

Ondas y sonido

Unidad

1



> EN ESTA UNIDAD:

- **Conocerás y comprenderás:**
 - los elementos y propiedades características de las ondas;
 - la clasificación de las ondas, según su medio de propagación y dirección de vibración;
 - los fenómenos de interferencia de ondas.
 - el origen, la absorción, la reflexión y la transmisión del sonido;
 - características básicas del sonido: intensidad, tono y timbre;
 - el efecto Doppler;
 - el funcionamiento y la utilidad de algunos dispositivos tecnológicos que operan a base de ondas sonoras;
 - el rango de audición del ser humano.
- **Desarrollarás habilidades para:**
 - identificar las variables involucradas en un fenómeno físico;
 - manejar relaciones matemáticas básicas para explicar fenómenos físicos;
 - resolver ejercicios relacionados con velocidad, frecuencia y longitud de onda.
- **Desarrollarás actitudes para:**
 - apreciar el sentido de la audición en los seres humanos;
 - valorar en forma crítica la contaminación acústica e intentar paliarla, en la medida de lo posible;
 - reconocer la importancia de los fenómenos ondulatorios en la sociedad actual.



PARA COMENZAR...

Observa las situaciones representadas en las imágenes y luego responde las siguientes preguntas:

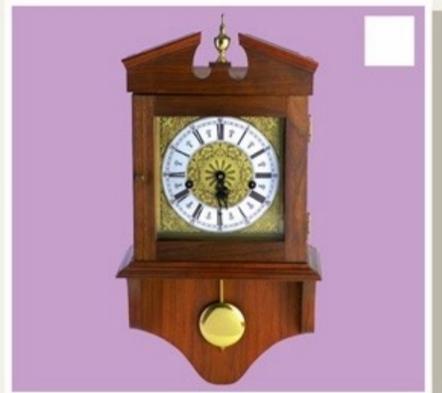
1. ¿Cuál o cuáles de las imágenes se relacionan con el concepto de onda?, ¿por qué?
2. ¿Qué origina el golpe a la bandeja de metal y el golpe en la mesa?
3. A partir de tus respuestas, plantea una hipótesis que explique lo ocurrido en cada situación.



Evaluación diagnóstica

1 Observa las siguientes imágenes y luego responde:

a. Marca con una X las imágenes que representan un movimiento periódico.



b. ¿Cuáles son las principales características de un movimiento periódico?

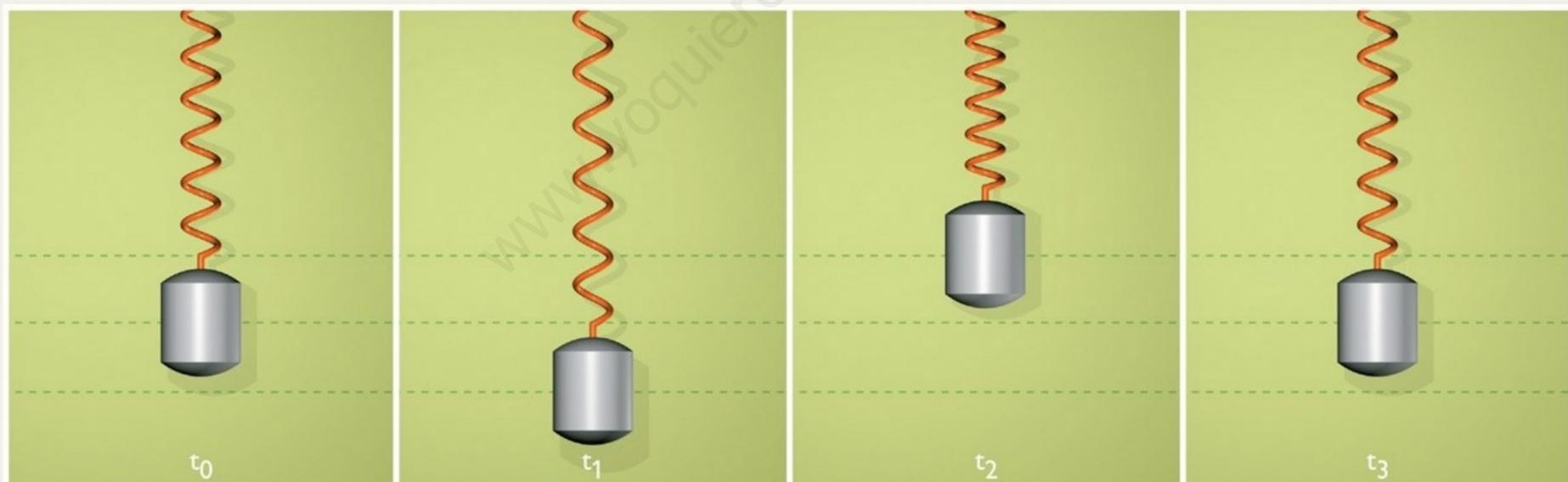
2 El limpiaparabrisas de un auto efectúa un movimiento periódico: en 20 segundos recorre 10 veces el parabrisas de lado a lado.

a. En tu cuaderno, realiza un esquema que represente una oscilación completa del limpiaparabrisas.

b. ¿Cuánto tiempo demora en completar una oscilación completa?

c. ¿Cuál es la frecuencia de oscilación del limpiaparabrisas?

3 Un objeto unido a un resorte comienza a oscilar como muestra la figura.



a. ¿A qué corresponde la amplitud de la oscilación del resorte?

b. ¿Cómo estimarías el período de oscilación del resorte?

c. ¿Qué ocurriría si dejas oscilar el resorte por un largo período de tiempo?

4 Una rueda realiza 2 vueltas en 1 segundo, ¿cuántas vueltas da en 4 segundos?, ¿cuál es su frecuencia de rotación?

5 Si lanzas una piedra en un estanque con agua observarás la formación de un pequeño oleaje en forma de circunferencias concéntricas que se van ensanchando. ¿Qué ha pasado en la superficie del agua?, ¿cuál de las alternativas explica lo ocurrido?

a. El agua de la superficie se mueve hacia la orilla del estanque.

b. El agua sube y baja en cada punto de la superficie.

c. Se crean corrientes de agua en la superficie.

6 Lee y observa la descripción de la siguiente experiencia y responde:

Dos personas se encuentran separadas por una distancia considerable y se ubican como muestra la imagen. Cuando una de ellas habla en voz baja dirigiéndose a la superficie del disco parabólico, la otra escucha su voz perfectamente. Si se sitúan a la misma distancia pero una frente a la otra y hablan en voz baja, ninguna de las dos escucha lo que la otra dice.



- ¿Cómo es posible que se escuche la voz de la otra persona cuando habla hacia el disco parabólico?
- ¿Qué ocurriría si ambas personas se dirigen hacia el punto medio entre los discos parabólicos?, ¿se continuaría escuchando lo mismo?
- A partir de tus respuestas plantea una hipótesis que explique este fenómeno.

Revisio

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

DESCRIPTOR	PREGUNTA	PUNTAJE
Identificar distintos tipos de movimientos periódicos en el entorno y señalar sus características.	1	
Reconocer y determinar la amplitud, el período y la frecuencia en movimientos periódicos.	2, 3, 4	
Formular posibles explicaciones o hipótesis acerca de los fenómenos en observación.	5 y 6	

1. Vibraciones u oscilaciones



En nuestro entorno, aunque no lo notemos, a cada instante ocurren infinidad de pequeñas vibraciones. Por ejemplo, cuando el viento mueve las ramas de los árboles, cuando una piedra golpea la superficie quieta de un charco de agua, cuando se pulsa la cuerda de una guitarra.

En términos generales, una **vibración** es el movimiento de un cuerpo de un lado para otro, en torno a un punto de equilibrio o punto central, que se repite en el tiempo. A este movimiento de ida y vuelta también se le conoce como **oscilación**. El **punto de equilibrio** corresponde a la posición de reposo en que se encuentra el cuerpo antes de empezar a vibrar.

Para que se produzca una vibración debe ocurrir una **perturbación** que altere el estado de reposo en el que se encuentra un cuerpo.

← ¿Cuál es la perturbación en cada caso? ¿Cómo es el movimiento que provoca?

> EXPERIMENTA Y ANALIZA

Realiza las siguientes experiencias y, luego, a partir de tus observaciones responde las preguntas propuestas.

1. Pon una regla de 30 cm en el borde de una mesa, dejando aproximadamente la mitad de esta en el aire. Sujeta firmemente el extremo que se encuentra sobre la mesa y con tu otra mano presiona suavemente hacia abajo el extremo libre de la regla, y luego suéltala.



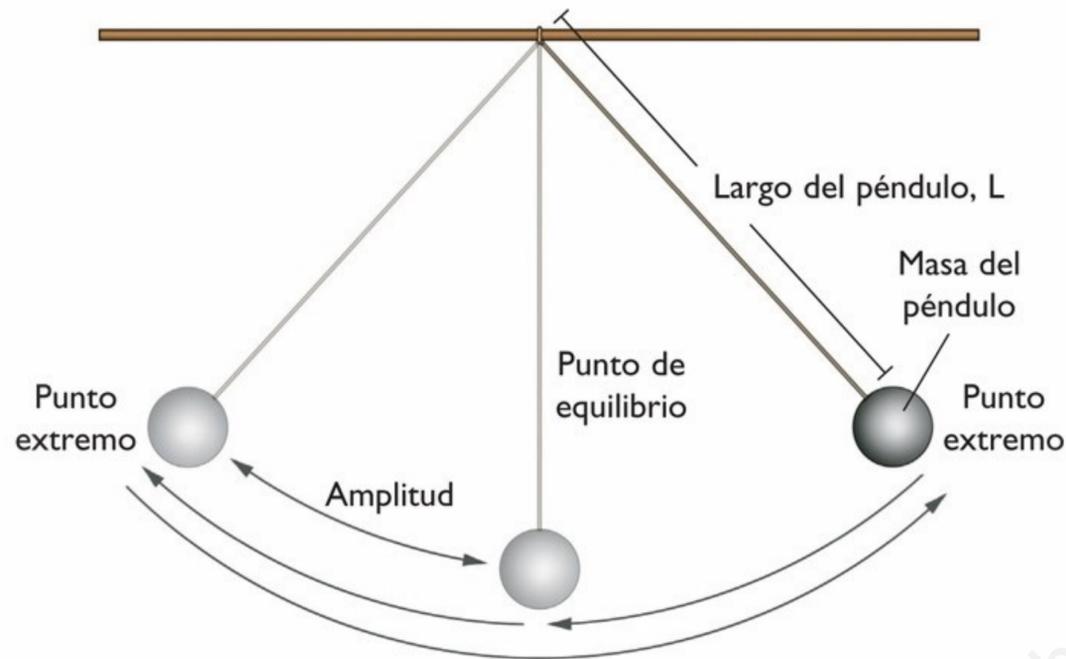
- a. ¿Cómo es el movimiento de la regla?
- b. ¿Cuál es el punto de equilibrio de la regla?
- c. ¿Cuál es la perturbación en esta experiencia?

