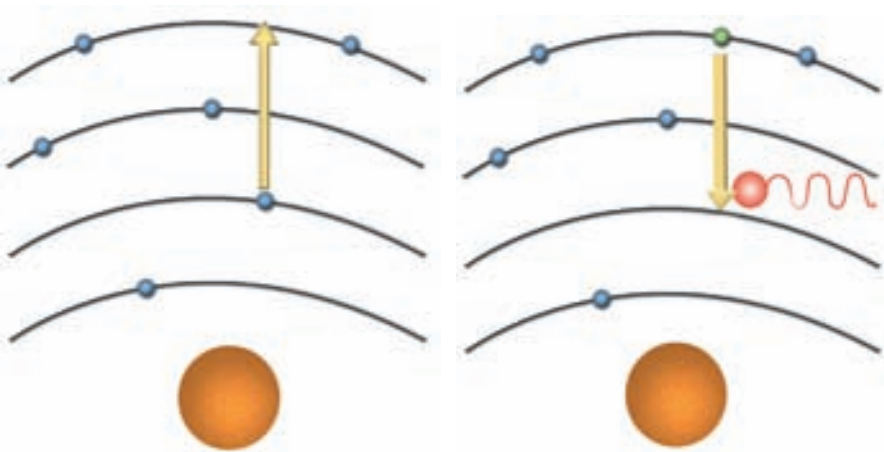
**Electrón:** partícula de carga eléctrica negativa que orbita alrededor del núcleo atómico.

**Núcleo atómico:** formado por protones de carga eléctrica positiva y neutrones sin carga. Constituye casi la totalidad de la masa del átomo.

**Fotón:** es la unidad fundamental de la luz que se libera en los saltos que los electrones efectúan al interior de los átomos desde una órbita de mayor energía a otra de menor.



En el modelo atómico de Bohr, los electrones orbitan alrededor del núcleo en distintos niveles de energía. Casi toda la masa del átomo se concentra en el núcleo.

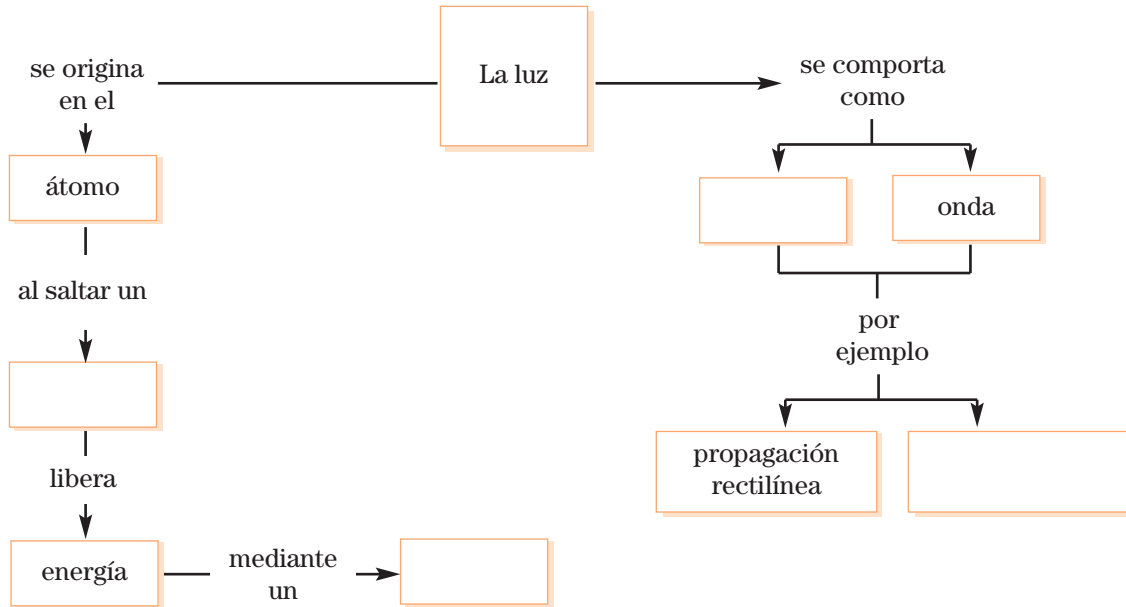


Si el átomo absorbe energía, el electrón salta a niveles superiores de energía, alejándose del núcleo.

Cuando el electrón salta de un nivel a otro, acercándose al núcleo, la diferencia de energía se emite en forma de fotón.

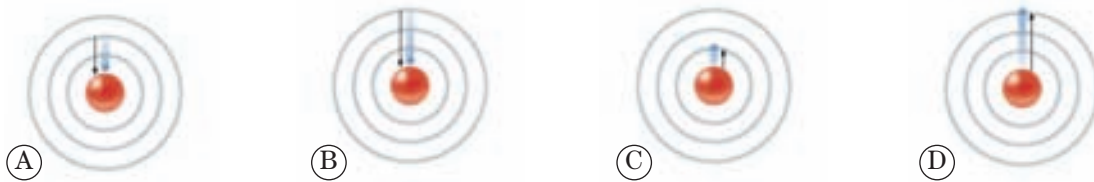
**SÍNTESIS**

- Copia y completa el siguiente esquema en tu cuaderno:



**EVALUACIÓN DE PROCESO**

1. Realiza una lista con los fenómenos que evidencian un comportamiento de partícula para la luz.
2. Repite lo anterior, pero para un comportamiento ondulatorio de la luz.
3. ¿Por qué es difícil observar el fenómeno de la difracción?
4. ¿Cuál fue el primer intento de medir la rapidez de la luz? Explica el experimento.
5. En cada uno de los átomos representados a continuación, ocurren saltos de electrones.
  - a. ¿En cuáles de ellos se emitirá un fotón?
  - b. ¿En cuáles tendrá más energía el fotón emitido?



**ASÍ APRENDO MEJOR**

Responde las siguientes preguntas en tu cuaderno:

- a. ¿Qué tema te resultó más fácil aprender?, ¿a qué crees que se debe esto?
- b. ¿Qué hiciste para aprender los temas que te resultaron más difíciles?

## INDAGACIÓN INICIAL: EL COMPORTAMIENTO DE LA LUZ

### ¿Por qué en ciertas superficies podemos ver reflejada nuestra imagen?

Formen grupos de cuatro o cinco compañeros y/o compañeras y elaboren un listado de todas aquellas superficies que consideren que son capaces de reflejar su imagen. Luego, propongan una hipótesis para la pregunta planteada.

#### Materiales

Una cartulina negra, una cartulina blanca, un trozo de papel metálico, cinta adhesiva, tijeras.

#### Procedimiento

1. Recorten cuadrados de 20 cm de lado, de cartulina y papel metálico. Fíjenlos en la muralla utilizando la cinta adhesiva.
2. Utilizando la luz ambiente, acérquense a cada una de las superficies y observen si son capaces de reflejar su imagen. Consideren la muralla como una superficie más.
3. Luego, con la linterna apunten hacia las superficies y observen cómo se refleja la luz. Comenten y anoten sus observaciones.
4. Repitan la experiencia pegando los papeles detrás del vidrio o la ventana, bajo la supervisión del profesor o profesora.
5. Finalmente, arruguen el papel metálico, póngalo nuevamente en el muro y observen qué ocurre con la reflexión de la luz.

Con relación a lo observado en la experiencia, respondan las siguientes preguntas y realicen las actividades propuestas.

- a. ¿Cuál fue la mejor superficie reflectora y cuál la peor? Expliquen qué criterio utilizaron para determinarlo.
- b. Elaboren una lista considerando todos los factores que consideren relevantes, para que una superficie sea buena reflectora de la luz.
- c. ¿Qué creen que ocurre con la luz que no se refleja?
- d. ¿Qué diferencia ocurre al situar las cartulinas y el papel metálico detrás del vidrio?, ¿a qué cualidad del vidrio creen que se deba esa diferencia?
- e. Realicen una tabla donde ordenen las superficies de la peor a la mejor reflectora de la luz, y comparen sus resultados con los obtenidos por sus compañeros.
- f. ¿Pudieron verificar su hipótesis? Expliquen.

## CONCEPTOS CLAVE

**Rayo incidente:** es el rayo que llega a una determinada superficie desde una fuente luminosa.

**Rayo reflejado:** es el rayo que se refleja desde una determinada superficie (puede ser especular o difusa).

## 2. Reflexión de la luz

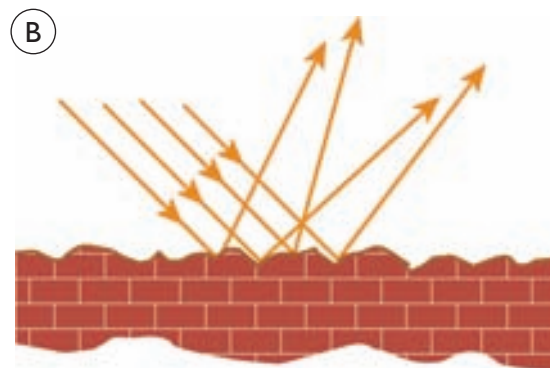
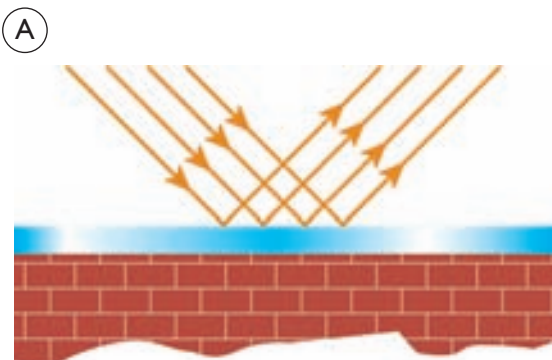
En la actividad inicial pudiste observar que no todas las superficies reflejan la luz de la misma manera, y basta con mirar los objetos que nos rodean para darnos cuenta de aquello; no todos son del mismo color, aunque sean alumbrados con una fuente de luz blanca como el Sol. ¿Qué característica de las superficies tendrán que ver con aquello? En esta sección estudiaremos la reflexión de la luz solamente en cuanto a la cantidad de luz reflejada, diferenciando superficies pulidas de superficies rugosas.

### a. Reflexión especular

Al pasar los dedos sobre la superficie de un espejo notarás que casi no se presentan rugosidades, entonces se habla de una superficie pulida. Cuando un haz de rayos paralelos incide en una superficie de ese tipo, los rayos que se reflejan también son paralelos (ver figura A). Ese tipo de reflexión se llama especular, y el ejemplo más común es la formación de imágenes en un espejo plano.

### b. Reflexión difusa

Cuando la superficie es rugosa, como una lija de madera, la tierra o un muro, los rayos que inciden paralelos entre sí, se reflejan en diferentes direcciones una vez que llegan a la superficie. A ese tipo de reflexión se le denomina difusa (ver figura B). En este tipo de reflexión no se consigue generar imágenes, sin embargo, nos permite ver los cuerpos opacos desde cualquier ángulo.



## ¿QUÉ SUCEDERÍA SI...?

Todos los objetos que nos rodean los podemos ver gracias a que reflejan luz hacia nuestros ojos. Si estuviéramos en el espacio, sin objetos alrededor, ¿sería posible ver un rayo de luz que pasa frente a nuestros ojos?, ¿qué ocurriría si los rayos de todos los objetos que nos rodean pasaran frente a nuestros ojos?, ¿cómo se vería el mundo?

## INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

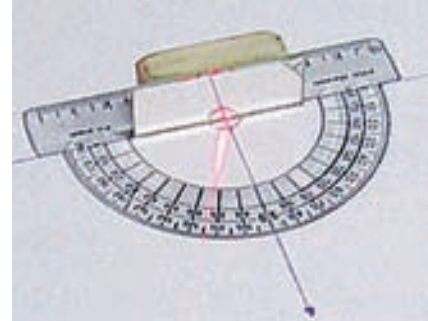
## Ley de reflexión

### Antecedentes

Sabemos que la luz se refleja en superficies pulidas. En esta actividad utilizaremos aquella propiedad para investigar qué relación geométrica tienen los rayos que inciden en una superficie con los rayos reflejados.

### Hipótesis

En esta actividad trataremos de poner a prueba la siguiente hipótesis: “Los rayos que inciden en cualquier ángulo sobre una superficie son reflejados en un ángulo distinto”.



### Procedimiento

Reúnanse en grupos de cuatro estudiantes y junten los siguientes materiales: un pequeño trozo de espejo (basta con un rectángulo de 3 x 1 cm, un transportador para medir ángulos, cinta adhesiva, un puntero láser, papel milimetrado y una regla).

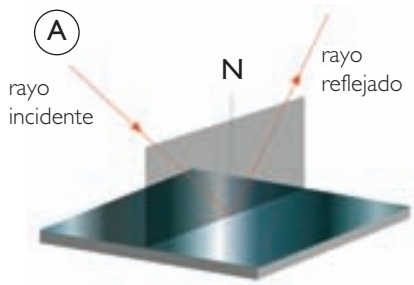
1. Pongan el transportador en el centro de una hoja blanca (tamaño carta), o una cartulina.
2. Ubiquen el espejo de manera perpendicular a la hoja (ver figura).
3. Tracen una línea perpendicular al espejo, que parta desde el centro del transportador (a esa línea la llamaremos normal).
4. Oscurezcan la sala cerrando las cortinas (si es que tuviera ventana), o dejando el mínimo de ampolletas encendidas.
5. Apunten la luz láser hacia el centro del transportador, de manera que viaje rasante a la hoja.
6. Repitan el punto anterior, de manera que el rayo de luz forme un ángulo de 80 grados con la línea normal. Anoten el valor del ángulo reflejado con respecto a la misma línea.
7. Repitan lo anterior para 75, 70, 65 grados, sucesivamente, hasta llegar a 10 grados.

### Análisis

- a. Con los datos recopilados en esta experiencia, realicen una tabla donde se ordenen los ángulos de la luz incidente y reflejados.
- b. Grafiquen los datos de la tabla en el papel milimetrado, de manera que en cada uno de los ejes aparezcan las variables estudiadas.
- c. ¿Qué relación se puede establecer entre las variables, es decir, entre el ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión?
- d. ¿Se comprobó la hipótesis de trabajo? Expliquen.

## 2.1 Ley de la reflexión

Hasta el momento hemos visto que la reflexión se produce cuando los rayos luminosos que se propagan por un medio, chocan con un medio de diferente densidad y retoman al inicial. La reflexión tiene dos importantes propiedades:



- El rayo incidente, el reflejado y la recta normal (N) son coplanares, es decir, se encuentran ubicados en el mismo plano.
- El ángulo de incidencia de un rayo luminoso es igual al ángulo de reflexión, respecto a la recta normal.

Esta última propiedad fue la que dedujiste experimentalmente de la actividad anterior. Ambas propiedades se ilustran en el dibujo A y forman parte de la rama de la Física llamada óptica geométrica, la cual estudia la luz bajo los principios de la geometría plana y asociando a la luz la idea de rayo.

## 2.2 Principio de Fermat

A partir de este principio postulado por el matemático francés **Pierre de Fermat** (1601-1665) y que fue enunciado en el siglo XVII, es posible deducir la ley de la reflexión. Este principio dice que: “El trayecto seguido por la luz al propagarse de un punto a otro es tal, que el tiempo empleado en recorrerlo es un mínimo”. Para realizar una analogía con la reflexión de la luz se puede realizar el siguiente experimento.

### Actividad 2

#### PRINCIPIO DE FERMAT

#### OBSERVAR-ASOCIAR

Consigue un par de clavos, un trozo de madera, un lápiz y un objeto de masa suficiente para que pueda mantener estirado el hilo (ver dibujo).

- Arma un sistema como el que muestra la figura. Si se tratase de una reflexión luminosa, el lápiz representaría el punto donde se produce la reflexión, mientras que el rayo luminoso correspondería al hilo tenso entre los clavos.
- Mueve el lápiz y observa lo que ocurre con el cuerpo que está colgando, ¿dónde debe estar vinculado el lápiz para que la longitud del hilo entre los clavos sea menor?
- ¿Qué relación tiene aquello con el principio de Fermat?



#### Ten presente que:

- En ciencias, y especialmente en Física, ley y principio no son lo mismo: un principio se postula de forma axiomática (axioma: verdad evidente que no necesita ser demostrada) y una ley se deduce de una serie de principios o de forma experimental.



### 3. Espejos

#### Actividad 3

**OBSERVAR-DESCRIBIR**

##### OBSERVANDO IMÁGENES

En esta actividad necesitarás un pequeño espejo. Ponlo en frente de un objeto pequeño como una goma de borrar o un lápiz, observa con atención y responde:

- ¿A qué distancia del objeto que pones frente del espejo ves reflejada su imagen?
- ¿De qué tamaño se ve la imagen que se refleja?

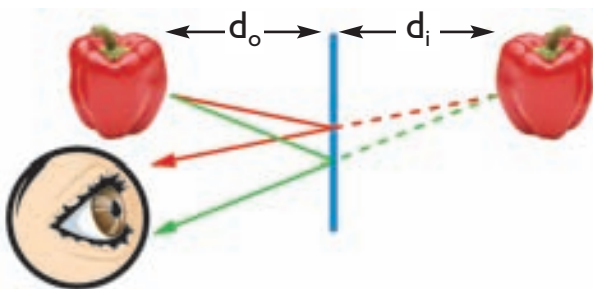
#### 3.1 Espejos planos

Un espejo consiste en una superficie ideal perfectamente pulida, en la cual se produce una reflexión especular, pero los espejos que se usan comúnmente en las casas consisten en un vidrio pintado por atrás con una sustancia llamada nitrato de plata. En esta sección estudiaremos algunas propiedades de las formaciones de imágenes.

##### Formación de imágenes

Como observaste en la actividad 3, cuando ves tu imagen o la imagen de un objeto en un espejo plano, lo que ocurre es que los infinitos rayos provenientes del objeto al llegar al espejo son reflejados en ángulos iguales a sus ángulos de incidencia. Los rayos que divergen del objeto al reflejarse, divergen del espejo. Estos rayos divergentes parecen emanar de un punto detrás del espejo. Un observador que ve su propia imagen o la de un objeto reflejada, tiende a pensar que los rayos provienen de dicho punto, por lo que la imagen se dice **virtual**, pero en la realidad los rayos provienen del objeto.

Una **imagen real**, en cambio, se forma cuando los rayos de luz son convergentes. Esta imagen no la podemos percibir directamente con nuestro sentido de la vista, pero puede registrarse colocando una pantalla en el lugar donde convergen los rayos.



Si tomamos un punto del pimentón y desde ahí proyectamos dos rayos luminosos hacia el espejo, vemos que cada rayo reflejado lo hace con un ángulo distinto.

Vemos que la imagen virtual tiene la misma orientación vertical que el objeto real, por lo que se dice que está **derecha**. Sin embargo, se produce una inversión especular. Además, la imagen virtual se ve del **mismo tamaño** que el objeto real.

A los ojos del observador, los rayos reflejados parecieran venir desde un punto detrás del espejo. La distancia del objeto al espejo ( $d_o$ ) es igual a la distancia entre el espejo y la imagen ( $d_i$ ).

##### CONEXIÓN CON... ARQUEOLOGÍA

Desde la antigüedad se han utilizado los espejos como objetos de tocador. En las civilizaciones etrusca, griega, egipcia y romana, generalmente se elaboraban con metales bruñidos como el bronce, cobre o plata, el cual se pulía hasta obtener el reflejo deseado. Ese proceso se conoce como plateo. Muchos de estos espejos eran decorados con elementos mitológicos y aún se conservan en museos de arqueología.

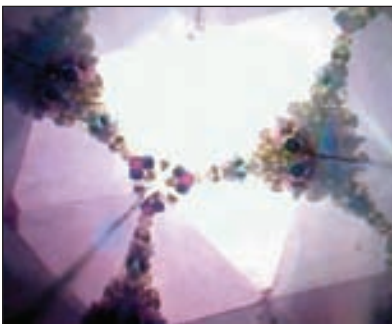
## Actividad 4

### REFLEXIONES EN UN ESPEJO PLANO

Formen grupos de dos o tres integrantes y reúnan los siguientes materiales: un espejo (es suficiente con uno de 20 x 20 cm), un trozo de cartón, tijeras.

#### Procedimiento

1. Fijen el espejo al muro y escojan a un miembro del grupo para que se ubique frente a él.
2. Pídanle que levante su mano derecha y observen la imagen virtual. Para “la persona del espejo”, ¿también es su mano derecha? Expliquen. Coloquen un libro frente al espejo, ¿qué sucede con las letras?
3. Recorten en el cartón un objeto con forma de flecha ( $\uparrow$ ) de 20 cm de alto y ubíquelo apegado al espejo. ¿Qué tamaño tiene en ese momento la imagen virtual?, ¿qué sucede con la imagen si van alejando el objeto?
4. Pongan el espejo acostado sobre una mesa, de manera que su parte reflectora quede hacia arriba. Pongan sobre el espejo el objeto de cartón en forma perpendicular, ¿cómo es la imagen virtual, en este caso?

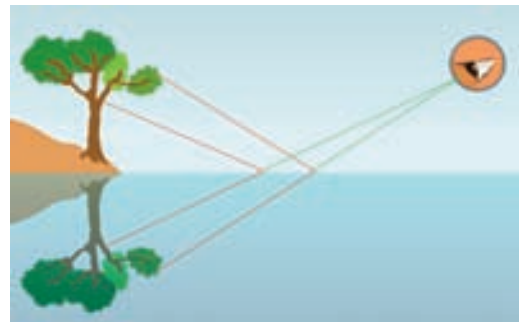


Un caleidoscopio es un juguete óptico basado en la reflexión de la luz. En él, un objeto de color se refleja en un espejo, luego ese reflejo se convierte en objeto para un segundo y tercer espejo, produciéndose figuras simétricas.

#### ¿QUÉ SUCEDERÍA SI...?

En un cómic de ciencia ficción, una nave viaja a otro universo con otras leyes físicas. Un tripulante de la nave llega a la orilla de un lago de mercurio y al ver su imagen reflejada en lago se da cuenta que puede leer a la perfección el nombre impreso en su uniforme. ¿Cómo se comportan los rayos en ese planeta? Haz un esquema de los rayos.

Cada vez que vemos el reflejo en una laguna, o en un piso muy pulido, podemos observar que los objetos aparecen invertidos, así como cada vez que nos miramos al espejo podemos apreciar que la imagen está invertida horizontalmente.



Se puede explicar perfectamente la inversión a través de la óptica geométrica (según la cual la luz se comporta como rayo) y de la ley de reflexión. ¿Cómo se puede usar esta idea para explicar la inversión especular? Si se quisiera explicar el fenómeno considerando la luz como ondas, estas deberían dibujarse planas y perpendiculares a los rayos. ¿Cómo quedaría ilustrada en ese caso la situación?

