



# La energía de las ondas

1. Propagación y clasificación de las ondas	102
2. Magnitudes características de las ondas	104
3. Algunos fenómenos ondulatorios	106
4. El sonido	108
5. La luz. Reflexión de la luz	111
6. La luz. Refracción de la luz	113
7. Evaluación	115

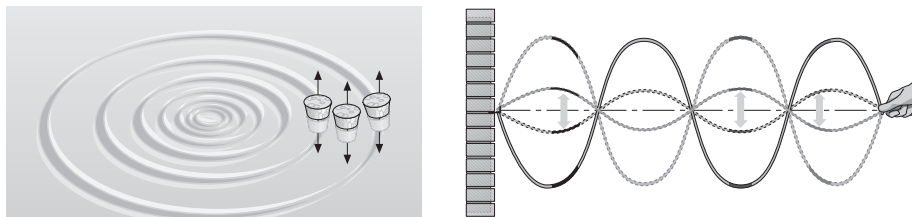
## 1. Propagación y clasificación de las ondas (I)

Cuando lanzamos una piedra a un estanque, se forman ondas que se propagan por la superficie del agua. Si en el estanque hay unos corchos flotando, observaremos que suben y bajan, pero que no se desplazan de su sitio.

Si provocamos sacudidas en el extremo de una cuerda, estas se propagan por la cuerda en forma de ondas.

Las diferentes partes de la cuerda suben y bajan pero, cuando las sacudidas finalizan, aquellas permanecen en su sitio.

El **movimiento ondulatorio** es una forma de transmitir energía sin que exista transporte de materia.



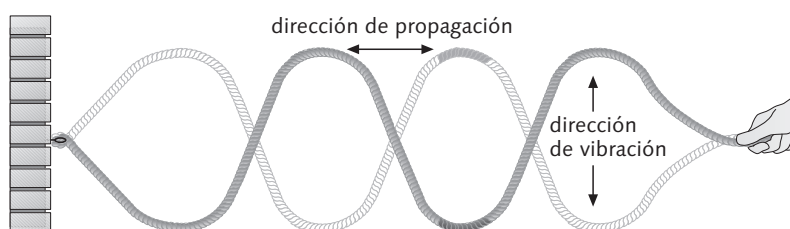
### Clasificación de las ondas

#### Criterio de clasificación 1:

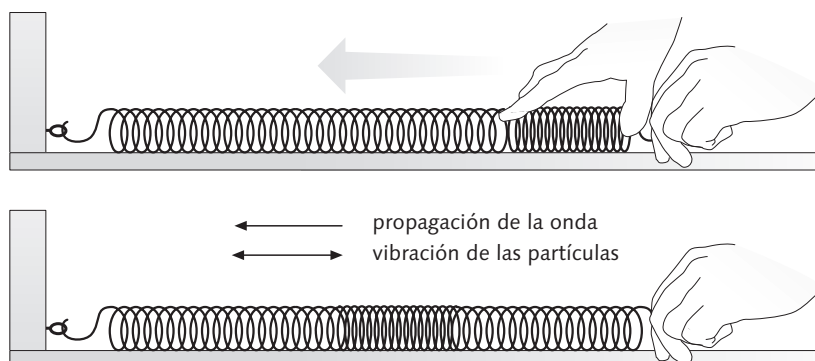
- **Ondas mecánicas:** necesitan un medio para propagarse; por ejemplo, las ondas en el agua o en las cuerdas, el sonido, etc.
- **Ondas electromagnéticas:** se propagan en el vacío; la luz, la radiación ultravioleta, los infrarrojos, las microondas, etc., son ejemplos de ondas electromagnéticas.

#### Criterio de clasificación 2:

- **Ondas transversales:** la dirección de la vibración de las partículas del medio y la dirección de la propagación de la onda son perpendiculares. Por ejemplo, las ondas en el estanque o en una cuerda.