2. Toma un recipiente de vidrio o plástico y llénalo con agua hasta la mitad. Espera que el agua esté en reposo y pon sobre el agua un corcho. Presiónalo suavemente con un dedo. Observa qué pasa. Mientras el agua esté en movimiento, pon un segundo corcho a cierta distancia del primero y observa.



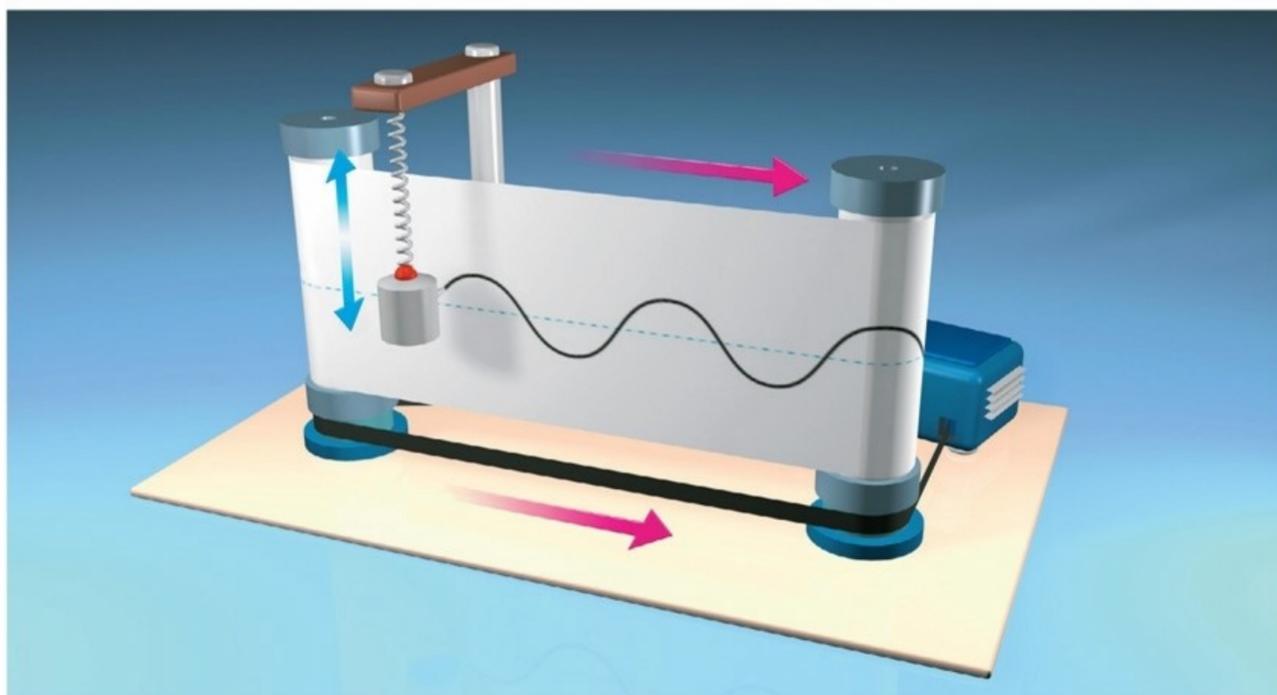
- a. ¿Qué ocurre en la superficie del agua al presionar el primer corcho?
- b. ¿Qué ocurre al poner el segundo corcho sobre el agua?, ¿por qué ocurre esto?
- c. ¿Cuál es la perturbación en esta experiencia?

Un cuerpo que oscila inicia su movimiento desde una posición específica, pasado cierto tiempo retorna al punto de partida realizando una **oscilación completa**, llamada usualmente **ciclo**. Por ejemplo, un péndulo en movimiento completará un ciclo cada vez que retorne al mismo punto extremo.



El péndulo está formado por una masa suspendida desde un punto fijo con un hilo o cuerda. El punto de equilibrio corresponde a la posición en reposo, y la amplitud es la máxima distancia que alcanza en cada oscilación desde el punto de equilibrio.

Cuando un cuerpo completa un ciclo y realiza en forma sucesiva nuevos ciclos, se habla de una **oscilación periódica**. Ejemplos de oscilaciones periódicas son: el movimiento de un péndulo, el movimiento de oscilación de un objeto atado a un resorte y la vibración de un punto de una cuerda de cualquier instrumento musical. Todo movimiento de vaivén, con oscilaciones periódicas, amplitud constante y cuya posición en función del tiempo describe una curva **senoidal** o **sinusoide**, recibe el nombre de **movimiento armónico simple**. Por ejemplo, si observáramos las oscilaciones periódicas de un resorte y, en distintos instantes de tiempo (t), midiéramos de forma precisa su posición desde el punto de equilibrio, podríamos observar que describe un movimiento armónico simple.



Al oscilar, el resorte describe una curva llamada senoide.

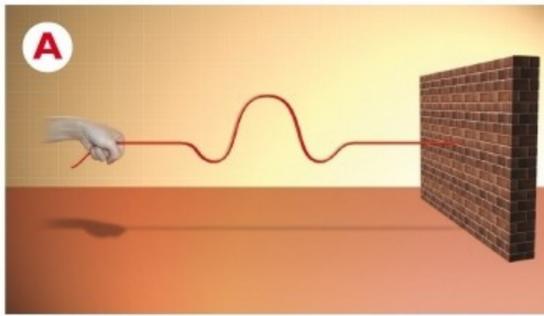
2. Ondas

Las vibraciones u oscilaciones que se desplazan o propagan en el espacio reciben el nombre de **ondas** o **movimientos ondulatorios**.

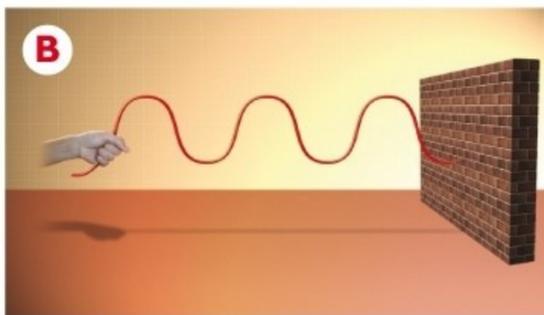
Por ejemplo, al atar una cuerda a una pared y moverla de arriba hacia abajo desde su extremo opuesto, se produce una **perturbación** que se propaga a lo largo de toda la cuerda. Al realizar varias veces este movimiento se genera una sucesión de perturbaciones, las cuales se propagan por la cuerda formando una onda. Es importante destacar que las ondas propagan solo **energía** de un lugar a otro, no materia. Esto se puede entender si pensamos en el movimiento que describe un bote en una bahía. El bote oscila de arriba abajo debido a la acción de las ondas que se propagan en el agua, por lo tanto, la energía de las ondas mueve el bote pero no lo desplaza.

Una **f fuente de ondas** es cualquier dispositivo capaz de generar una perturbación que dé origen a algún tipo de onda. En el ejemplo de la cuerda, la mano actúa como una fuente de onda generando una perturbación sobre la cuerda. Otros ejemplos son una piedra que cae en un pozo de agua o el audífono de un mp3.

Cuando una onda tiene como fuente una vibración u oscilación continua, es decir, que se repite siempre a intervalos iguales de tiempo, al representar en forma gráfica el movimiento ondulatorio, se aprecia de forma continua un conjunto de **montes** (las regiones elevadas de la onda) y **valles** (las regiones bajas de la onda). Además, se pueden distinguir algunos elementos espaciales y temporales característicos de cada onda que permiten describirla, estos son: la **amplitud**, la **longitud de onda**, el **período**, la **frecuencia** y la **rapidez de propagación**.