En cuanto a los tamaños, en una reflexión, el del objeto se denomina altura objeto ( $h_o$ ), mientras que el de la imagen se conoce como **altura imagen** ( $h_i$ ). El llamado factor de magnificación ( $M$ ) de la imagen con respecto al objeto está dado por la relación:

$$M = \frac{h_i}{h_o}$$

Este es un número sin unidades físicas (adimensional). En el caso del espejo plano,  $M=1$ .

### 3.2 Espejos curvos

Hemos estudiado la formación de imágenes en espejos planos, pero ¿cómo serían las imágenes si los espejos fueran curvos? Es muy fácil ponerlo a prueba en una actividad como la siguiente.

#### Actividad 5

OBSERVAR-INFERIR

##### IMAGEN EN UN ESPEJO CURVO

Reúnete con un compañero o compañera y consigan una cuchara metálica y lo más brillante posible.

1. Pónganla delante de uno de ustedes de manera que refleje su rostro.
2. Describan lo que observan al mirar por la parte cóncava (con la curvatura hacia el interior).
3. Describan también lo que se observa por la parte convexa (con la curvatura hacia fuera).
4. ¿Qué creen que sucede con la luz cuando es reflejada en ambas situaciones?

#### Actividad 6

OBSERVAR-DESCRIBIR

##### ESPEJO DE SECCIÓN CIRCULAR

Junto a una compañera y/o compañero, reúnan un tarro de café o de conservas, una tijera de cortar latón y una linterna pequeña.

1. Con mucho cuidado saquen el fondo del tarro y su tapa. Luego, corten longitudinalmente el tarro en dos partes y pongan una de ellas sobre el papel. Para realizar el experimento, oscurezcan lo más posible la sala donde van a trabajar.
2. Dirijan la luz de la linterna hacia la parte cóncava, ¿qué ocurre con la luz una vez que es reflejada?, ¿hay algún punto que merezca especial atención?, ¿qué ocurre si mueven la fuente luminosa?
3. Dirijan la luz hacia la parte convexa del tarro y repitan el procedimiento anterior, ¿qué sucede?
4. En ambos casos, realicen un esquema en donde dibujen cómo creen que se comportan los rayos luminosos.

Como ya observaste en las actividades anteriores, los espejos curvos no se comportan de la misma manera que los espejos planos, aunque la ley de la reflexión se cumple de la misma manera. En los espejos curvos la recta normal es perpendicular a la tangente que pasa por cada punto de la curvatura. Cuando la superficie del espejo es la sección de una esfera, se habla de **espejos esféricos**, que serán los que estudiaremos; en el caso de la sección del tarro se trata de una sección circular.

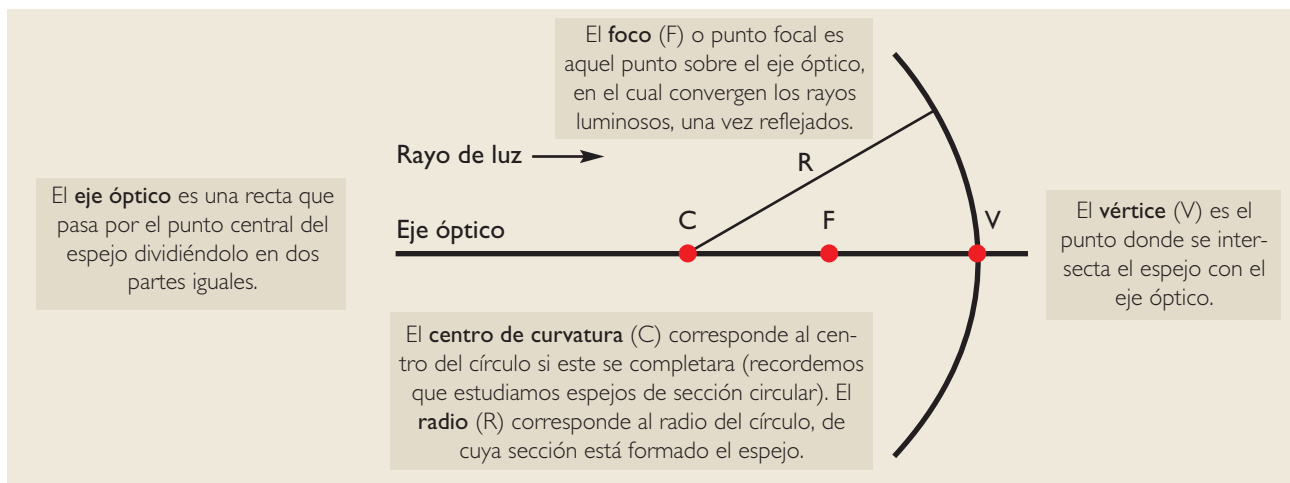


#### CONCEPTOS CLAVE

**Tangente:** es una recta que toca solo en un punto a una curva.

### a. Espejos cóncavos o convergentes

En el caso de los espejos cóncavos, estos tienen ciertas propiedades, como bien puedes haber observado en la Actividad 6. La más importante es que en ciertas condiciones ellos pueden concentrar toda la luz en un solo punto denominado **foco** (F) o punto focal, por ese motivo se les conoce como **espejos convergentes**, pues hacen que la luz converja en el foco. Para poder comprender cómo se forman las imágenes, se hace necesario definir algunos elementos para este tipo de espejos. En el siguiente esquema se representa una visión “desde arriba” de un espejo de sección circular, como el utilizado en la Actividad 6.

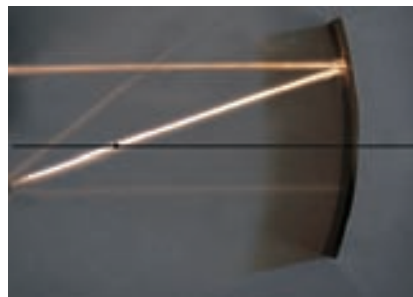


- **Ley de reflexión para un espejo de sección circular**

Para poder saber cómo serán las imágenes que producen los espejos convexos o cóncavos, existen tres reglas ópticas, consistentes en tres rayos básicos que se ilustran a continuación.



Un rayo que llega al espejo en forma paralela al eje óptico, se refleja en dirección al punto focal.



Un rayo dirigido al foco se refleja paralelo al eje óptico.



Un rayo dirigido al vértice del espejo se reflejará con el mismo ángulo respecto del eje óptico.

Estos rayos son válidos tanto para espejos cóncavos como para convexos. Si se quiere dibujar una imagen a partir de estos rayos, basta con dos de ellos, y es recomendable dibujar los rayos desde “la cabeza” del objeto luminoso.

## b. Espejos convexos o divergentes

## Actividad 7

DESCRIBIR-COMPARAR

## ESPEJO CONVEXO

En esta experiencia vas a utilizar los mismos materiales de la Actividad 6 (página 67), a excepción de la pequeña linterna, que será remplazada por un puntero láser. Necesitarás también un compás y una regla.

1. Ubica la sección circular del tarro sobre el centro de la hoja. Fija el espejo con cinta adhesiva y dibuja el eje óptico. Con la ayuda de un compás, completa el círculo en la hoja y dibuja el centro de curvatura.
2. Apunta la luz láser al lado convexo, de forma que el rayo viaje paralelo al eje óptico. Dibuja al menos tres rayos a cada lado el eje, ¿qué es lo que sucede con ellos?
3. Dibuja la prolongación de los rayos hacia la parte de atrás del espejo, ¿se juntan en alguna parte?, ¿hay similitudes con el caso del espejo cóncavo?

Los **espejos convexos** tienen múltiples usos en la vida cotidiana; por ejemplo, los espejos retrovisores de los vehículos son convexos, o los que se ubican a la salida de los estacionamientos. Se utilizan pues permiten tener un mayor campo visual, aunque las imágenes tienen una proporción y distancia diferente a como son realmente.

Como habrás notado a partir de la Actividad 7, en este tipo de espejos los rayos no convergen en un punto focal, motivo por el cual también son llamados **espejos divergentes**, pero si prolongamos los rayos reflejados por el espejo, notaremos que aquellos se juntan detrás de él, motivo por el cual se dice que tiene un **foco virtual**. Aquello es válido para todos los espejos convexos.



## REFLEXIONEMOS

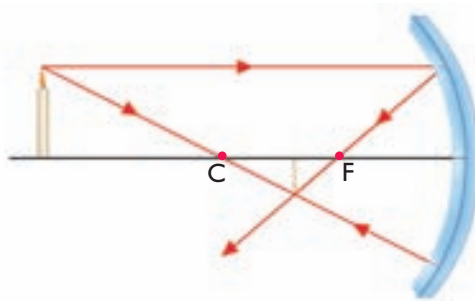
Probablemente has notado que en los espejos retrovisores de los automóviles aparece la siguiente frase: “Cuidado, los objetos están más cerca de lo que aparentan”. Lo anterior se debe a que la imagen que se produce en un espejo de ese tipo están distorsionadas, es decir, se usan espejos curvos para aumentar el campo visual, pero, por contraparte, se distorsiona también la distancia. Reúnete con un compañero y/o compañera y reflexionen sobre este y otros factores ópticos que permiten conducir de manera más segura. Realicen una lista con las medidas de precaución que se deben tomar al conducir.

## EJEMPLO RESUELTO 1

## Formación de imágenes en espejos

1. Una vela se ubica frente a un espejo cóncavo, entre el centro de curvatura (C) y el infinito (de esa manera se designa en Física a un punto muy alejado). ¿Dónde se forma la imagen y qué características tiene?

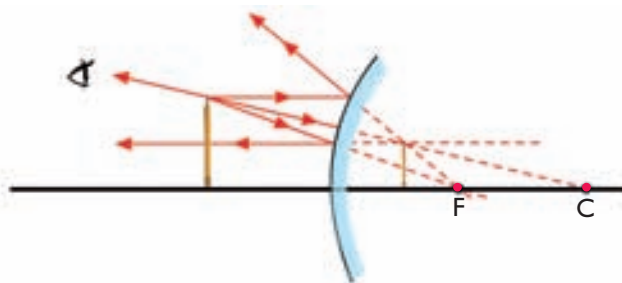
Lo primero que debemos hacer es dibujar un esquema de la situación, luego, desde la parte superior del objeto (la vela en este caso), trazamos el primer rayo que viaja paralelo al eje óptico y se devuelve pasando por el foco.



El segundo rayo lo hacemos pasar por el foco y se refleja paralelo al eje óptico. El punto donde se cortan los dos rayos es la parte superior de la imagen. En este caso, se forma entre el foco y el centro de curvatura aparece invertida y de menor tamaño que el objeto. Como los rayos se cortan se habla de una **imagen real**.

2. La misma vela se ubica frente a un espejo convexo a la misma distancia que en el caso anterior, ¿dónde se forma la imagen y qué características tiene?

En este caso, el centro de curvatura (C) y el foco (F) se encuentran detrás del espejo. Una vez dibujada la situación se procede a trazar los rayos.



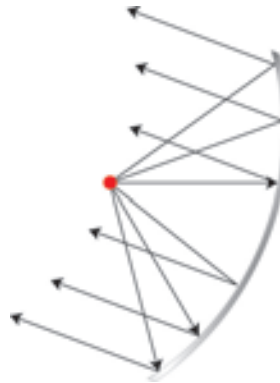
El primer rayo va paralelo al eje y se refleja de manera que su prolongación pasa por el foco del espejo. El segundo rayo se dibuja de tal forma que su prolongación pase por el foco, pero que se refleja paralelo al eje óptico. De lo anterior se puede observar que las prolongaciones de los rayos se juntan detrás del espejo, por ese motivo se dice que la imagen es virtual. Además, es más pequeña que el objeto y aparece derecha.