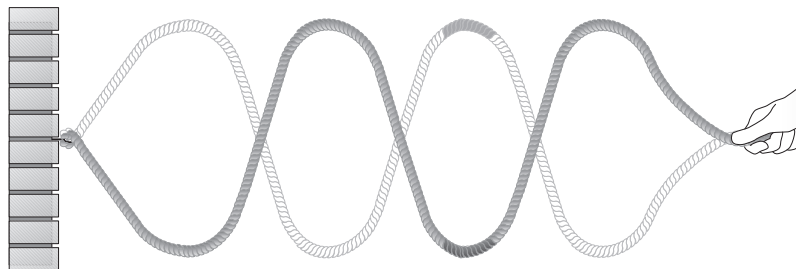


- **Ondas longitudinales:** la dirección de la vibración de las partículas del medio y la dirección de la propagación de la onda coinciden. Por ejemplo, si comprimimos algunas espiras de un muelle que está sujeto por uno de sus extremos y soltamos las espiras, observaremos que la compresión de las espiras se propaga por el muelle.



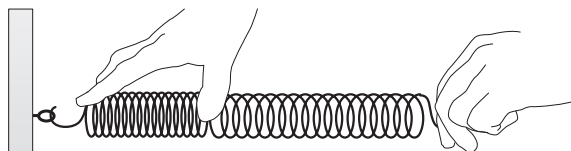
## Actividades

1 Observa el dibujo y contesta las preguntas:



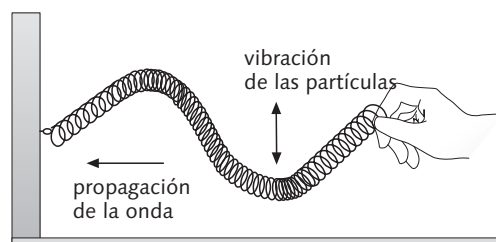
- Indica con una flecha vertical cuál es la dirección de vibración de los puntos de esta cuerda y con una flecha horizontal cuál es la dirección de propagación de la onda.
- Explica por qué se trata de una onda mecánica.
- Justifica por qué se trata de una onda transversal.

2 Observa el dibujo y contesta las preguntas:



- Indica con una flecha horizontal cuál será la dirección de vibración de las espiras del muelle y con otra flecha horizontal cuál será la dirección de propagación de la compresión a lo largo del muelle.
- Explica por qué esta onda es material y no electromagnética.
- Justifica que clasifiquemos a esta onda como onda longitudinal.
- Dibuja cómo avanza la compresión de las espiras del muelle desde el extremo que está sujeto a la pared hasta el extremo libre.

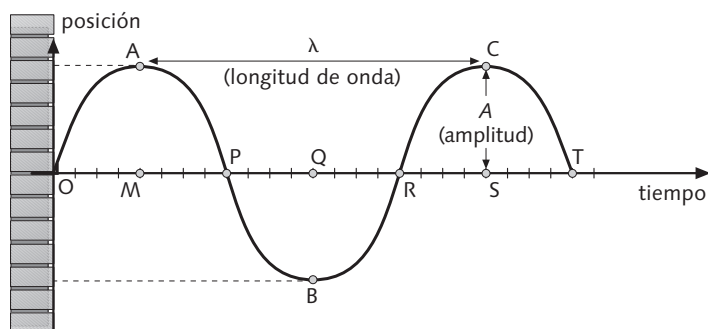
3 Quieres demostrarle a un compañero que las ondas en los muelles también pueden ser transversales y, para ello, sujetas un muelle por un extremo y provocas una sacudida en el otro extremo, como si se tratara de una cuerda:



Indícale a tu compañero cómo son entre sí las direcciones de vibración y de propagación en esta onda.

## 2. Magnitudes características de las ondas (I)

Imagina que quieres representar la posición de una de las sacudidas de la cuerda en un instante de tiempo determinado. Realizaríamos un dibujo así:



La **amplitud**,  $A$ , es la separación máxima que alcanza desde la posición de equilibrio cada uno de los puntos de la cuerda. La distancia  $MA$  mide la amplitud esta onda y se expresa en metros.

La **longitud de onda**,  $\lambda$ , es la distancia que separa dos puntos consecutivos de una onda que estén vibrando de idéntica manera. Se expresa en metros.

Los puntos  $O$  y  $R$  están al comienzo de una vibración de la onda; la distancia entre ellos es una longitud de onda.

Los puntos  $P$  y  $T$  están en la mitad de la vibración de la onda; la distancia entre ellos es una longitud de onda.

Los puntos  $O$  y  $P$  no están vibrando de idéntica manera y la distancia entre ellos no es una longitud de onda.