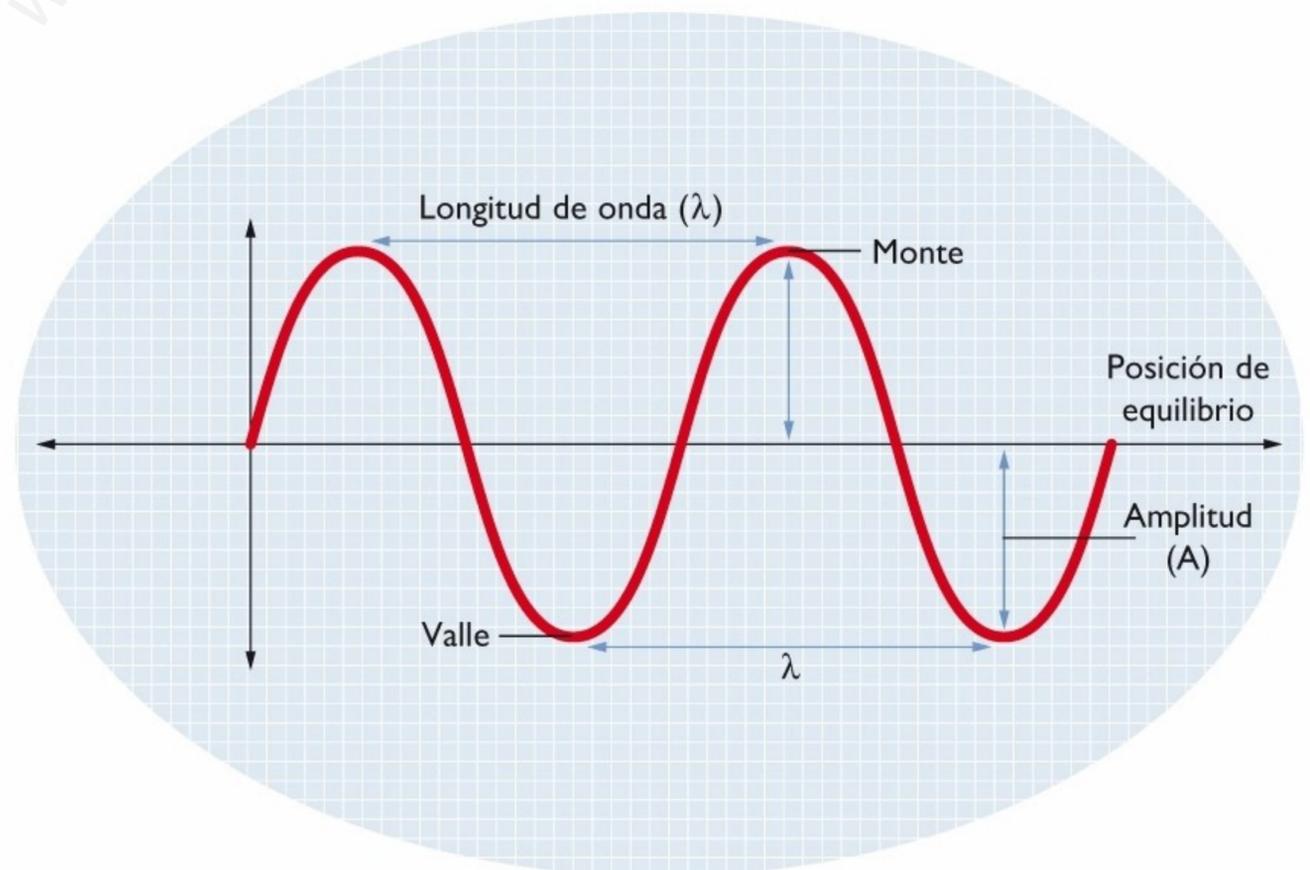
A Al mover el extremo de una cuerda hacia arriba y abajo se genera una perturbación. Las partículas que forman la cuerda oscilan en forma vertical mientras la perturbación se propaga a lo largo de esta.



B Al mover de forma continua la cuerda hacia arriba y abajo se genera una onda.

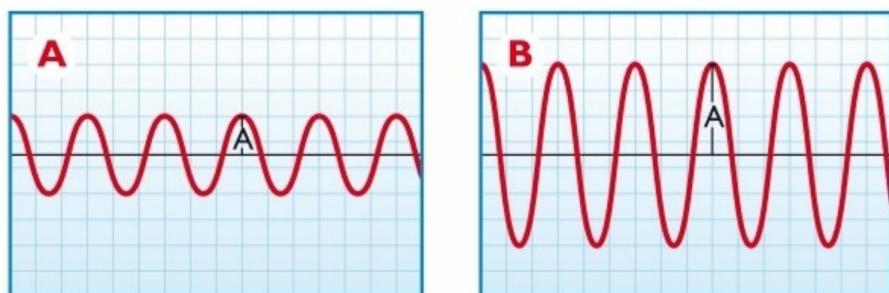
> DATO

Cuando se produce una perturbación en el medio, las partículas que lo conforman reciben energía y comienzan a vibrar. A medida que la perturbación se desplaza por el medio, las partículas en movimiento transmiten energía a las partículas vecinas. Así, en el movimiento ondulatorio lo que se propaga a través del medio es energía, y no las partículas.



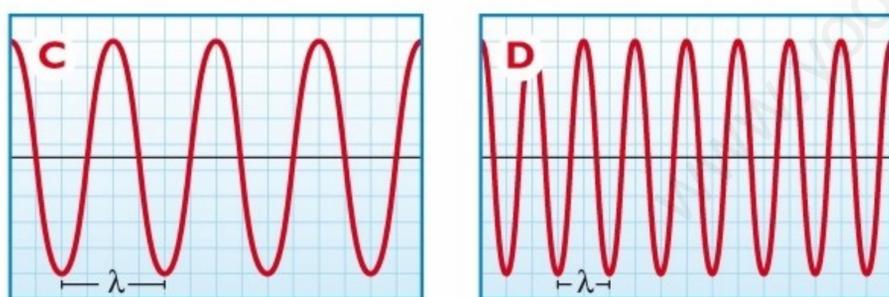
Magnitudes básicas de una onda

- **Amplitud (A):** es el desplazamiento máximo que describen las partículas del medio al vibrar en torno a la posición de equilibrio. También se puede definir como la altura de un monte o la profundidad de un valle. A mayor amplitud de la onda, mayor es la energía que propaga.



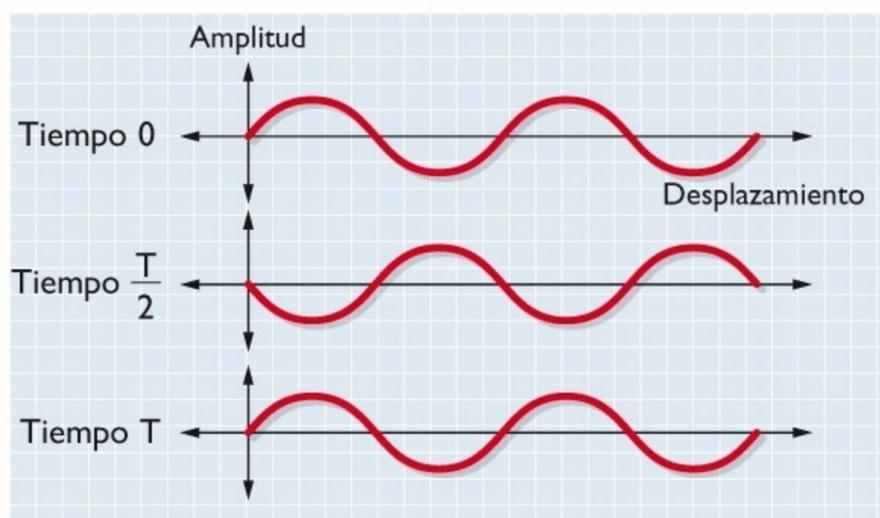
La amplitud de la onda A es menor que la de la onda B.

- **Longitud de onda (λ):** es la longitud de una oscilación completa, es decir, la distancia que existe entre dos puntos consecutivos que se comportan de forma idéntica. Por ejemplo, la longitud entre dos montes o bien entre dos valles consecutivos. En el Sistema Internacional de Unidades (SI) se mide en **metros (m)**.



La longitud de onda en C es mayor que en D.

- **Período (T):** es el tiempo que dura un ciclo de oscilación. En el SI su unidad de medida es el **segundo (s)**.



- **Frecuencia (f):** es el número de ciclos que una onda completa en una unidad de tiempo. En general, la frecuencia de la onda corresponde a la frecuencia de la fuente que la produce. Su unidad de medida en el SI es el **hertz (Hz)**, que representa 1 ciclo por segundo:

$$\frac{1 \text{ ciclo}}{\text{s}} = 1 \text{ Hz}$$

La frecuencia mide el número de oscilaciones por segundo y el período mide el tiempo en realizar una oscilación, es decir, son **magnitudes inversamente proporcionales** y se relacionan según la siguiente expresión:

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

- **Rapidez de propagación (v):** se puede calcular considerando que un monte o un valle (o cualquier otra parte de la onda) recorre una distancia equivalente a la longitud de onda (λ), en un tiempo igual a un período (T), por lo tanto, su rapidez se puede expresar como:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

La rapidez de propagación se mide en **m/s**.

Considerando que el período de la onda es inversamente proporcional a la frecuencia, se tiene también:

$$v = \lambda \cdot \frac{1}{T} = \lambda \cdot f$$

Entonces, la rapidez de propagación de una onda también se puede calcular como:

$$v = \lambda \cdot f$$

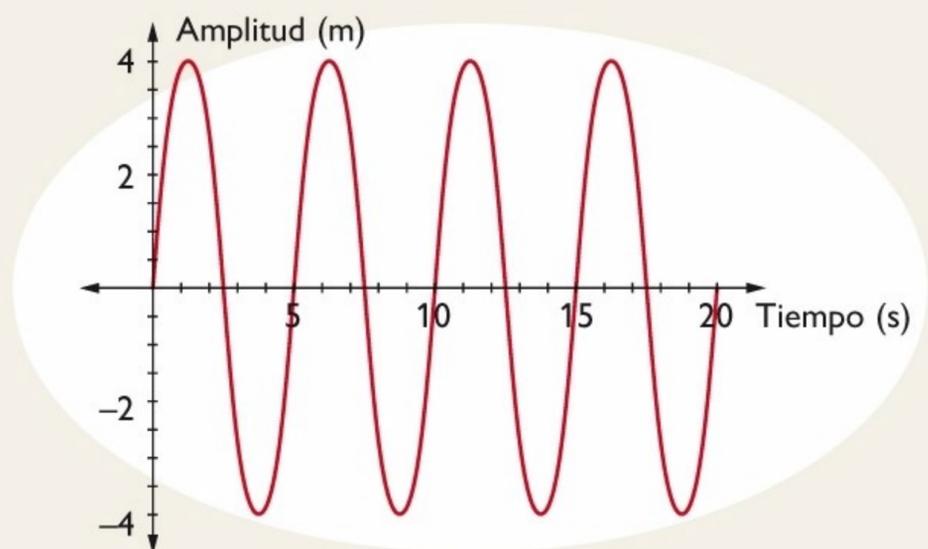
De esta relación, podemos observar que toda onda se caracteriza por su frecuencia y su longitud de onda, esto significa que cualquier cambio en su rapidez implica una variación en una de estas variables.