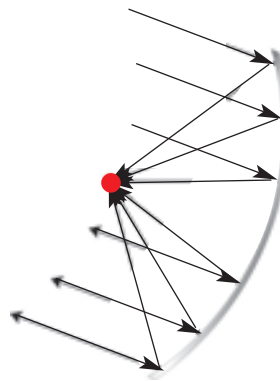
### 3.3 Aplicaciones de los espejos curvos

Hemos visto algunas utilidades de los espejos, como su capacidad para ampliar el campo visual en el caso de los convexos. Es importante hacer notar que las aplicaciones que se puedan hacer a partir de un principio físico, tienen estrecha vinculación con sus cualidades, por ejemplo: ¿qué utilidades consideras que tiene la capacidad de un espejo cóncavo de concentrar la luz en un punto?

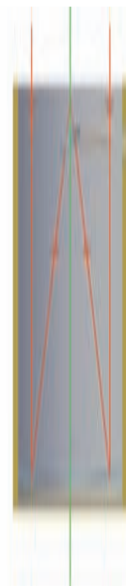
**Estufas.** Una aplicación bastante común se da en **sistemas de calefacción**, por ejemplo, en algunas estufas donde la fuente de calor se ubica en el foco de un espejo curvo construido con material reflectante, con aquello se logra una máxima eficiencia en la distribución del calor. En el siguiente esquema se aprecia con mayor claridad.



**Horno solar.** Si la fuente luminosa está muy lejana, se cumple que los rayos vienen paralelos entre sí. Esto ocurre con el Sol, por ejemplo, que se encuentra a 150 millones de kilómetros de la Tierra. En este caso, el Sol emite radiación electromagnética en varias longitudes de ondas, de las cuales el ojo ve una pequeña parte (luz) pero las otras siguen entregando su energía al interactuar con la materia (como el calor). Esto sugiere que se puede elevar la temperatura de un objeto ubicado en el foco del espejo. En aquello se basan los hornos solares, muy útiles al momento de ahorrar combustible fósil, que es contaminante para la atmósfera.



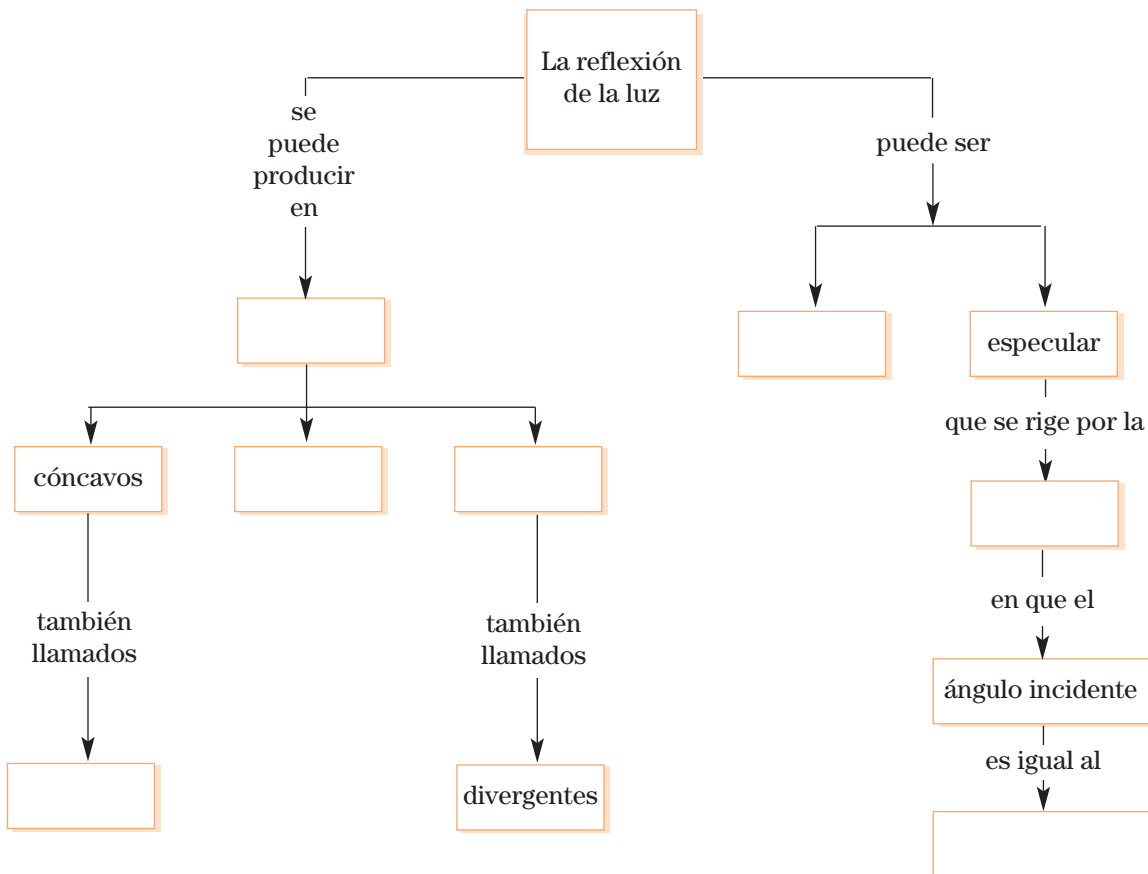
**Telescopio.** En Astronomía, es muy útil también la posibilidad de reunir mucha luz en un mismo punto, puesto que de las estrellas, mucho más lejanas que el Sol, nos llega una luz muy débil. El tipo de telescopio más utilizado se construye a partir de espejos convergentes, algunos de los cuales tienen más de 10 m de diámetro, los que se utilizan para reunir una gran cantidad de luz que se dirige a un solo punto donde se analiza. Estos telescopios se conocen como reflectores o newtonianos, en honor a Isaac Newton.





**SÍNTESIS**

- Copia y completa el siguiente esquema en tu cuaderno:



**EVALUACIÓN DE PROCESO**

- ¿Cuántos “rayos básicos” son suficientes para construir una imagen en un espejo curvo? Explica cómo se trazan.
- Pablo está mirando su cara en un espejo “con aumento”. Lentamente, comienza a alejar el espejo de su cara y, en un punto determinado, observa que su imagen desaparece. Si continúa alejando el espejo desde ese punto, la imagen vuelve a aparecer, pero invertida verticalmente. ¿Cómo se llama ese punto?
- Sobre el eje óptico de un espejo cóncavo, se sitúa una vela entre el punto focal y el espejo. Realiza un esquema de la situación y determina en qué posición se forma la imagen y qué cualidades tiene.

**ASÍ APRENDO MEJOR**

Responde las siguientes preguntas en tu cuaderno:

- ¿Qué tema te resultó más fácil aprender?, ¿a qué crees que se debe esto?
- ¿Qué hiciste para aprender los temas que te resultaron más difíciles?

## INDAGACIÓN: PROPAGACIÓN DE LA LUZ

### ¿Qué ocurre con la luz al cambiar de medio?

Formen un grupo de tres integrantes y discutan en torno a la pregunta planteada. Recuerden que un medio material hace referencia a una determinada sustancia por la cual se propaga una onda y, además, que la luz también se puede propagar por el vacío. Un cambio de medio podría ser del agua al aire, del agua al vacío, de un vidrio al aire, etc. Observen lo que ocurre al introducir un lápiz en un vaso con agua, ¿qué se observa? Elaboren una hipótesis sobre lo que creen que ocurre con la luz, cuando pasa de un medio a otro.

#### Procedimiento

Necesitarán los siguientes materiales: una moneda y dos tazas.

1. Coloquen la moneda al fondo de una de las tazas.
2. Un(a) integrante del grupo debe ubicar de tal manera su campo visual, que haga coincidir el borde más cercano de la taza con el borde de la moneda, hasta que ella se pierda de vista.
3. Mientras conserva esa posición, la otra persona, debe agregar agua a la taza hasta completar un cuarto de esta, cuidando que no se mueva la moneda.
4. Luego, vuelvan a buscar la posición en que la moneda desaparece y agreguen más agua.
5. Intercambien roles y vuelvan a repetir el experimento.

Comparen lo observado por cada uno(a) y escriban un informe guiándose por las siguientes preguntas y actividades:

- a. ¿Qué ocurre con la visibilidad de la moneda al agregar agua a la taza?
- b. Si no se mueve el observador, ni la moneda, ni la taza, ¿qué es lo que se modifica?
- c. Dibujen un diagrama de la situación, utilizando rayos. Identifiquen el camino que sigue la luz hasta el observador en los tres casos: con la taza vacía, con un cuarto de agua y con agua hasta la mitad.
- d. ¿Se verificó la hipótesis? Expliquen.

## 4. Refracción de la luz

### ¿QUÉ SUCCEDERÍA SI...? \_\_\_\_\_

Sabemos que la luz puede cambiar de medio de propagación, pero ¿crees que sería posible “detener” un rayo de luz?, es decir, concebir la luz sin movimiento. ¿Se podrían ver los objetos del mundo que te rodean si la luz, cada vez que llega de un medio a otro, se detuviera?

El fenómeno que estudiaremos a continuación es fácilmente observable en la vida cotidiana: ocurre cada vez que miramos a través de un vidrio, cuando observamos al interior de una pecera, o cada vez que miramos una puesta de sol: se trata de la refracción. Esto ocurre cada vez que la luz cambia de medio de propagación y consiste básicamente en el **cambio de dirección** que sufren los rayos al cruzar la frontera entre los dos medios (excepto si el rayo incide perpendicular a la superficie), debido al **cambio de velocidad**, tal como fue estudiado en la unidad de ondas sonoras.

En la actividad inicial pudiste observar cómo los rayos que formaban la imagen del lápiz se desviaron. Para poder calcular el cambio de velocidad que sufre la luz, existe lo que se llama índice de refracción ( $n$ ) del medio, este es adimensional (sin unidad de medida) ya que representa un cociente entre rapidezes, y se calcula de la siguiente manera:

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

Donde  $n$  es el índice de refracción,  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío, y ( $v_m$ ) es la velocidad de la luz en el medio por el cual se propaga.

### Actividad 8

#### INFERIR-ANALIZAR

#### ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE ALGUNOS MEDIOS

La tabla 1 muestra el índice de refracción para distintos medios, obsérvala con atención y responde las preguntas que se proponen a continuación.

(Considerando la relación que permite calcular el índice de refracción)

- ¿Qué ocurre con la rapidez de la luz a medida que aumenta el valor del  $n$ ?
- ¿En cuál de los medios de la tabla la luz viajará más lento?
- ¿Entre qué medios la luz experimentaría un mayor cambio en su dirección?