### Actividades

- 1 Indica otras dos distancias en este dibujo que correspondan a la amplitud de la onda.
- 2 Explica si los puntos de esta cuerda señalados como  $P$ ,  $R$  y  $T$  están en la posición de equilibrio o en la de amplitud.
- 3 ¿Están los puntos  $P$  y  $R$  separados por una longitud de onda? ¿Por qué?
- 4 Dibuja una onda, indica en ella la distancia a la que corresponde su amplitud y señala dos puntos que estén separados por una longitud de onda.

## 2. Magnitudes características de las ondas (II)

El **período,  $T$** , es el tiempo que tarda la perturbación en recorrer una longitud de onda completa. Se expresa en segundos, s. Recuerda que el período y la **frecuencia,  $f$** , son magnitudes inversas y que la frecuencia se mide en hercios, Hz.

$$\text{frecuencia} = \frac{1}{\text{período}}$$

La **velocidad de propagación,  $v$** , es la distancia que la onda recorre en la unidad de tiempo. Se expresa en m/s.

$$\text{velocidad} = \frac{\text{espacio}}{\text{tiempo}}$$

$$\text{velocidad} = \frac{\text{longitud de onda}}{\text{período}}$$

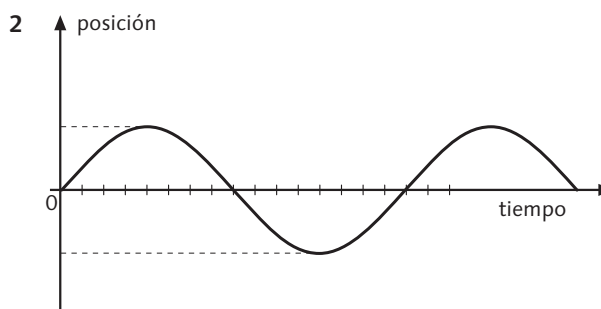
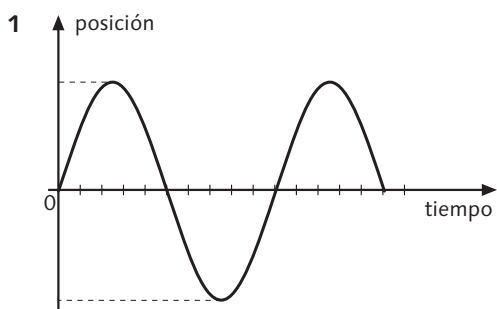
**5** Indica si la siguiente afirmación es verdadera o falsa:

En nuestro dibujo, el período es el tiempo en el que la onda avanza desde O hasta T.

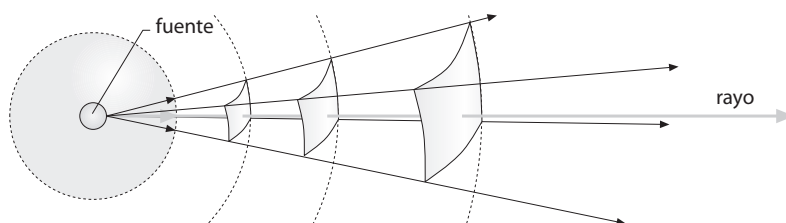
**6** Averigua la frecuencia de una onda cuyo período es de 10 s.

**7** Calcula la velocidad con la que se propaga una onda por una cuerda si su longitud de onda es de 1 m y su período de 0,1 s.

**8** ¿Cuál de estas dos ondas tiene mayor amplitud? ¿Cuál tiene mayor longitud de onda?



Por comodidad, las ondas se suelen representar por **rayos**. Los rayos son líneas rectas que indican la dirección de propagación de la onda.

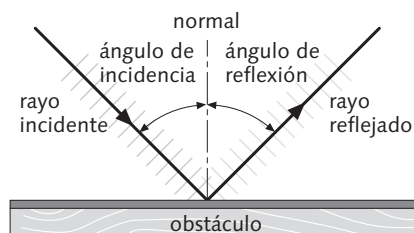


### Reflexión de las ondas

La reflexión es el cambio de dirección que experimenta una onda al chocar contra una superficie lisa sin atravesarla.

Como la onda incidente y la reflejada se propagan en el mismo medio, ambas tienen la misma velocidad.

Observa en el dibujo cómo el rayo incidente llega a la superficie, rebota en ella y sale como rayo reflejado en otra dirección. La normal es una línea imaginaria que se traza perpendicularmente a la superficie en el punto al que llega el rayo incidente.