EJERCICIO RESUELTO

1. Observa el perfil de onda que muestra la figura. Se sabe que al realizar los 4 ciclos, la onda recorre 8 metros. De acuerdo a estos datos, determina:

- la amplitud de onda.
- el período.
- la longitud de onda.
- la frecuencia.
- la rapidez de propagación.

Es importante tener en cuenta que algunas de las magnitudes se obtienen solo haciendo una correcta lectura de la gráfica de la onda.



- La amplitud de onda es la máxima distancia desde la posición de equilibrio. En este caso queda determinada por el valor en el eje vertical y corresponde a **4 metros**.
- El período corresponde al tiempo que tarda la onda en completar un ciclo. En este ejemplo, el período de la onda queda determinado por el eje horizontal y corresponde a **5 segundos**.
- La longitud de onda corresponde a la longitud de un ciclo de oscilación. Si la distancia que recorre la onda en 4 ciclos fueron 8 metros, entonces, en cada ciclo recorre:

$$\lambda = \frac{8 \text{ m}}{4 \text{ ciclos}} = 2 \text{ m} \qquad \lambda = 2 \text{ metros}$$

- La frecuencia es el inverso del período. Se obtiene reemplazando el valor del período, que es: $T = 5 \text{ s}$.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5 \text{ s}} = 0,2 \text{ Hz} \qquad f = 0,2 \text{ Hz}$$

La frecuencia también se puede calcular mediante la observación de la gráfica. Si la onda completó 4 ciclos en un tiempo de 20 segundos, entonces:

$$f = \frac{\text{n}^\circ \text{ de ciclos}}{\text{tiempo}} = \frac{4 \text{ ciclos}}{20 \text{ s}} = \frac{1 \text{ ciclo}}{5 \text{ s}} = 0,2 \text{ Hz} \qquad f = 0,2 \text{ Hz}$$

- Finalmente, la rapidez de propagación se puede calcular de la siguiente manera:

$$v = \lambda \cdot f = 2 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ Hz} = 2 \text{ m} \cdot 0,2 \cdot \frac{1}{\text{s}} = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \qquad v = 0,4 \text{ m/s}$$

CALCULA

- Las ondas de radio se propagan a $3 \times 10^8 \text{ m/s}$. Si la frecuencia de oscilación de la onda emitida por una estación radial es 93 MHz, determina:
 - el período de la onda.
 - su longitud de onda.

3. Clasificación de las ondas

Como hemos visto, las ondas se pueden caracterizar según magnitudes básicas, como la amplitud, la longitud de onda, el período, la frecuencia y la velocidad de propagación. Además, las ondas se pueden clasificar según diversos criterios, tales como el sentido de propagación de la onda, la dirección de vibración de las moléculas del medio y el medio por el que se propagan.

Ondas viajeras y estacionarias

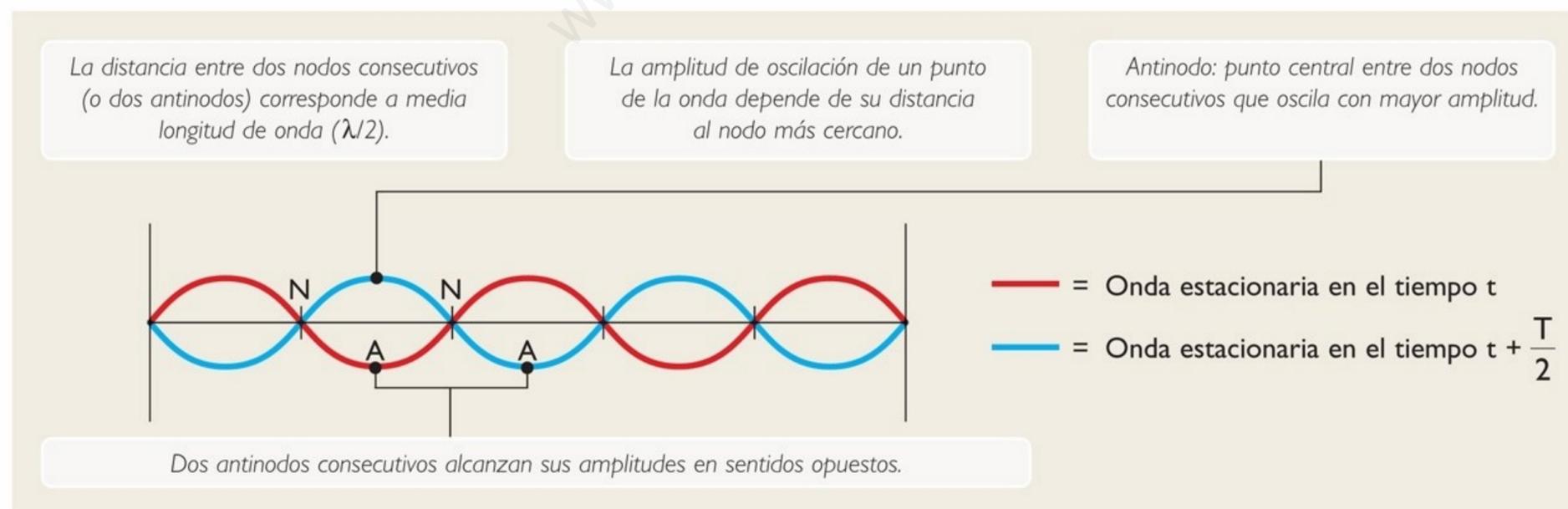
Según el **sentido de propagación** de las ondas, se pueden distinguir las ondas viajeras y las ondas estacionarias.

- **Ondas viajeras.** Son ondas que se propagan partiendo desde la fuente, sin volver atrás. Por ejemplo, la luz del Sol que viaja por el espacio y llega a nosotros, sin devolverse, o bien las ondas que se propagan por la superficie del agua en un lago. Las ondas viajeras se propagan libremente transportando la energía desde la fuente a otros lugares del espacio.
- **Ondas estacionarias.** Son ondas que aparecen al superponerse dos ondas viajeras idénticas que se propagan en sentidos opuestos resultando en una onda inmóvil en el espacio. Por ejemplo, cuando una onda viajera incide sobre un punto fijo, se refleja, devolviéndose con la misma frecuencia y dirección, pero en sentido contrario.

En toda onda estacionaria es posible distinguir ciertos puntos característicos denominados nodos y antinodos. Los **nodos (N)** son aquellos puntos que permanecen en reposo sin vibrar, mientras que los **antinodos (A)** son los puntos que vibran con la máxima amplitud.



➤ Onda viajera propagándose en el agua.



En las ondas estacionarias, la energía no se propaga libremente sino que está confinada a la región del espacio delimitada por puntos fijos, y la amplitud de vibración de las moléculas del medio permanece constante. El ejemplo más común de onda estacionaria es aquella que se origina al pulsar la cuerda de una guitarra.

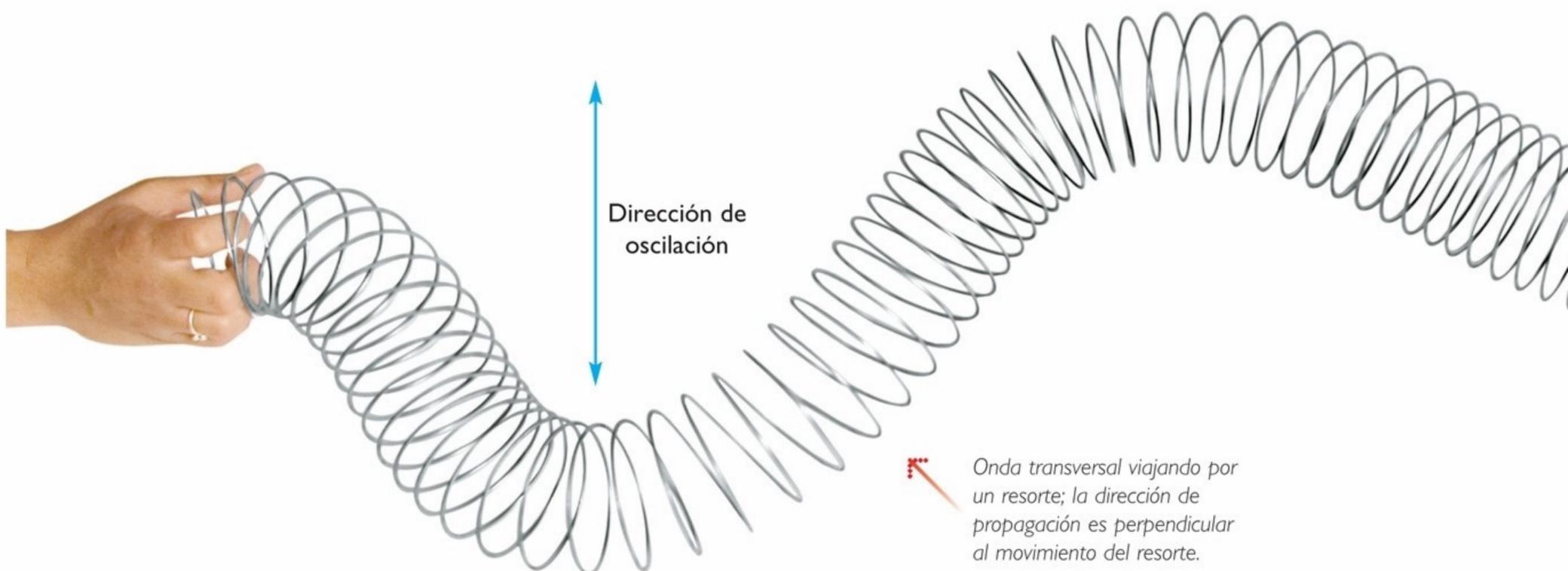
Ondas longitudinales y transversales

Cuando las ondas se propagan por un medio, las partículas que lo constituyen experimentan un movimiento oscilatorio. Según la **dirección de oscilación de las partículas del medio** respecto a la dirección de propagación de la onda, se distinguen las ondas longitudinales y las ondas transversales.