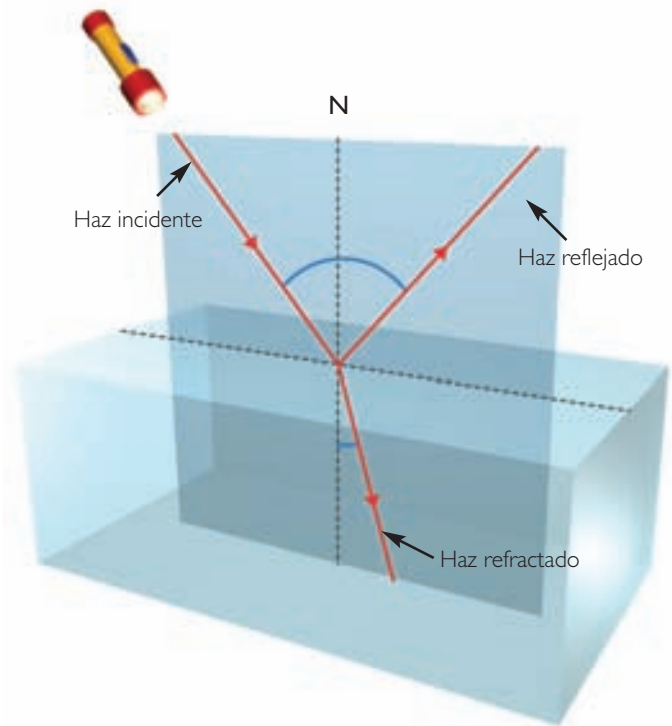
Medio	Índice ( $n$ )
Vacío	1
Aire	1,00029
Alcohol etílico	1,36
Cuarzo fundido	1,46
Vidrio típico	1,52
Diamante	2,42

La tabla considera el índice de refracción para una longitud de onda de 589 nm (luz amarilla de sodio).

Fuente: Archivo editorial



Si te ubicas a la orilla de un río y observas las piedras del fondo, podrías inferir que debido a la refracción que sufre la luz, ellas no están en la posición que aparentan. Lo mismo podría afirmar un pescador que observa un pez en las aguas cristalinas de una laguna. Pero ¿podemos determinar la posición exacta de un cuerpo considerando el efecto de la refracción de la luz?, ¿hacia adonde habría que apuntar si se quiere capturar el pez o tomar una piedra de debajo del agua? En el siguiente esquema se grafica un rayo que incide desde el aire al agua y la forma en que se produce la desviación.



Es de gran ayuda identificar la recta normal al plano (N) como una línea perpendicular al punto donde llega el rayo de luz (ver figura). Una parte del rayo se refleja según la ley de los ángulos iguales (ley de reflexión), por lo tanto el rayo que ingresa al agua será menos intenso que el que proviene de la fuente. Como el agua tiene un índice de refracción mayor que el aire, el ángulo del rayo refractado será menor que el del rayo incidente, acercándose a la recta normal.

¿Qué ocurriría en el caso contrario?, es decir, si el rayo de luz proviniera del agua y saliera al aire, tal como ocurre con las piedras del río o con la imagen del pez. Hay un principio de la óptica geométrica conocido como **reversibilidad del camino óptico**, y tiene que ver con la trayectoria de la luz. Se podría aplicar de la siguiente manera a nuestro ejemplo: si la luz viaja desde un punto A en el aire, hasta un punto B, en el interior del agua, el camino que haría el rayo si la fuente de luz se ubicara en el punto B, sería el mismo. Es decir, si la luz cruza desde un medio de mayor densidad (mayor índice de refracción), a otro de menor, se desvía de manera que se aleja de la normal.



Cada vez que observas objetos sumergidos, desde la orilla, estos no se encuentran en la posición que aparentan. Este fenómeno se debe a la refracción de la luz.

### INTER@CTIVIDAD

En la siguiente página encontrarás una animación en la cual podrás variar el ángulo de incidencia del rayo incidente, y el índice de refracción del medio:

<http://www.upscale.utoronto.ca/PVB/Harrison/Flash/Optics/Refraction/Refraction.html>

Cuando el rayo sale desde el agua hacia el aire, ¿es posible que quede atrapado al interior? Inténtalo modificando las variables de la animación.

# Fenómenos naturales donde actúa la refracción

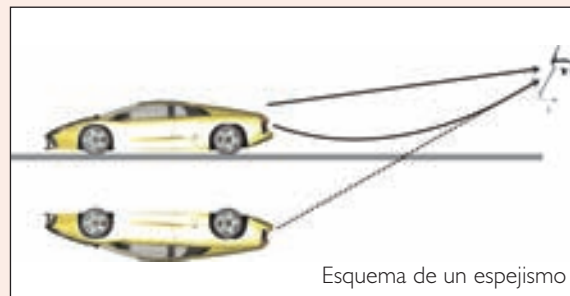
El estudio de los fenómenos naturales nace, generalmente, a partir de sorprenderse frente a un hecho que ocurre en la naturaleza. Fenómenos como los espejismos y el arco iris, siempre han fascinado por sus grandes dimensiones y el espectáculo que ofrecen al espectador.

El arco iris ocurre cuando hay gotitas de agua suspendidas en la atmósfera. Al pasar la luz del sol por cada una de las gotas de agua, esta se refracta, es decir, cambia su dirección de propagación, entonces sucede un efecto llamado dispersión cromática. Este fenómeno ocurre con luz blanca como la del Sol, al refractarse se separa en los colores que la componen. Este fenómeno lo estudió en profundidad Isaac Newton y en él radica la naturaleza del arcoíris. Por ejemplo, si la luz del Sol fuera solamente azul, no se produciría el arcoíris. Los millones de gotas de agua que ocasionalmente se encuentran suspendidas en la atmósfera, posibilitan que este fenómeno sea visible a gran escala.

El espejismo ocurre cuando la luz pasa por un medio donde el índice de refracción cambia gradualmente, por ejemplo, en una tarde calurosa en la carretera, pareciera como si el pavimento más adelante estuviera mojado y la

imagen de los autos se reflejara en esas pozas, sin embargo, al acercarnos nos damos cuenta de que no existen, y que la imagen se ha desplazado, hacia más adelante, ¿cómo es que ocurre aquello?

La temperatura del cemento de la carretera es más elevada que la del aire que lo rodea, por lo tanto, la temperatura del aire que está en contacto con el cemento será mayor que las capas superiores. Al ser más caliente, su densidad y su índice de refracción es menor, aquello produce que los rayos se curven de manera cóncava hacia arriba, dando la impresión de ser un reflejo en el agua (ver figura). Lo mismo ocurre en los desiertos debido a la alta temperatura de la arena, una palmera, por ejemplo, parece reflejarse en una laguna inexistente. El fenómeno recién descrito se conoce con el nombre de espejismo inferior.



Esquema de un espejismo

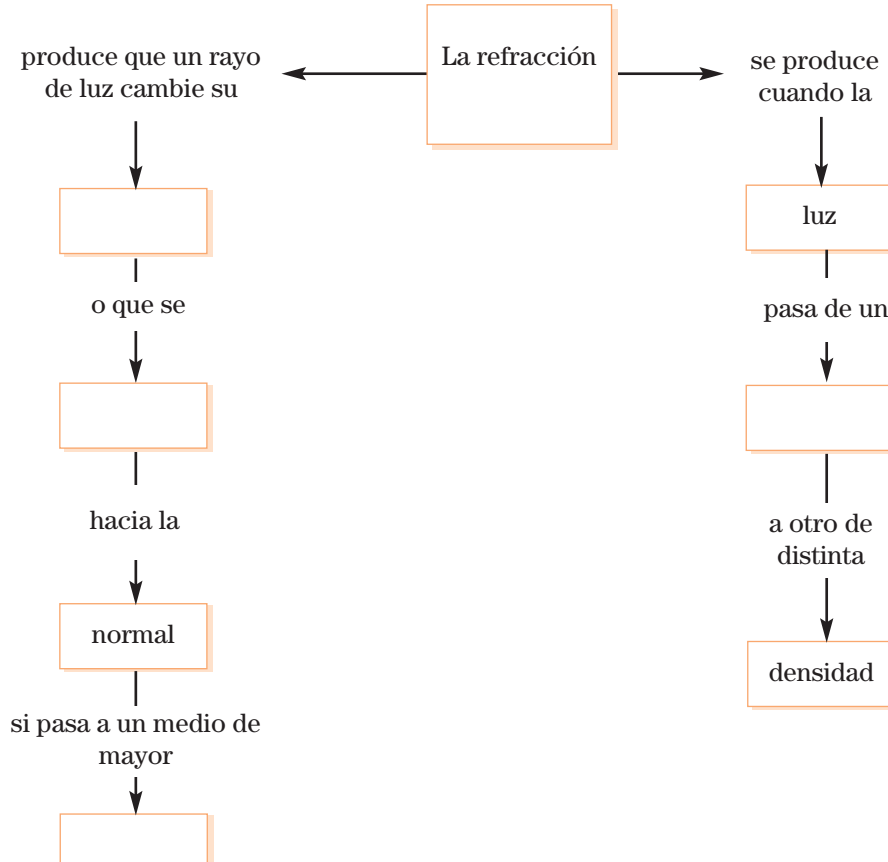
Fuente: Archivo Editorial.

**En relación con la lectura, responde las siguientes preguntas:**

- ¿En qué otro fenómeno puedes observar la dispersión cromática?
- Si el Sol emitiera luz de una sola frecuencia, por ejemplo, luz de color rojo, ¿sería posible ver los arco iris?
- ¿En un espejismo, qué efecto tiene la temperatura sobre la luz?, ¿ocurrirá algo similar en el sonido?

**SÍNTESIS**

- Copia y completa el siguiente esquema en tu cuaderno:



**EVALUACIÓN DE PROCESO**

1. Explica qué condiciones debe tener un medio para que un rayo refractado se acerque o se aleje de la recta normal.
2. ¿Cuál será la velocidad de la luz en un medio en que el índice de refracción es  $n=2$ ?
3. Realiza un esquema en donde un rayo de luz atraviesa tres medios diferentes, 1, 2, y 3, sucesivamente. Dibuja la recta normal en cada punto de incidencia y considera que  $n_2 > n_1$
4. ¿Cómo sería la refracción de la luz en un recinto donde el aire estuviese a una temperatura más elevada en las cercanías del techo?, ¿qué efecto podría producir en las imágenes?

**ASÍ APRENDO MEJOR**

Responde las siguientes preguntas en tu cuaderno:

- a. ¿Qué tema te resultó más fácil aprender?, ¿a qué crees que se debe esto?
- b. ¿Qué hiciste para aprender los temas que te resultaron más difíciles?

## INDAGACIÓN: LAS LENTES

**¿Qué sucede con la luz que emite un objeto al pasar por una lupa?**

Formen grupos de tres o cuatro integrantes y traten de responder la pregunta que se plantea, una vez discutida la pregunta, elaboren una hipótesis para dicha pregunta.

Necesitarán los siguientes materiales: una lupa, una fuente luminosa (podría ser una vela o una lámpara de pie), una cartulina blanca, cinta adhesiva.

1. En una sala que se pueda oscurecer, ubiquen la fuente luminosa sobre una mesa. Acerquen la mesa a una de las murallas y coloquen una cartulina blanca en el muro (si aquel es de otro color).
2. Enciendan la fuente luminosa, ubicándola a dos metros del muro.
3. Pongan la lupa, paralela al muro, y acérquenla paulatinamente hacia la fuente, deténganse cuando se produzca una imagen.
4. Si no se produce una imagen, alejen aún más la fuente luminosa del muro hasta que aquella se produzca.
5. Luego, sigan acercándose hasta la fuente luminosa y observen atentamente lo que ocurre.

Comparen lo observado por cada uno(a) y escriban un informe guiándose por las siguientes preguntas y actividades.

- a. ¿Qué características tiene la primera imagen que se forma? (la más cercana al muro).
- b. ¿Es posible formar otra imagen al desplazar la lupa entre el muro y la fuente? En caso afirmativo, ¿qué características tiene aquella imagen?
- c. Realicen una descripción comparativa de ambas imágenes.
- d. ¿Qué ocurre si se sigue alejando la fuente del muro?
- e. ¿Ocurriría lo mismo si la fuente luminosa es más grande, como una ventana o un televisor?
- f. Comparen sus resultados con las ideas iniciales, ¿existen coincidencias?