El ángulo de incidencia (formado por el rayo incidente y la normal) y el ángulo de reflexión (formado por la normal y el rayo reflejado) son iguales.

### Actividades

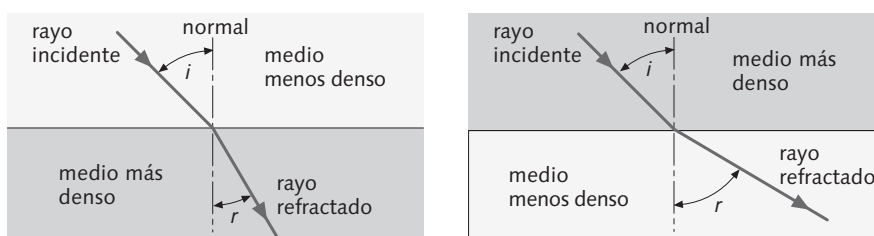
- 1 Dibuja una superficie lisa a la que llega un rayo incidente que forma  $45^\circ$  con la normal. Identifica con palabras en el dibujo estos tres elementos.
- 2 Indica en la actividad anterior qué ángulo forma el rayo reflejado con la normal. Identifica en el dibujo con palabras estos dos nuevos elementos.
- 3 Si un rayo incidente forma un ángulo de  $30^\circ$  con la normal, averigua qué ángulo forman entre sí los rayos incidente y el reflejado. Realiza un dibujo que explique tu resultado.

### Refracción de las ondas

La refracción es el cambio de dirección que experimenta una onda al penetrar en un medio en el que se propaga con distinta velocidad.

Cuando el rayo incidente llega a la superficie de separación de los dos medios y penetra en el segundo medio, se desvía, es decir, cambia de dirección.

- Si la onda pasa de un medio en el que se propaga a más velocidad (medio menos denso) a otro en el que se propaga a menos velocidad (medio más denso), el rayo refractado se acerca a la normal, es decir, el ángulo de refracción es más pequeño que el de incidencia.
- Si la onda pasa de un medio en el que se propaga a menos velocidad (medio más denso) a otro en el que se propaga a más velocidad (medio menos denso), el rayo refractado se aleja de la normal, es decir, el ángulo de refracción es mayor que el de incidencia.



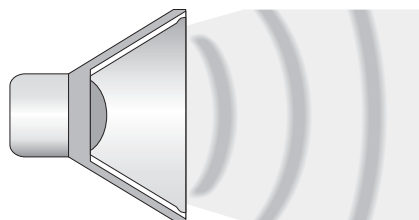
- 4 Dibuja una superficie de separación de dos medios, 1 y 2, a la que llega un rayo incidente que forma  $30^\circ$  con la normal. Indica con palabras en el dibujo todos estos elementos.
- 5 Supón que en la actividad anterior la onda se propaga con más velocidad en el medio 1 que en el medio 2. Dibuja el rayo refractado y el ángulo de refracción. Identifica en el dibujo con palabras estos dos nuevos elementos.
- 6 En esta página web, [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/56\\_ondas/](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/56_ondas/), puedes realizar las siguientes actividades interactivas:
- Laboratorio I:** medida de las magnitudes características de una onda.
- Laboratorio II:** comprobación de las leyes de la reflexión.
- Laboratorio III:** comprobación de las leyes de la refracción.

El sonido tiene su origen en la vibración de los cuerpos.

El sonido es una onda **mecánica y longitudinal**.

## Actividades

- 1 ¿Qué es lo que caracteriza a una onda mecánica?
- 2 ¿Crees que el sonido se puede propagar en el vacío?
- 3 ¿Qué es lo que caracteriza a una onda longitudinal?
- 4 Observa este dibujo de un altavoz. La membrana del altavoz vibra hacia delante y hacia atrás y comprime y dilata las capas de aire que están en contacto con ella.



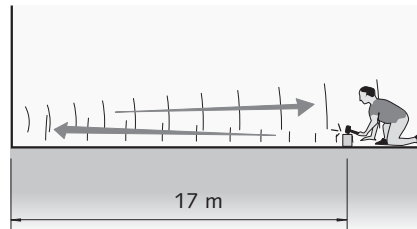
- a) Identifica las compresiones y dilataciones del aire en este dibujo. Representa mediante una flecha horizontal la dirección de vibración de la membrana del altavoz y mediante otra flecha horizontal la dirección de propagación de las compresiones y dilataciones del aire.
  - b) Explica con este dibujo por qué el sonido es una onda longitudinal y no transversal.
- 5 La velocidad del sonido en el aire es de 340 m/s. Averigua qué distancia recorre una onda sonora en 0,1 s.