- **Ondas longitudinales.** Son aquellas ondas en las que la dirección de oscilación de las partículas del medio es igual a la dirección de propagación de la onda, es decir, si la onda se propaga horizontalmente hacia adelante, las moléculas del medio oscilarán hacia adelante y atrás en torno a su punto de equilibrio. Este tipo de ondas se forma, por ejemplo, en un resorte largo y flexible, al estirarlo y comprimirlo por uno de sus extremos. En este caso, la onda se propaga en forma de compresiones y expansiones a lo largo del resorte.



- **Ondas transversales.** En este tipo de ondas la dirección de oscilación de las partículas del medio es perpendicular a la dirección de propagación de la onda, es decir, si la onda se propaga en dirección horizontal, las moléculas del medio oscilarán en dirección vertical en torno a su punto de equilibrio. En el caso de un resorte, en posición horizontal, se puede generar una onda transversal al sacudirlo hacia arriba y abajo. La onda se propaga en forma horizontal mientras que las espiras del resorte suben y bajan.



Ondas mecánicas y electromagnéticas

Según el **medio de propagación** en el cual viajan las ondas, se pueden clasificar en dos tipos: ondas mecánicas y ondas electromagnéticas.

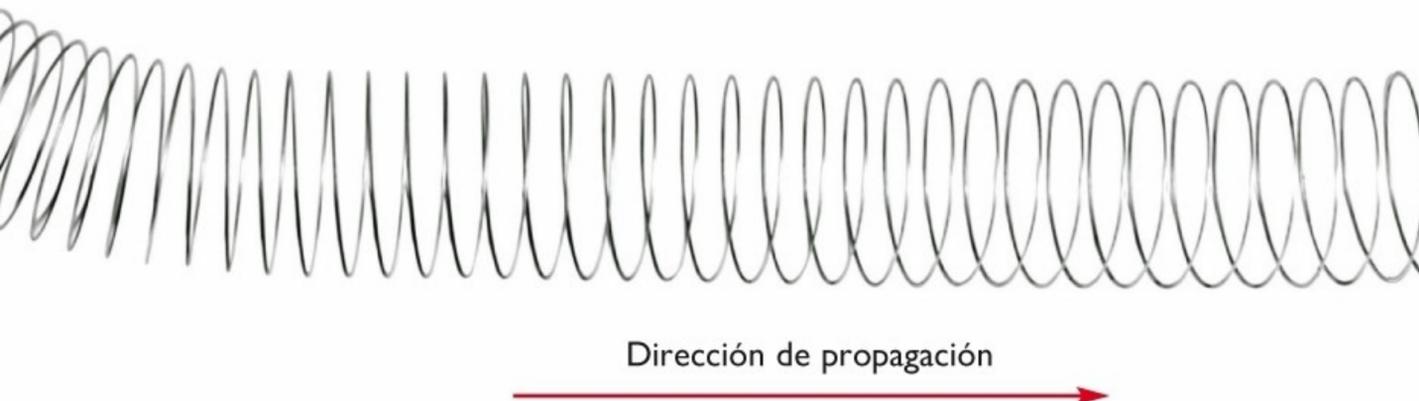
- **Ondas mecánicas.** Son todas aquellas ondas que **necesitan de un medio material** para propagarse. Se considera como medio material de propagación cualquier sustancia formada por átomos o moléculas que permita transportar la energía que porta una onda. El medio de propagación puede estar en cualquiera de los estados de la materia: líquido, sólido o gaseoso. Por ejemplo, las ondas de sonido son ondas mecánicas que se pueden propagar por el aire, algún líquido o un material sólido. Una onda trasladándose en un resorte es un ejemplo de onda mecánica donde el medio de propagación es el resorte.



← Onda longitudinal y mecánica propagándose por un resorte.
 Compresión: zona del resorte donde las espirales están momentáneamente más juntas.
 Expansión: zona del resorte donde las espirales están momentáneamente más separadas.

- **Ondas electromagnéticas.** Este tipo de onda **no necesita de un medio material** para propagarse, sino que lo puede hacer en el vacío, es decir, en ausencia de partículas que transporten la energía de la onda. Cabe destacar que estas ondas también pueden propagarse a través de un medio material. Son ejemplos de ondas electromagnéticas las ondas de radio, la luz visible, los rayos X y las microondas.

Una onda electromagnética está formada por un **campo eléctrico** y un **campo magnético**, que oscilan perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación de la onda. Por eso, una onda electromagnética es también una onda transversal.



4. Interferencia de ondas

Cuando dos o más ondas que se propagan pasan simultáneamente por una misma región del espacio, se produce el fenómeno de **interferencia**, en que las ondas se combinan dando lugar a una **onda resultante**. La amplitud de la onda resultante en cada punto, dependerá de las características de las ondas que interfieren, siendo una combinación. A continuación analizaremos algunos casos especiales de interferencia de ondas.

- **Interferencia constructiva.** Ocurre cuando las ondas interactuantes están en **igualdad de fase**, es decir, los montes y valles se encuentran alineados y se traslapan, formándose una onda resultante de mayor amplitud que las ondas individuales. Un ejemplo de interferencia constructiva sucede al colocar dos parlantes idénticos emitiendo la misma melodía al unísono. Si se mide la amplitud de la onda resultante en el punto medio entre ambos parlantes, esta será el doble que la onda emitida por un solo parlante.
- **Interferencia destructiva.** Se produce cuando las ondas interactuantes están en **oposición de fase**, es decir, desplazadas entre sí en media longitud de onda ($\lambda/2$). En este caso, los montes de una coinciden con los valles de la otra. Si ambas ondas tienen diferentes amplitudes, se formará una onda de menor amplitud que las ondas individuales.

Una forma extrema de interferencia destructiva ocurre cuando las ondas incidentes poseen la misma amplitud. En este caso, la amplitud de la onda resultante es cero, y se habla de **interferencia destructiva total**. Si en el ejemplo anterior uno de los parlantes se aleja una distancia $\lambda/2$, ¿qué oiremos?

- Otro caso de interferencia ocurre cuando las ondas incidentes tienen igual amplitud pero el desplazamiento entre ellas no es exactamente media longitud de onda, sino que, por ejemplo, están desplazadas un cuarto de longitud de onda ($\lambda/4$). En tal caso, la interferencia originará una onda resultante cuya amplitud máxima es mayor que las ondas incidentes, pero menor que la suma de las amplitudes máximas de ambas ondas iniciales.
- Por otra parte, si las ondas que interfieren tienen distinta longitud de onda y, además, su amplitud y frecuencia son diferentes, la onda resultante será la superposición de las ondas incidentes.