## 5. Lentes

### 5.1 Lentes convergentes

En la actividad de indagación pudiste observar que una lupa es capaz de formar imágenes debido a la refracción de la luz. Si hiciéramos una descripción de la lupa, podríamos apuntar que se trata de un cuerpo transparente, con ambas superficies curvas y con su centro más ancho que sus extremos. Todas estas características corresponden a lo que se conoce como **lente convergente**, cuya principal característica es que es capaz de reunir (hacer converger) la luz en un punto.

#### Actividad 9

#### FOCO DE UNALENTE CONVERGENTE

#### RECONOCER-IDENTIFICAR

Para la siguiente actividad deberás utilizar una lupa, una regla, una hoja de cuaderno y unas gafas oscuras.

1. Al aire libre, en lo posible un día soleado o con pocas nubes, pon la hoja sobre el suelo y acerca la lente, de manera que puedas concentrar toda la luz que pasa por la lupa en el punto más pequeño.
2. Ten la precaución de utilizar las gafas oscuras, pues la intensidad de la luz te puede producir molestias en la vista.
3. Mide la distancia entre la lente y el papel y realiza un dibujo que muestre cómo se desvían los rayos que provienen del Sol, al pasar por la lente.

En la actividad anterior pudiste observar que una lupa común, o lente convergente, es un tipo de lente que reúne los rayos en un solo punto; al igual que en el caso de los espejos convergentes, aquel punto se denomina foco o punto focal. Es importante mencionar que las lentes presentan dos focos, uno a cada lado del eje óptico, pues la luz podría llegar desde cualquier lado. Para saber cómo y dónde se forman las imágenes con este tipo de lentes, se usan tres rayos principales, al igual que en el caso de los espejos, bastando dos de ellos para localizar la imagen:

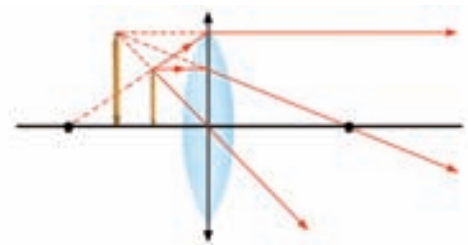
1. El primer rayo viaja paralelo al eje óptico y luego de refractarse pasa por el foco de la lente.

2. Otro rayo pasa por el foco de la lente, y una vez refractado viaja paralelo al eje óptico.

3. El último rayo pasa por el centro de la lente (vértice) y no sufre desviación.

• Objeto situado a una distancia mayor que el doble de la distancia focal de la lente: imagen real, invertida y reducida.

- Objeto situado a una distancia menor que la distancia focal: imagen virtual y ampliada.



## INTER@CTIVIDAD

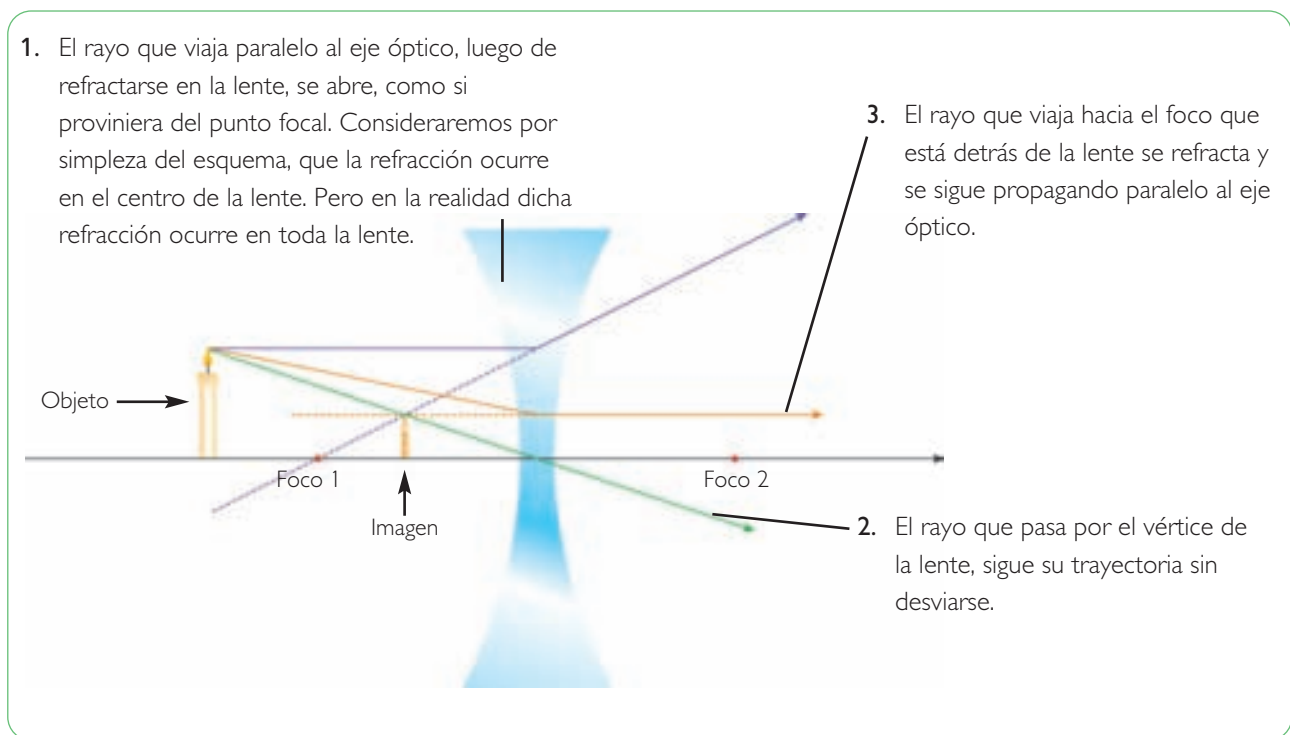
En la siguiente dirección podrás encontrar información sobre lentes divergentes:

<http://www.educaplus.org/luz/lente1.html> además de dibujos con las reglas para la formación de imágenes.

## 5.2 Lentes divergentes

En la página anterior se describieron las cualidades físicas que tiene una lente convergente, pero ¿cuál sería el opuesto, es decir una lente divergente? Una lente de este tipo sería más delgada en su centro que en sus extremos y, efectivamente, en una lente con esa forma los rayos no convergen en un punto, sino que se separan entre sí luego de ser refractados, es decir, divergen.

Como los rayos refractados no se cortan (solo lo hacen sus proyecciones), las imágenes serán virtuales. Para saber cómo y dónde se forman las imágenes de un objeto luminoso puesto frente a una de estas lentes, se pueden tener en cuenta los siguientes rayos que parten desde su parte superior:



Observando el esquema, ¿cómo es la imagen que se ve al mirar por la lente divergente respecto del objeto?

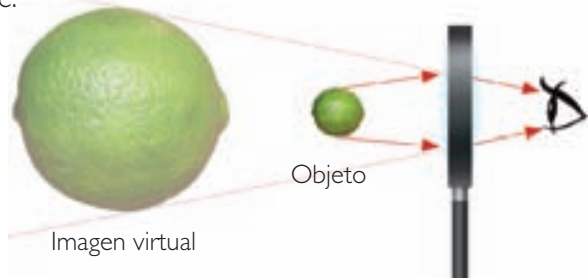
## ¿QUÉ SUCEDERÍA SI...?

Imagina que se inventara una lente donde algunos rayos convergieran, pero en varios puntos diferentes, ¿cómo se vería la imagen de una vela proyectada en una pantalla?

## 6. Aplicaciones de las lentes

### a. La lupa

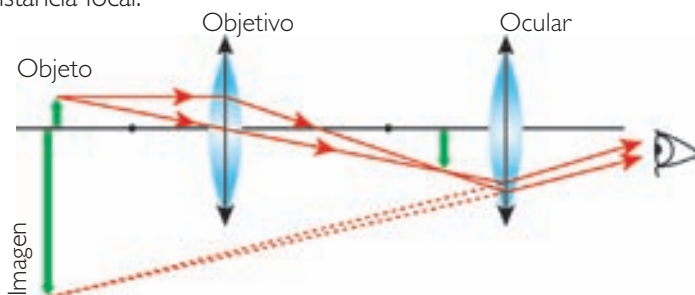
Es el instrumento óptico más sencillo y tiene innumerables aplicaciones; la usan los relojeros para ajustar pequeñas piezas mecánicas; los coleccionistas de estampillas para amplificar los detalles; sirve para observar pequeños insectos, detalles de fibras en la industria textil, etc. Una lupa consiste en una lente convergente, que produce su “efecto lupa” al colocar el objeto entre el foco y la lente. En el siguiente esquema se puede apreciar en detalle.



Como los rayos no se juntan realmente, sino sus prolongaciones, se trata de una imagen virtual y aumentada, que solo puede verse a través de la lente. ¿Qué será necesario para que el mismo instrumento produzca una imagen real?

### b. El microscopio

Todavía no existe claridad respecto de quién inventó tanto el microscopio como el telescopio refractor. Su creación puede atribuírsele a Galileo Galilei, al óptico holandés Zacarías Janssen (1580-1638) o al fabricante de lentes alemán Hans Lippershey (1570-1619). El microscopio es el instrumento óptico que más avances ha proporcionado en áreas como la biología y medicina, este consiste en dos lentes convergentes de distinta distancia focal.



- La lente de menor distancia focal se llama objetivo. El objeto se coloca más allá del foco de aquella lente, producto de estos se formará una imagen invertida y aumentada.
- La imagen formada por el objetivo, servirá de objeto para la segunda lente llamada ocular, la que tiene una distancia focal mayor.
- La lente ocular forma una imagen virtual y aumentada del objeto, que es la que finalmente aprecia el observador.



### REFLEXIONEMOS

El microscopio ha sido de gran utilidad para el desarrollo de la medicina. Gracias a su capacidad de amplificar pequeños objetos, se ha descubierto que el origen de muchas enfermedades se debe a microorganismos. Antes de eso, muchos males que afectaban al ser humano caían en el terreno de la superstición. Reúnete con un grupo de compañeros y/o compañeras y reflexionen sobre la importancia del conocimiento de la naturaleza, ¿qué ventajas tiene conocer la causa de los fenómenos? Busquen algunos ejemplos.

## c. El telescopio refractor

## OBSERVAR-COMPARAR

## Actividad 10

## EL TELESCOPIO MÁS SENCILLO

Formen grupos de dos o tres integrantes, reúnan dos lupas de distinto tamaño.

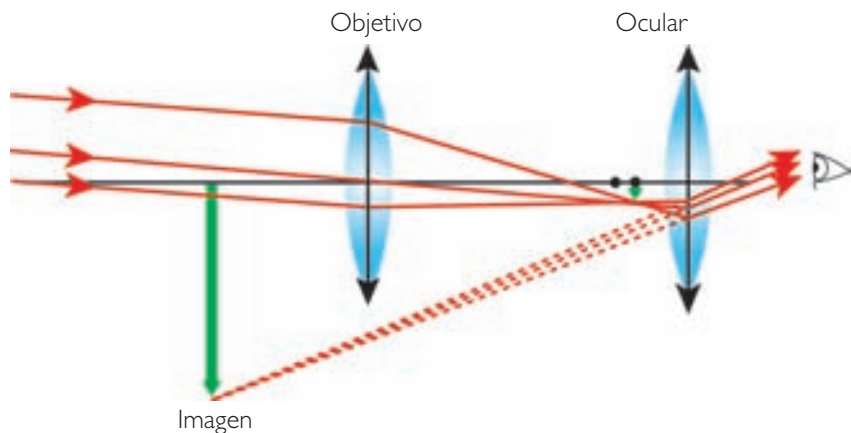
1. Coloquen la lente de distancia focal menor (ocular) a unos dos centímetros del ojo.
2. Escojan un objeto lejano a observar, puede ser un árbol, un cerro o un edificio.
3. Paralela a la primera lente, pongan la de mayor distancia focal y, lentamente, comiencen a alejarla hasta que logren una imagen nítida, ¿cómo es? Describanla.
4. Realicen cada uno la experiencia y comparen las observaciones.