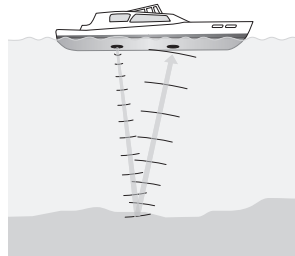
### Reflexión del sonido

La reflexión del sonido en una superficie da lugar al **eco**. El oído humano es capaz de distinguir dos sonidos si los escucha con una diferencia de tiempo de 0,1 s.

- 6 Para que exista eco, la superficie reflectante debe estar situada como mínimo a 17 m de quien escucha, para que el sonido pueda recorrer en 0,1 s los 34 m del camino de ida y vuelta. Explica este fenómeno sabiendo que la velocidad del sonido es 340 m/s.



- 7 La velocidad del sonido en el agua del mar es 1 531 m/s. Un buque manda una señal de sonar al fondo del mar que se encuentra a 100 m de profundidad. ¿Cuánto tiempo tarda la onda sonora en ir y volver?



### Cualidades del sonido

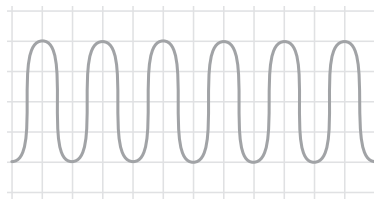
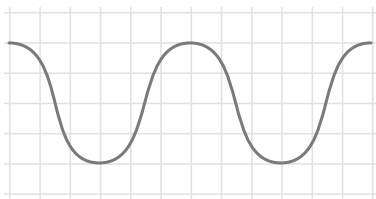
La **intensidad física** es la potencia por unidad de superficie y se mide en  $W/m^2$ . La intensidad depende de la amplitud de la onda y permite clasificar los sonidos en fuertes y débiles.

El **nivel de intensidad sonora o sonoridad** es la sensación que se produce en el oído al percibir la intensidad física. La intensidad sonora se mide en **decibelios**. El umbral de audición corresponde a 0 dB y el umbral del dolor a 120 dB.

El **tono** depende de la frecuencia del sonido y permite clasificar los sonidos en agudos (frecuencias grandes) y graves (frecuencias pequeñas).

El **timbre** permite distinguir dos sonidos de la misma intensidad y tono, pero emitidos por diferentes fuentes sonoras.

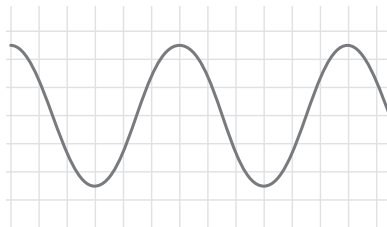
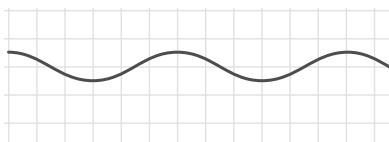
- 8 Distingue cuál de estos dos sonidos tiene un tono grave y cuál un tono agudo.



- 9 ¿Qué cualidad del sonido nos permite distinguir una misma nota musical (igual intensidad y tono) emitida por un violín o por una trompeta?

- 10 Busca información acerca de la diferencia que existe entre los infrasonidos y los ultrasonidos.

- 11 Indica cuál de estos dos sonidos tiene mayor intensidad física.



- 12 Entrégale a tu profesor un archivo sonoro que contenga: **a)** un sonido fuerte y otro débil; **b)** un sonido agudo y otro grave; **c)** la misma nota musical emitida por dos instrumentos diferentes.

- 13 La contaminación acústica se genera por el ruido y afecta a la calidad de vida de los seres humanos.

**a)** Busca definiciones de ruido.

**b)** Haz un informe acerca de los efectos fisiológicos y psicológicos de la contaminación acústica.

La luz es una onda **electromagnética** y **transversal**.

La luz se propaga en línea recta con una velocidad de 300 000 km/s.