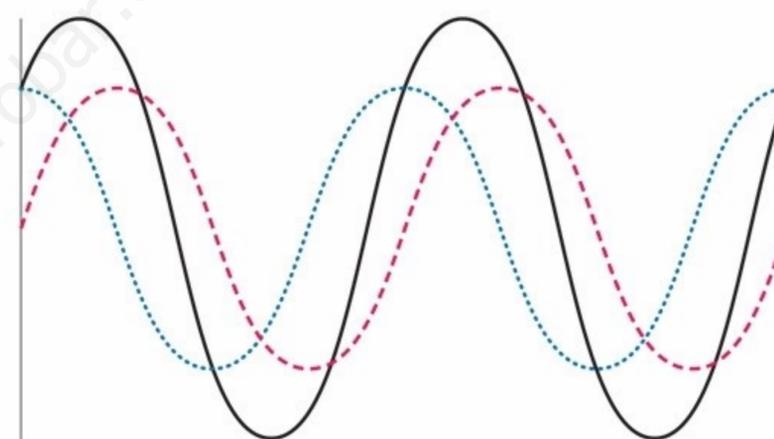
Interferencia constructiva



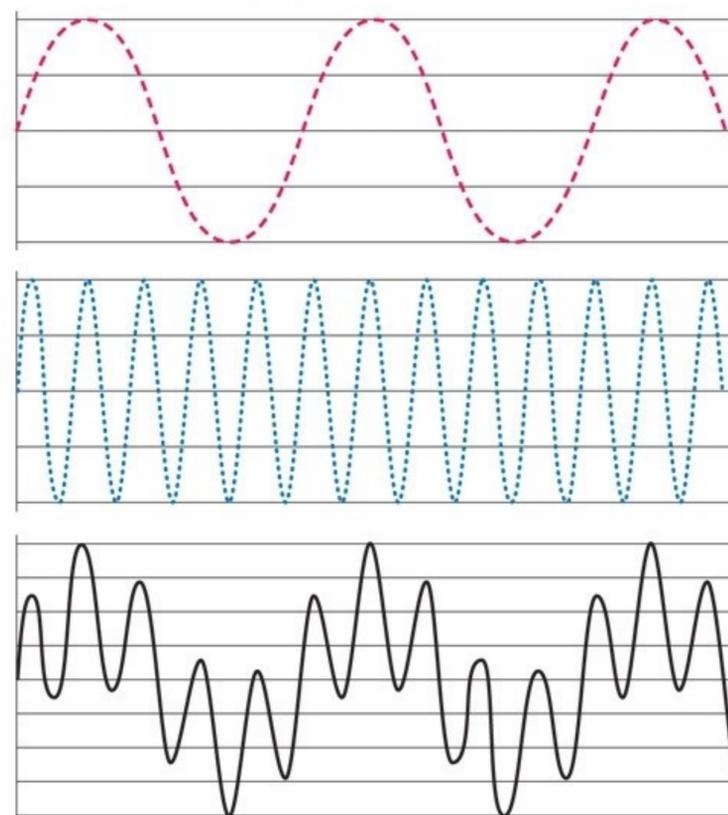
Interferencia destructiva



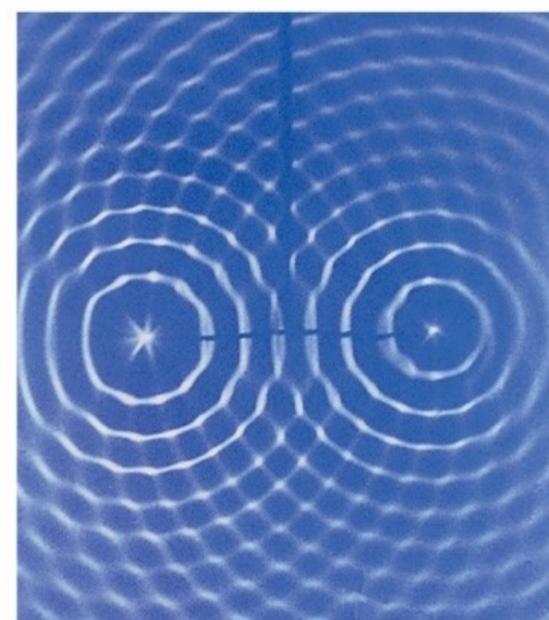
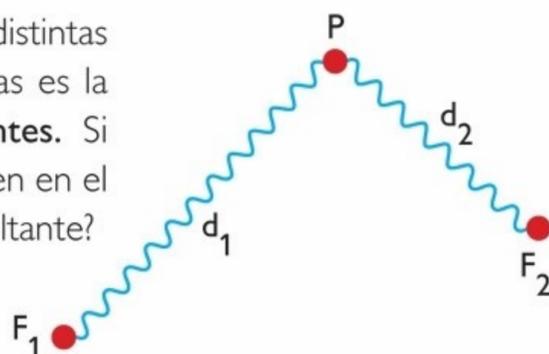
Interferencia en ondas desplazadas $\lambda/4$



Superposición de ondas



Consideremos dos ondas que son emitidas por distintas fuentes: F_1 y F_2 . Si la frecuencia de ambas ondas es la misma, entonces hablamos de **ondas coherentes**. Si además las ondas tienen igual amplitud y coinciden en el punto P, ¿cómo será la amplitud de la onda resultante?



↑ Patrón de interferencia formado por ondas emitidas desde dos fuentes distintas. Se distinguen interferencias constructivas (sectores con mayor iluminación) e interferencias destructivas (sectores oscuros).

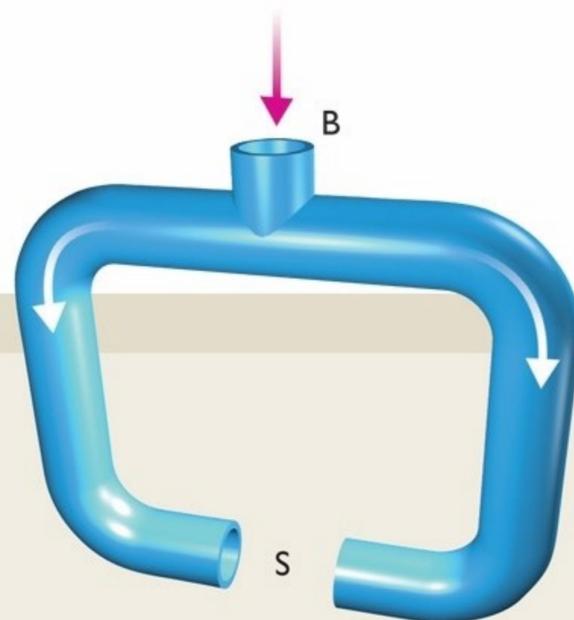
- Si las ondas llegan en igualdad de fase al punto P, se produce una **interferencia constructiva**: sus amplitudes se suman y la amplitud de la onda resultante será el doble que las ondas incidentes. En este caso, la diferencia en la distancia recorrida por ambas ondas será: $d_1 - d_2$, y debe ser igual a un múltiplo entero de la longitud de onda, es decir:

$$d_1 - d_2 = n \cdot \lambda \quad \text{Donde } n \text{ es un número natural.}$$

- Si las ondas de igual amplitud llegan al punto P en oposición de fase, se produce una **interferencia destructiva total**. Ambas ondas recorren distancias diferentes y la diferencia de recorrido $d_1 - d_2$ será un múltiplo impar de media longitud de onda, es decir:

$$d_1 - d_2 = (2n + 1) \cdot \lambda/2 \quad \text{Donde } (2n + 1) \text{ es un número impar.}$$

Por último, si dos fuentes de vibración constante emiten ondas coherentes, es posible observar como resultado un **patrón de interferencia**. Independiente de la amplitud de las ondas que interfieren, el patrón de interferencia estará formado por interferencias constructivas y destructivas.



EJERCICIO RESUELTO

En la boca de un tubo (B), como el de la figura, se produce un sonido de frecuencia 660 Hz y longitud de onda 0,5 m. Las ondas sonoras se propagan por ambos brazos del tubo, que tienen igual longitud. Las ondas se superponen a la salida del tubo (S) y se mide la frecuencia de la onda resultante.

- ¿Cómo es la amplitud del sonido que se registrará a la salida?
Las ondas sonoras que viajan por los brazos del tubo son coherentes y de igual amplitud. Además, recorren la misma distancia, por lo tanto, llegan en fase a S, donde se produce una interferencia constructiva, registrándose un sonido reforzado, con el doble de la amplitud original de la onda.
- Si la rama derecha del tubo puede modificarse y aumenta su longitud 0,25 m, ¿cómo será la onda resultante de esta interferencia?

La diferencia de recorrido de ambas ondas es: $d_1 - d_2 = 0,25$ m. Entonces, si $\lambda = 0,5$ m tenemos que:

$$d_1 - d_2 = \frac{\lambda}{2}$$

Por lo tanto, en S se produce una interferencia destructiva total, pues las ondas llegan en oposición de fase y no se registrará ningún sonido.

5. Interacción de ondas con la materia

Cuando en su recorrido las ondas se encuentran con un obstáculo, que puede ser un medio diferente o incluso otra onda, puede que cambien su comportamiento. Estos cambios responden a ciertas leyes físicas que ayudan a predecir qué pasará con una onda en una circunstancia específica.

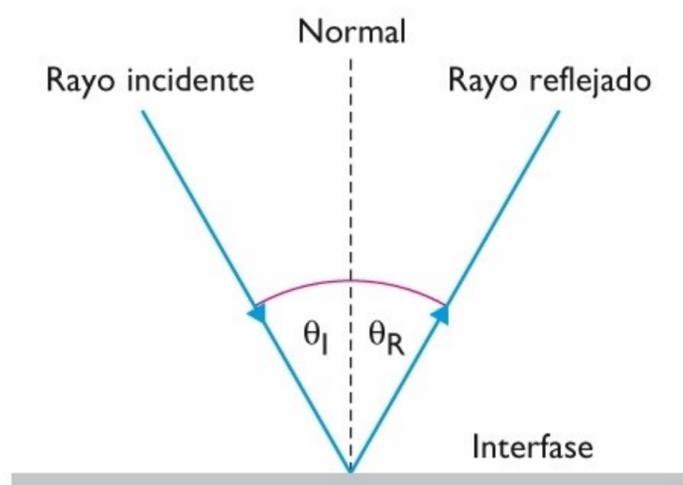
En la superficie que separa dos medios, llamada **interfase**, las ondas se pueden **reflejar** y se pueden **refractar**, es decir, pasar de un medio a otro cambiando su velocidad de propagación. Además, las ondas pueden experimentar un proceso de **difracción**, que se relaciona con la capacidad de bordear obstáculos.

Reflexión de las ondas

Cuando una onda viajera incide sobre la interfase que separa dos medios, parte de la onda se devuelve por el mismo medio que venía, cambiando su dirección y sentido de propagación. Este fenómeno se conoce como **reflexión** de una onda.

Todas las ondas se pueden reflejar: las ondas electromagnéticas, como la luz, y las ondas mecánicas, como las ondas en una cuerda y las ondas sonoras. En el caso de las ondas sonoras, se pueden reflejar en paredes u otros obstáculos produciendo fenómenos físicos como el **eco**.

Las ondas pueden simbolizarse mediante rayos que representan la dirección en la cual se propagan, por ejemplo, desde una fuente de emisión hasta la interfase sobre la cual se reflejan. De esta forma, dependiendo del ángulo de incidencia en la interfase, la onda será reflejada formando un **ángulo de reflexión idéntico al ángulo de incidencia**, respecto a la dirección normal o perpendicular a la interfase.