CONEXIÓN CON...  
ASTRONOMÍA

Los telescopios refractores tienen el inconveniente que producen cierto tipo de distorsión en la imagen, como es la aberración cromática, situación que produce la separación de la luz blanca en franjas de colores. Es por eso que no se construyen telescopios de tipo Galileo de grandes dimensiones. Los telescopios más grandes del mundo (muchos de los cuales se encuentran en el norte de nuestro país) son telescopios reflectores, como los estudiados en la página 71, en ellos entre mayor sea el diámetro del espejo, mayor cantidad de luz captan, sin producir deformaciones en la imagen.



Lo que hicieron en la actividad anterior es la base del funcionamiento del telescopio más sencillo. **Galileo** construyó el primer telescopio para observar objetos estelares (la Luna, Saturno, etc.), pero cambiando la lente ocular por una lente divergente. A este telescopio se le conoce como telescopio refractor o “tipo Galileo”. En el esquema siguiente se puede apreciar el funcionamiento del telescopio de Janssen.



- Como el objeto se encuentra muy lejano, los rayos viajan paralelos entre sí, refractándose en la lente objetivo y formando una imagen invertida, muy cerca del foco del lente ocular.
- La imagen formada sirve de objeto para el lente ocular, el que amplifica por “efecto lupa”. Producto de lo anterior, el observador ve una imagen invertida y de mayor tamaño.

## INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

## Distancia en la formación de imágenes

### Observación

Al intentar formar imágenes con una vela y una lupa, nos podemos dar cuenta que para algunas distancias (entre la vela y la pantalla) no se forman imágenes. Respecto a esto se plantea lo siguiente: la distancia mínima para formar imágenes está relacionada con la distancia focal.

De la observación anterior se deduce que la distancia entre la pantalla y la fuente de luz son las variables a estudiar. ¿Cuál será la relación de ellas con el foco de la lente?, ¿será mayor la distancia mínima si el foco es pequeño?, ¿será al revés? Plantea una hipótesis al respecto, te puedes ayudar haciendo un esquema de los rayos y luego averigua si se cumple, siguiendo el siguiente procedimiento.

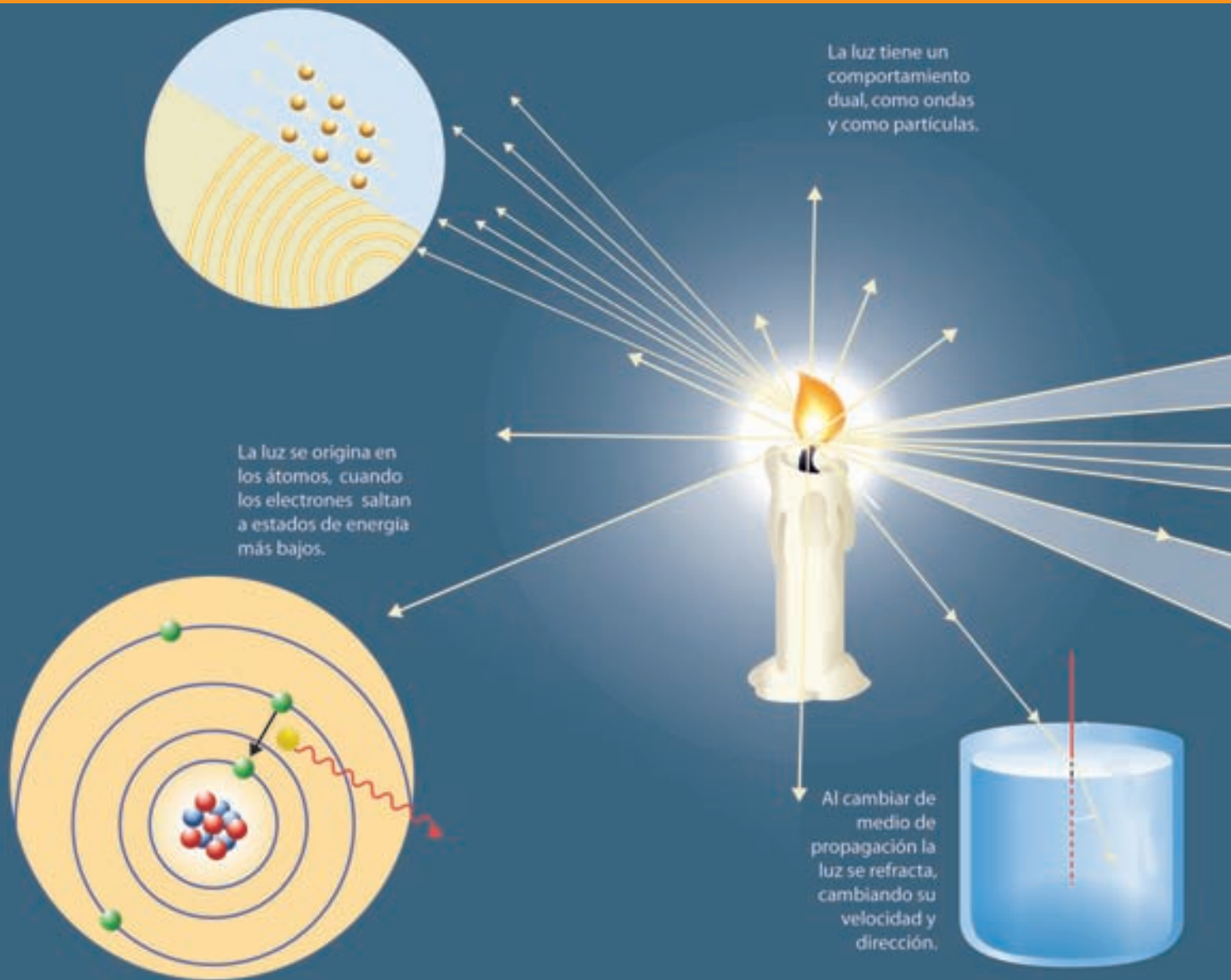
### Procedimiento

Formen grupos de tres o cuatro integrantes y consigan los siguientes materiales: una vela o una lámpara de pie, tres lupas de distinto tamaño, una regla o huincha de medir.

1. Usando el método de la actividad 7 (pág. 69), comprueben que las tres lentes tengan distinta distancia focal y midanla para cada una de ellas.
2. Pongan la fuente luminosa a unos 20 cm de distancia de la pantalla (puede ser un muro).
3. Elijan una de las lentes y corroboren que a esa distancia no se puede formar imagen. En caso contrario, acerquen aún más la fuente a la pantalla, hasta que ocurra aquello.
4. Alejen lentamente la fuente luminosa y vayan cambiando la ubicación de la lupa, hasta que se logre formar la primera imagen. Midan la distancia entre la fuente y la pantalla.
5. Repitan el procedimiento anterior para cada una de las lentes y registren sus resultados en una tabla donde se indique la distancia focal y la distancia mínima para formar imágenes.

### Análisis

- a. ¿Qué ocurre con la formación de imágenes una vez que superan la distancia mínima?
- b. Observen con atención los datos de la tabla, ¿se comporta el fenómeno como supusieron al principio?
- c. ¿Cuáles fueron las mayores dificultades experimentales? Elaboren una lista de consejos pensando en un grupo que aún no ha realizado el experimento.



LÍNEA DE TIEMPO



325-265 a. C.

Los griegos estudian la naturaleza. Predomina la razón. La sociedad ateniense estaba dividida en hombres libres y esclavos.



1564-1642

El Humanismo se manifiesta en un afán de conocimiento, observación de la naturaleza y búsqueda.



1601-1665

A fines del siglo XVII comienzan los grandes cambios económicos y sociales que llevarán luego a la Revolución Industrial.



1629-1695

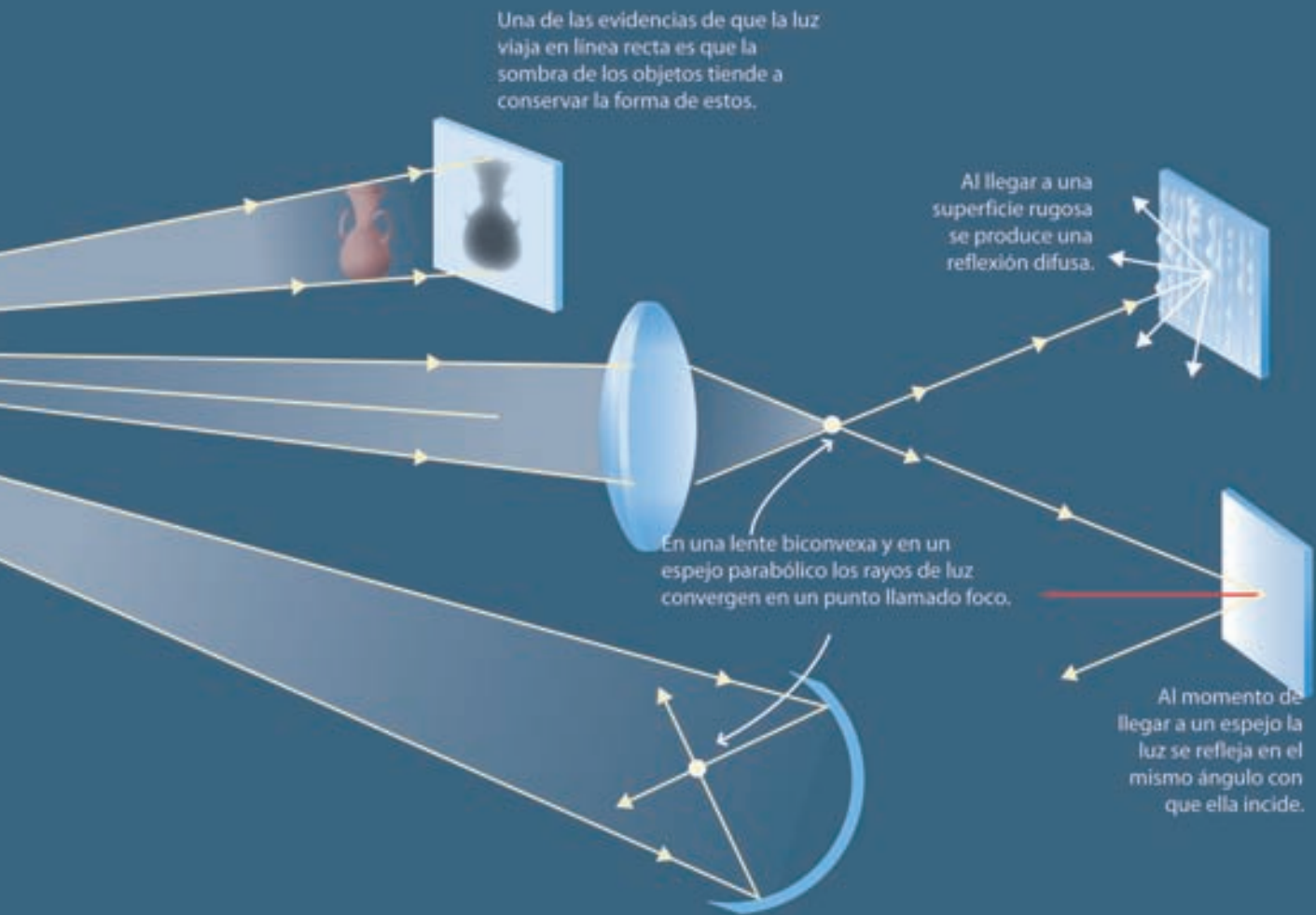
Alrededor del 300 a. C. Euclides plantea siete postulados sobre óptica, entre ellos la propagación rectilínea de la luz y la ley de reflexión.