## Actividades

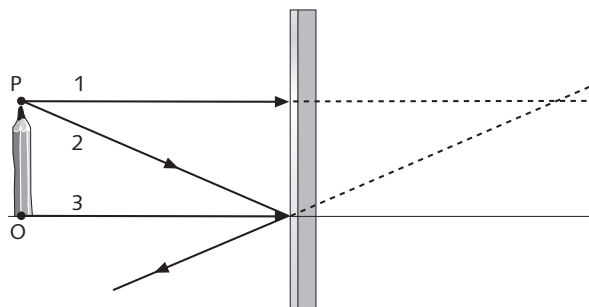
- 1 ¿Qué es lo que caracteriza a una onda electromagnética?
- 2 ¿Crees que la luz se puede propagar por el vacío?
- 3 ¿Qué es lo que caracteriza a una onda transversal?
- 4 El Sol está a  $1,5 \cdot 10^8$  km de la Tierra. Calcula cuántos segundos y cuántos minutos tarda en llegar la luz del Sol a la Tierra.

## La reflexión de la luz en los espejos planos

La **reflexión de la luz** es el cambio de dirección que experimenta un rayo luminoso al chocar contra la superficie de un espejo, de modo que el rayo reflejado sigue propagándose por el mismo medio.

La imagen de un espejo plano es **virtual**, es decir, está al otro lado del espejo.

- 5 Observa este dibujo. Los rayos 1 y 3 llegan perpendiculares a la superficie del espejo. El rayo 2 llega formando cierto ángulo de incidencia con la normal. Las prolongaciones de estos tres rayos forman la imagen del lápiz al otro lado del espejo. Dibuja esta imagen.



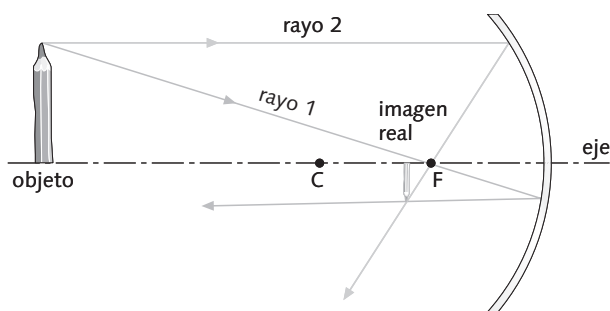
- 6 Escribe tu nombre tal y como se vería reflejado en un espejo plano.

### La reflexión de la luz en los espejos esféricos

Los espejos esféricos son superficies esféricas, lisas y pulimentadas por su cara interior (espejo cóncavo) o por su cara exterior (espejo convexo).

En el espejo cóncavo, los rayos que llegan paralelos al eje del espejo convergen en un punto que se llama **foco del espejo**.

Para formar la imagen en un espejo cóncavo, seguimos estos pasos.

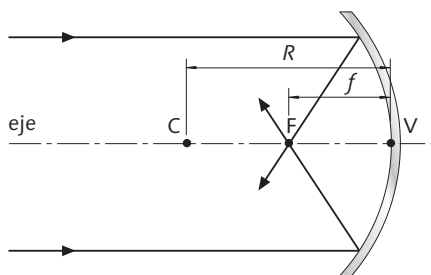


El rayo 1 sale de la parte superior del lápiz, pasa por el foco, F, y se refleja en el espejo saliendo paralelo al eje.

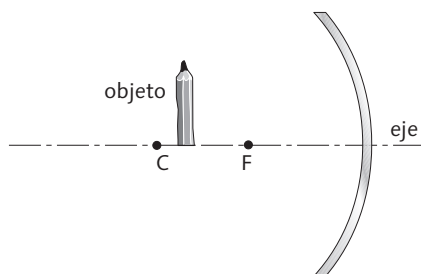
El rayo 2 sale de la parte superior del lápiz, paralelo al eje y se refleja en el espejo pasando por el foco.

La imagen se forma en el punto donde se cruzan los dos rayos reflejados. En este caso, la imagen del lápiz es invertida y de menor tamaño que el lápiz. Es una imagen **real**.

- 7** Observa cómo se reflejan en este espejo cóncavo dos rayos que llegan paralelos al eje del espejo. Dibuja otros cuatro rayos que lleguen al espejo en las mismas condiciones.



- 8** Traza los rayos 1 y 2 desde el lápiz hasta el espejo cóncavo y obtén su imagen. ¿Cómo es esta imagen, derecha o invertida, menor o mayor?