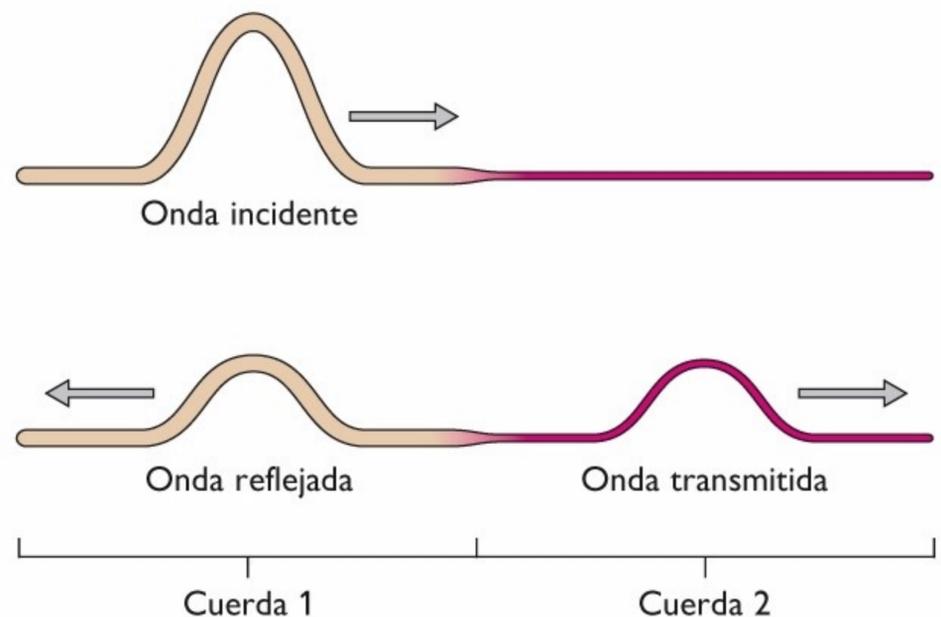


El ángulo de incidencia de la onda (θ_I) es igual al ángulo de la onda reflejada (θ_R).



En la fotografía se observa la reflexión de las ondas de luz en la superficie del agua, creando el efecto de un espejo sobre la superficie del agua.

Cuando existe reflexión de ondas en una interfase, la energía se reparte entre la onda reflejada y la onda transmitida. Esto produce ondas de menor amplitud respecto a la onda incidente.



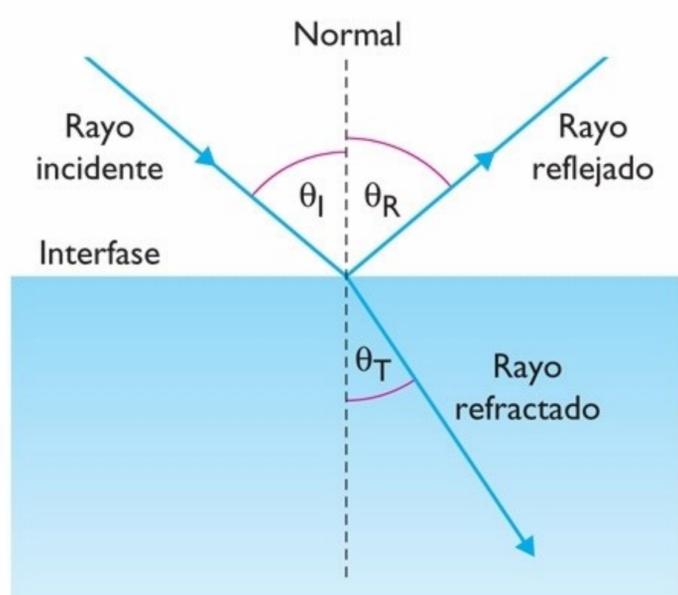
Un pulso viaja por dos cuerdas con distintas densidades, las cuales se encuentran unidas. Se observa la onda incidente, la onda reflejada y la transmitida en la interfase.

Refracción de las ondas

Si una onda viajera, como el sonido o la luz, se encuentra en su camino con un medio material de diferente densidad, pero que le permite seguir propagándose, experimenta un fenómeno denominado **refracción**. Al refractarse, **la velocidad de propagación de la onda cambia**, debido a la diferencia de densidad entre ambos medios.

Como vimos, la velocidad de una onda está dada por la ecuación $v = \lambda \cdot f$. La frecuencia de la onda siempre se mantiene constante durante la refracción. Si existe un aumento en la velocidad, la longitud de onda debe aumentar; en cambio, al disminuir la velocidad la longitud de onda disminuye.

En general, cuando una onda incidente se ve sometida a un cambio de medio, experimenta en forma simultánea los fenómenos de reflexión y refracción. Cuando esto ocurre, la energía de la onda incidente corresponde a la suma de la energía de la onda reflejada, de la onda refractada y la energía absorbida por la interfase.



Al incidir la onda sobre la interfase, esta se refleja con un ángulo θ_R igual al ángulo de incidencia θ_I y se refracta con un θ_T , que depende de las características de los medios que forman la interfase.

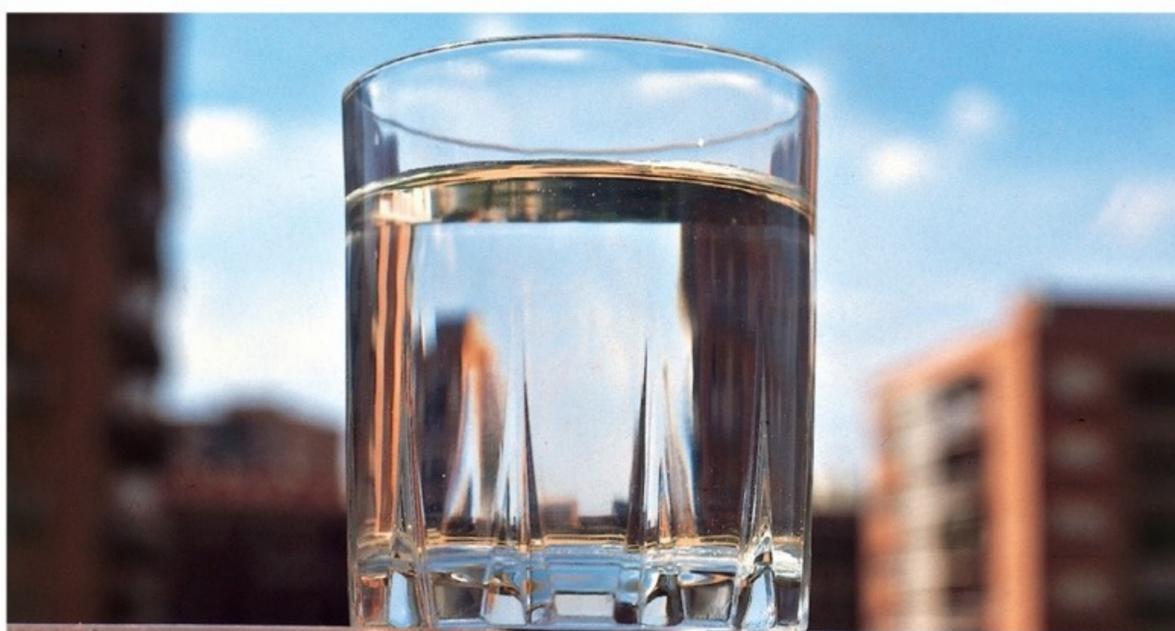
> DATO

Al estar en una habitación cerrada puedes escuchar los ruidos del exterior, porque las ondas sonoras experimentan fenómenos de refracción por las paredes hasta llegar a los oídos.

> OBSERVA E IDENTIFICA

1. Observa la siguiente fotografía:

- En este ejemplo, ¿cuáles son los medios por los cuales se ha propagado la luz?
- ¿Qué fenómenos físicos experimentaron las ondas luminosas para obtener esta fotografía?



Difracción de las ondas

La **difracción** de las ondas es un fenómeno físico característico del movimiento ondulatorio, que tiene relación con la distorsión que sufren las ondas al encontrarse con un obstáculo. En este caso, se considerará como obstáculo todo objeto que bloquee parte del camino de la onda incidente.

Para entender correctamente el fenómeno de difracción, debemos tener en cuenta algunas consideraciones especiales de los fenómenos ondulatorios.

Si consideramos una fuente emisora puntual que emite ondas continuamente, podemos visualizar las ondas emitidas como varios círculos concéntricos, separados por una distancia igual a la longitud de onda, que se mueven en el espacio, aumentando siempre su radio según la velocidad de propagación de la onda en el medio (a). Cada uno de estos círculos concéntricos se denomina **frente de onda** (b).

Sin embargo, si nos ubicamos lo suficientemente lejos de la fuente emisora, solo podríamos observar los frentes de ondas como líneas paralelas. A este perfil se le conoce como **frente de onda plano** (c).

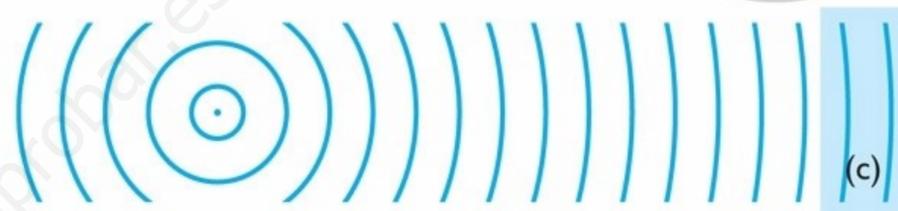
Cuando un frente de onda alcanza un obstáculo se produce el fenómeno de difracción, la naturaleza de esta dependerá de la longitud de onda de la onda incidente y de la longitud del obstáculo. Consideremos el siguiente ejemplo:

Si se hace incidir un frente de onda plano sobre una pantalla que tiene una abertura o rendija, de ancho similar o menor a la longitud de la onda incidente, parte de la onda atraviesa la rendija, manteniendo sus características originales pero con frentes de onda circulares centrados en la rendija (d). En este caso, la rendija pasa a ser una **frente de onda secundaria** o **foco secundario** emisor de ondas de la misma naturaleza de las ondas que llegan a él.