A comienzos del 1600 Galileo perfeccionó el primer telescopio refractor.

A mediados del 1600 Fermat postula que el trayecto que sigue la luz es tal que emplea el mínimo tiempo en recorrerlo.

A fines del 1600 Huygens propone la teoría ondulatoria de la luz.





## LÍNEA DE TIEMPO



1644-1710

En toda Europa reina la monarquía absoluta. La base de la economía es la agricultura.

Roemer, en 1675, mide por primera vez la velocidad de la luz mediante las lunas de Júpiter.



1643-1727

Newton estudió la dispersión de la luz y en 1704 publica su libro *Opticks* donde plantea que la luz está compuesta por partículas.



1773-1829

A comienzos del 1800 surge el comercio como base de la economía.

En 1801, Young demuestra la naturaleza ondulatoria de la luz.



1858-1947

Durante los primeros años del siglo XX se vive la llamada revolución estética.

A comienzos del siglo XX, Max Planck postula que la luz y toda radiación electromagnética es energía cuantizada. Nace así una nueva rama de la Física, la mecánica cuántica.



### ¿Cuánto avancé?

Regresa a la página 52 y resuelve nuevamente la evaluación diagnóstica. ¿Cómo fueron tus logros con respecto a la evaluación anterior?

### Comprendo

Resuelve las siguientes preguntas:

1. Señala un argumento en contra y otro a favor de la teoría corpuscular de la luz y de la teoría ondulatoria.
2. ¿Por qué Galileo no pudo determinar la velocidad de la luz con el método experimental que ideó?
3. Se sabe que una cierta sustancia transparente reduce en un 40 % el valor de la velocidad de la luz en el vacío, ¿cuál es el índice de refracción de aquella sustancia?
4. Al interior de un átomo de sodio un electrón salta de una órbita a otra, emitiendo una luz de longitud de onda de 589 nm, al respecto se puede afirmar que:
  - I. pasa a una órbita de menor energía.
  - II. se aleja del núcleo atómico.
  - III. se acerca al núcleo atómico.

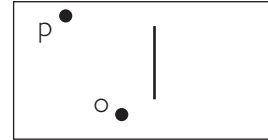
a. Todas.      b. Solo I.      c. I y II.      d. I y III.      e. Solo III.
5. ¿Cuál(es) de la(s) siguientes afirmaciones es(son) verdadera(s) con respecto a un espejo plano?
  - I. Produce una imagen real.
  - II. Produce una imagen virtual.
  - III. Produce inversión especular.

a. Solo I.      b. Solo II.      c. I y II.      d. II y III.      e. II y III.
6. Se ubica un objeto frente a un espejo convexo a una distancia igual al centro de curvatura. Realiza un esquema de la situación y determina qué tipo de imagen se forma y en qué posición.
7. Un estudiante observa una piedra en el fondo de una piscina. Copia el esquema en tu cuaderno y dibuja la trayectoria que sigue uno de los rayos que permite al observador ver la piedra, señalando claramente el rayo incidente y el refractado.



## Análisis

1. La línea de la derecha representa un espejo. Dibuja cuidadosamente la trayectoria del rayo luminoso que partiendo de O, incide en el espejo y se refleja pasando por P.



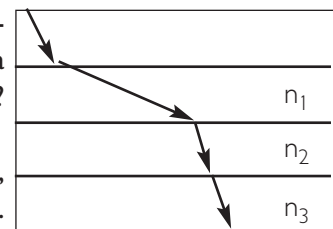
2. ¿Cuál de las siguientes imágenes es posible utilizando un espejo plano?

- Real y derecha.
- Virtual y reducida.
- Virtual y aumentada.
- Real y aumentada.
- Virtual y de igual tamaño.

3. ¿Cuál(es) de estas afirmaciones respecto de un espejo cóncavo es(son) verdadera(s)?

- Si un objeto emisor de luz (una ampollita por ejemplo), se coloca en el punto focal del espejo, entonces, los rayos de luz reflejados saldrán paralelos entre sí respecto del eje óptico del espejo.
  - Una aplicación de los espejos cóncavos se encuentra en las antenas parabólicas, donde el receptor de las ondas se ubica justo en el punto focal de la antena.
  - Un objeto real ubicado entre el espejo y su punto focal proyectará siempre una imagen más grande de él y derecha.
- Todas.
  - II y III.
  - I y III.
  - I y II.
  - Ninguna.

4. Un rayo de luz pasa sucesivamente por tres medios transparentes de diferentes índices de refracción, tal como lo muestra la figura. Basándote en la información del dibujo, ¿cuál de los medios tiene menor índice de refracción?



5. Realiza un esquema que incluya objeto, rayos principales, espejo cóncavo, eje óptico y foco, en que se genere una imagen virtual, derecha y más grande.

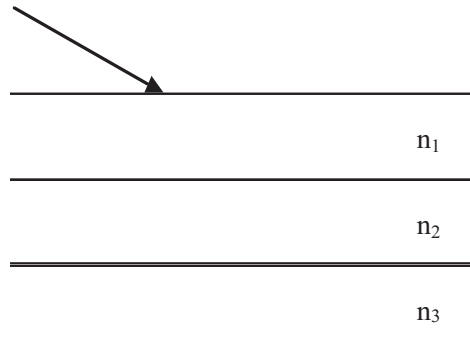
6. Un tipo de telescopio refractor utiliza dos lentes biconvexas y captura los rayos que vienen paralelos desde una fuente muy lejana. ¿Qué ocurriría si el objeto luminoso fuera una vela y estuviese situada en el medio de las dos lentes? Dibuja la situación para un ocular de la mitad de distancia focal que el objetivo.
7. Diseña un sistema de lentes que sea capaz de proyectar en una pantalla una imagen derecha y ampliada. Realiza un esquema y traza los rayos principales.

Aplico

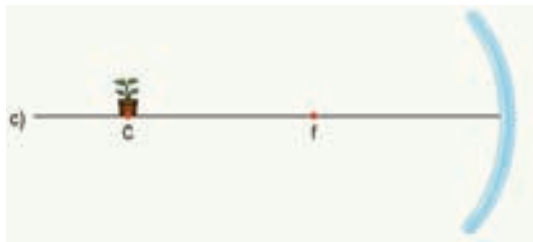
1. Señala tres evidencias experimentales que apoyen la idea de la propagación rectilínea de la luz.

2. Describe un breve método experimental para demostrar la difracción de la luz. ¿Por qué motivo no es tan sencillo observar ese fenómeno en la vida cotidiana?

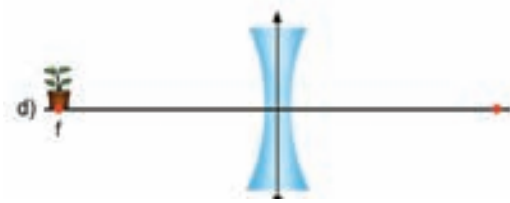
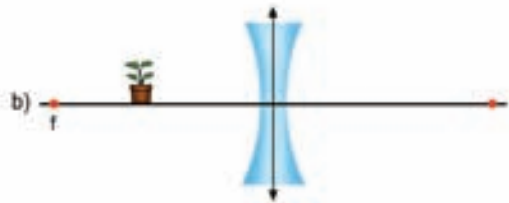
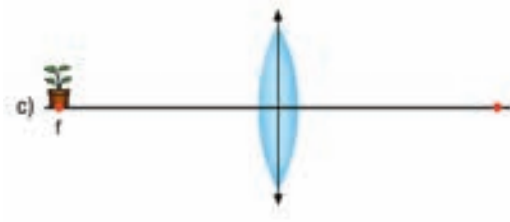
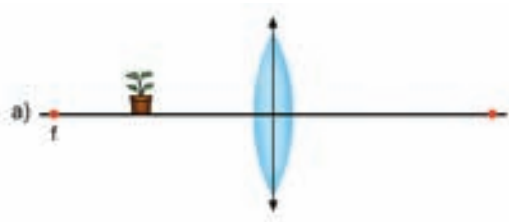
3. Copia el siguiente dibujo en tu cuaderno y completa el trazado de rayos, de manera que, respetando la ley de refracción, se evidencie que  $n_3 > n_2 > n_1$  (considera que el rayo antes de entrar al primer medio, viaja a través del vacío).



4. Copia en tu cuaderno los siguientes diagramas y utilizando los rayos principales, determina dónde se forma la imagen. Considera que se trata de espejos de sección circular.



5. Los siguientes esquemas representan lentes refractoras. Cópialos en tu cuaderno y, utilizando los rayos principales, dibuja la imagen resultante.



## Refracción de la luz en los líquidos

### Antecedentes

Se sabe que los líquidos tienen un índice de refracción mayor que el aire, y por tanto, podría ser factible conocer qué sustancias de uso cotidiano (aceite, agua potable, agua salada, jabón...) tienen mayor o menor índice de refracción a través de un análisis comparativo entre ellos.

### 1. Objetivo

El objetivo del proyecto es realizar un montaje experimental que, como resultado, permita comparar el índice de refracción de distintas sustancias de uso cotidiano.

### 2. Planificación

Siempre es necesario utilizar un método para resolver un problema.

En el planteamiento de este procedimiento particular, deberías buscar o diseñar un recipiente que permita contener los distintos líquidos que vas a utilizar. Para la elección del recipiente debes pensar qué fenómeno esperas observar para determinar qué medio es más refractor que otro.

Además, es importante que elijas las sustancias que usarás, pensando que para que sea notoria la diferencia entre ellos, deben tener cualidades distintas, y que elijas una fuente de luz que te facilite la experiencia y que tenga propiedades que te permitan su manipulación.

Algunas preguntas que podrían orientar el planteamiento del procedimiento serían:

- ¿Qué cambios esperas observar en el rayo de luz que utilices?
- ¿Qué otros materiales o instrumentos te facilitarían medir los cambios esperados?
- ¿Qué cualidades distintas crees que podrían tener los líquidos, para que sea notoria su diferencia de índice de refracción?
- ¿Dónde y cómo registrarás la información?

### 3. Ejecución

Una vez planificado el trabajo, puedes realizar la experiencia, teniendo especial cuidado en la manipulación de los materiales, al igual que en otros factores que puedan incidir y que no habías pensado. Registra tus resultados.

### 4. Evaluación y análisis

Una vez finalizada la recolección de los datos, ordénalos de manera que permitan establecer una jerarquía entre ellos. Puedes evaluar tu procedimiento a través de una pauta de cotejo donde se compare lo esperado con lo logrado.

### 5. Proyección

A partir de tus resultados, idea alguna utilidad que puedan tener en la vida cotidiana. Piensa en una posible ampliación de tu proyecto, considerando, por ejemplo, medir con mayor precisión los resultados experimentales, o el diseño de un experimento que te permita medir el índice de refracción en sólidos y gases.