## 6. La luz. Refracción de la luz (I)

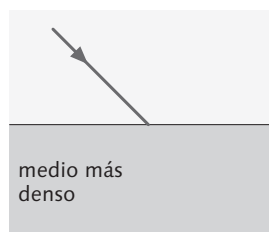
Cuando la luz se propaga por un medio transparente distinto del vacío o el aire, lo hace siempre con una velocidad menor.

La **refracción de la luz** es el cambio de dirección que experimenta un rayo luminoso al pasar de un medio a otro por el que se propaga a distinta velocidad.

El **índice de refracción** de un medio,  $n$ , es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío o en el aire y la velocidad de la luz en ese medio. No tiene unidades.

$$n = \frac{\text{velocidad luz en el vacío}}{\text{velocidad luz en un medio}}$$

- 1** Un rayo de luz pasa del aire al agua, tal y como aparece en el dibujo. Dibuja la normal a la superficie de separación de ambos medios y el rayo refractado. Ten en cuenta que la velocidad de la luz en el agua es menor que en el aire.



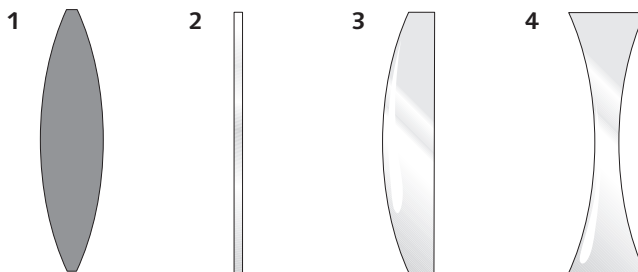
- 2** ¿Por qué, cuando introducimos una pajita en un vaso con agua, parece estar doblada? ¿Crees que este fenómeno está relacionado con la refracción de la luz?

- 3** Calcula la velocidad de la luz en el diamante si el índice de refracción de esta sustancia es 2,42.

### Lentes

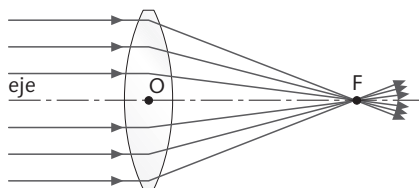
Una **lente** es un medio transparente, homogéneo e isótropo, limitado por dos superficies curvas, o por una plana y otra curva.

- 4** ¿Cuáles de estos objetos no pueden considerarse lentes? ¿Por qué?

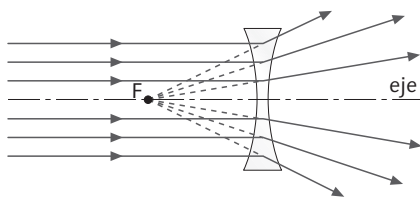


## 6. La luz. Refracción de la luz (II)

Una lente es convergente cuando está curvada hacia afuera y es divergente cuando está curvada hacia dentro.



Cuando un conjunto de rayos paralelos incide perpendicularmente en una lente convergente, estos atraviesan la lente y son desviados hacia un punto que llamamos **foco**.



Si la lente es divergente, los rayos atraviesan la lente y salen separados. En este caso el foco es virtual, porque se forma por las prolongaciones de los rayos.

- 5 Clasifica estas lentes en convergentes y divergentes.



1



2



3



4

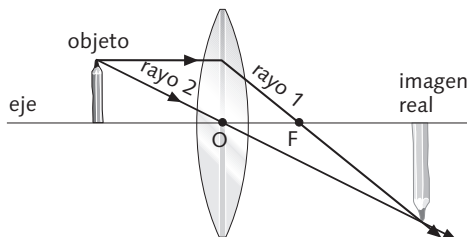


5

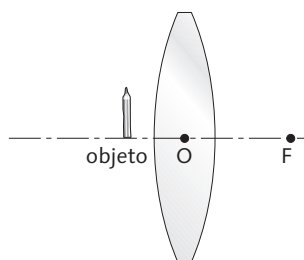


6

- 6 Observa cómo se forma una imagen real con una lente convergente. Describe las trayectorias que siguen el rayo 1 y el rayo 2 en esta lente. Explica cómo es la imagen que se ha formado, real o virtual, derecha o invertida, mayor o menor.



- 7 Esta lente convergente actúa como una lupa. Describe las trayectorias que siguen el rayo 1 y el rayo 2 en esta lente. Explica cómo es la imagen que se ha formado, real o virtual, derecha o invertida, mayor o menor.



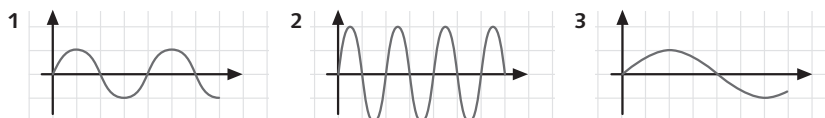
- 1** Responde verdadero o falso y escribe de forma correcta los enunciados que sean falsos:
- Las ondas mecánicas no pueden propagarse en el vacío.
  - La luz se propaga por el vacío al igual que el sonido.
  - En las ondas longitudinales, la dirección de vibración coincide con la dirección de propagación de la onda.
  - En las ondas transversales, la dirección de vibración coincide con la dirección de propagación de la onda.
  - En el movimiento ondulatorio se transmite energía sin que exista transporte de materia.
- 2** Clasifica las ondas siguientes en mecánicas, electromagnéticas, longitudinales y transversales: sonido, luz, ondas en la superficie del agua, ondas de compresión en muelles y ondas en las cuerdas.

- 3** Relaciona los conceptos de la columna izquierda con las definiciones que aparecen en la columna derecha.

Frecuencia	Separación máxima que alcanza desde la posición de equilibrio cada uno de los puntos de una onda.
Período	Distancia que separa dos puntos consecutivos de una onda que estén vibrando de idéntica manera.
Longitud de onda	Tiempo que tarda la perturbación en recorrer una longitud de onda completa.
Amplitud	Inversa del período.

- 4** Una onda se propaga con una velocidad de 20 m/s. Calcula su longitud de onda si su frecuencia es 50 Hz.

- 5** Observa estas tres ondas:



- ¿Cuál de ellas tiene mayor amplitud?
- Si ambas tienen igual velocidad, ¿cuál tiene mayor longitud de onda?

6 Un rayo incide sobre una superficie pulida formando un ángulo de  $25^\circ$  con la normal.

a) Dibuja el rayo reflejado.

b) ¿Cuánto vale el ángulo de reflexión?

c) ¿Qué ángulo forman entre sí el rayo incidente y el reflejado?

d) Explica si la onda incidente y la reflejada se propagan o no con la misma velocidad.

7 Completa estas frases relativas a las cualidades del sonido:

a) El \_\_\_\_\_ permite distinguir dos sonidos de la misma intensidad y tono, pero emitidos por diferentes fuentes sonoras.

b) La \_\_\_\_\_ es la potencia por unidad de superficie y se mide en  $W/m^2$ .

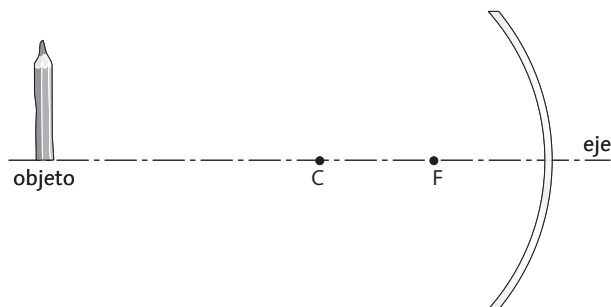
c) La \_\_\_\_\_ permite clasificar a los sonidos en fuertes y débiles.

d) El \_\_\_\_\_ es la sensación que se produce en el oído al percibir la intensidad física.

e) El umbral de audición corresponde a \_\_\_\_\_ dB y el umbral del dolor a \_\_\_\_\_ dB.

f) El \_\_\_\_\_ depende de la frecuencia del sonido y permite clasificar los sonidos en agudos y graves.

8 Dibuja la marcha de los rayos en un espejo cóncavo si el objeto (un lápiz) se encuentra más allá de su centro de curvatura. ¿Cómo es esta imagen, derecha o invertida, menor o mayor?



9 ¿Qué es el índice de refracción,  $n$ , de una sustancia? Calcula la velocidad de la luz en el cuarzo si el índice de refracción de esta sustancia es 1,46.

10 Un rayo de luz penetra desde el aire en el agua. Completa este dibujo e indica en cuál de estos dos medios se propaga la luz con menor velocidad.