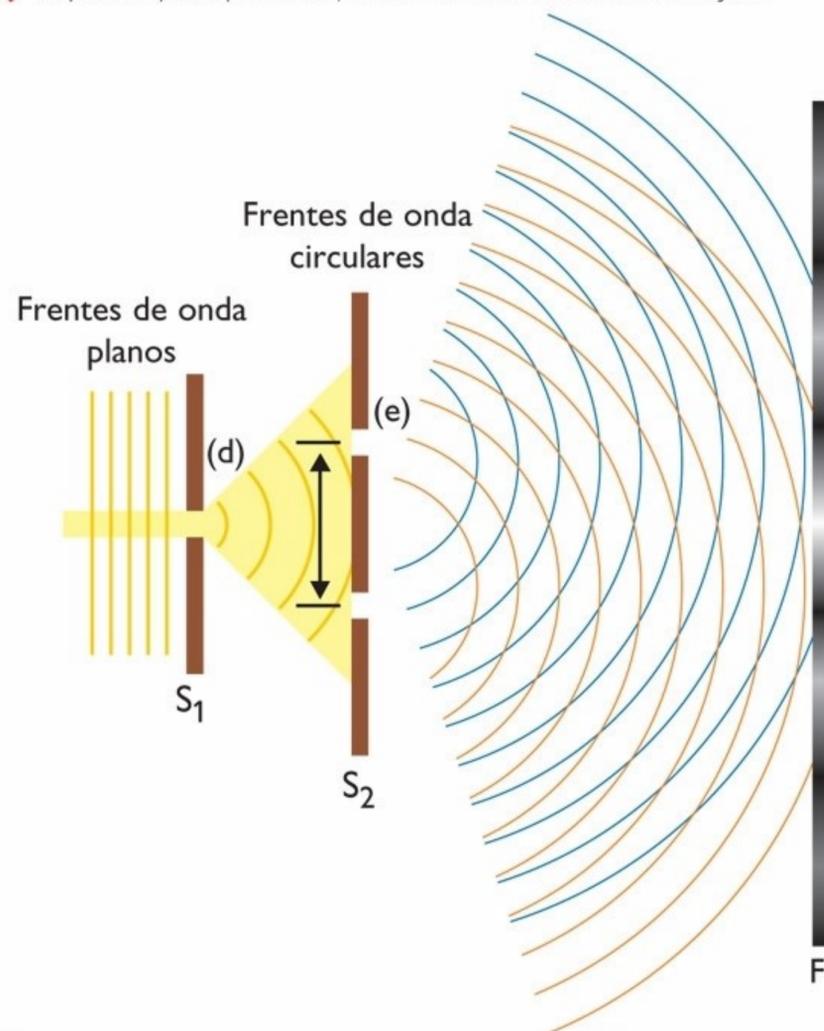
Si ahora se realiza esta misma experiencia, pero se agrega una pantalla con dos rendijas idénticas (e), obtendremos dos fuentes emisoras de ondas de iguales características que generan un patrón de interferencia.



(a) Frentes de onda desplazándose en el agua; (b) entre cada frente de onda existe una distancia correspondiente a λ .



Esquema que representa frentes de onda de una onda viajera.



En este ejemplo, la fuente emisora se encuentra lejos de la rendija (S_1), la onda incide sobre S_1 y esta se comporta como una fuente de onda secundaria. Si luego se colocan dos rendijas (S_2), se observa en la pantalla (F) el patrón de interferencia de las dos ondas.

> EXPERIMENTA Y ANALIZA

Realiza la siguiente experiencia. Para ello, consigue los siguientes materiales:

- Una cubeta rectangular de vidrio de aproximadamente 20 x 30 cm.
- Papel blanco. Puede ser un pliego de papel mantequilla o papel de volantín.
- Dos bloques de madera que al ubicarlos en el centro de la cubeta, dejen una pequeña abertura entre ellos.
- Una tabla plana del ancho de la cubeta.
- Un jarro con agua.



Procedimiento:

1. Pon el papel blanco en el fondo de la cubeta rectangular.
2. Agrega una cantidad suficiente de agua en la cubeta que permita generar pequeñas olas.
3. Ubica ambos bloques de madera en la cubeta, como muestra la foto.



4. Con la tabla plana golpea a lo ancho la cubeta, como muestra la figura. Observa las ondas que se generan y las ondas que resultan al atravesar la abertura.



5. Luego de realizar esta experiencia, responde las siguientes preguntas:

- a. ¿Qué fenómeno ondulatorio se observa en la cubeta?
- b. ¿Qué tipo de onda es generado con el golpe de la tabla sobre la cubeta?
- c. ¿Qué tipo de onda resulta luego de atravesar el orificio formado por los bloques de madera?
- d. ¿Cómo es la longitud de las ondas antes y después de cruzar la abertura?

Evaluación de proceso

1 Completa las siguientes oraciones con los conceptos que correspondan.

- En una onda, el número de ciclos completados por unidad de tiempo corresponde a _____. Su unidad de medida en el SI es _____, que representa el número de ciclos realizados cada segundo.
- Para determinar la velocidad de propagación de una onda, es necesario conocer las siguientes magnitudes: la _____ y la _____ de la onda.
- En una onda estacionaria, los puntos de máxima amplitud se denominan _____ y los puntos de amplitud cero, _____.

2 Clasifica las siguientes ondas según su medio de propagación y dirección de vibración.

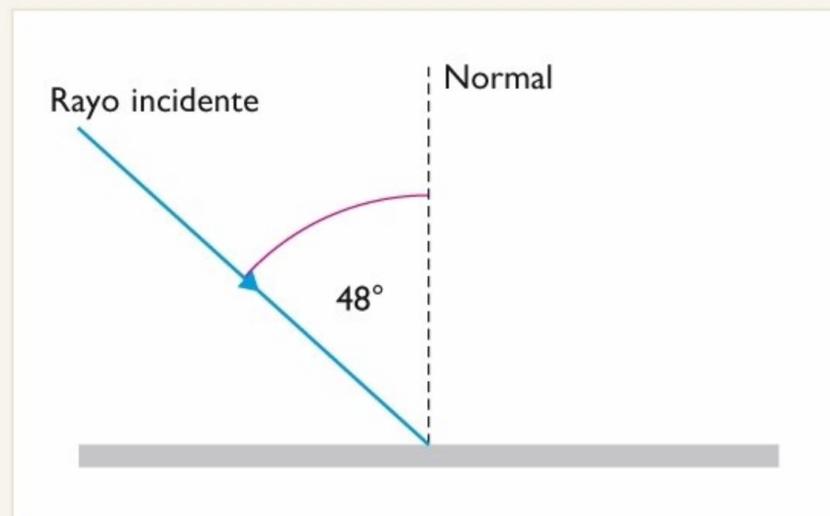
- Las ondas de radio.
- Una ola.
- La luz del Sol.
- Las ondas producidas al estirar a lo largo un resorte.

3 Resuelve.

- Si un movimiento periódico aumenta su frecuencia de oscilación, ¿aumenta su período?, ¿por qué?
- Un cuerpo efectúa 12 oscilaciones en 4 segundos. ¿Cuál es su frecuencia de oscilación?
- La rapidez de propagación de una onda sonora en el agua es de 1.500 m/s. ¿Cuál será la longitud de onda de un sonido que se propaga en el agua y cuya frecuencia es 440 Hz?
- Dos fuentes sonoras coherentes, F_1 y F_2 , se encuentran a una distancia del punto P igual a un número par de media longitud de onda. ¿Qué tipo de interferencia ocurre en el punto P?, ¿cómo será el sonido que se escucha en P?

4 Responde.

- En la imagen se observa una onda incidente sobre una superficie reflectora. Dibuja la onda reflejada suponiendo que la onda incide en la superficie en un ángulo de 48° .



- ¿Qué comportamiento de las ondas explica que podamos escuchar la voz de una persona que se encuentra en otra habitación?

Revisio

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

DESCRIPTOR	PREGUNTA	PUNTAJE	¿QUÉ DEBES HACER?
Reconocer los elementos característicos de las ondas periódicas.	1 y 2		Si obtienes menos de 7 puntos, realiza la actividad 1.
Distinguir entre los distintos tipos de ondas según su medio de propagación y dirección de vibración.			
Relacionar la longitud de onda, frecuencia y velocidad de propagación de una onda.	3		Si obtienes menos de 4 puntos, realiza la actividad 2.
Reconocer fenómenos de interferencia de ondas.			
Resolver ejercicios relacionados con las características básicas de las ondas.			
Describir fenómenos de interacción de las ondas con la materia.	4		Si obtienes menos de 2 puntos, realiza la actividad 3.

Actividades

<p>ACTIVIDAD 1</p> <p>a. Dibuja ejemplos de dos o más ondas con las siguientes características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - igual longitud de onda y diferente amplitud; - igual amplitud y diferente longitud de onda; - igual amplitud y diferente frecuencia; - igual frecuencia y diferente amplitud. <p>b. Explica la diferencia entre onda mecánica y electromagnética; y entre onda transversal y longitudinal.</p>	<p>ACTIVIDAD 2</p> <p>a. Dibuja una onda de 12 cm de amplitud, que se desplace con frecuencia de 1 Hz. Si su velocidad es 1 m/s, ¿cuál es el valor de su longitud de onda y de su período?</p> <p>b. Indica cuál es la diferencia entre interferencia constructiva e interferencia destructiva. Realiza un esquema.</p>	<p>ACTIVIDAD 3</p> <p>Explica con tus palabras y da un ejemplo cotidiano de los siguientes fenómenos relacionados con las ondas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Reflexión. b. Refracción. c. Difracción.
--	--	--

6. Ondas de sonido

Uno de los sentidos que poseemos los seres humanos y muchos otros animales es la audición, que nos permite oír y distinguir entre los distintos tipos de sonido.

El sonido viaja desde una **fente de emisión** hasta nuestros oídos en forma de **ondas sonoras**. Una fente de sonido o de emisión de ondas sonoras es un cuerpo que al vibrar produce ondas que se propagan en un medio. Entre las distintas fuentes de sonido se encuentran las cuerdas vocales, los parlantes de una radio, la membrana de un tambor, etcétera.

Las ondas sonoras se originan producto de la **vibración** de las moléculas de un medio, que puede ser sólido, líquido o gaseoso; por ejemplo, un tubo de metal, el agua o el aire. El sonido se propaga como **onda longitudinal** en sólidos, líquidos y gases, y también se puede propagar como **onda transversal** en sólidos.

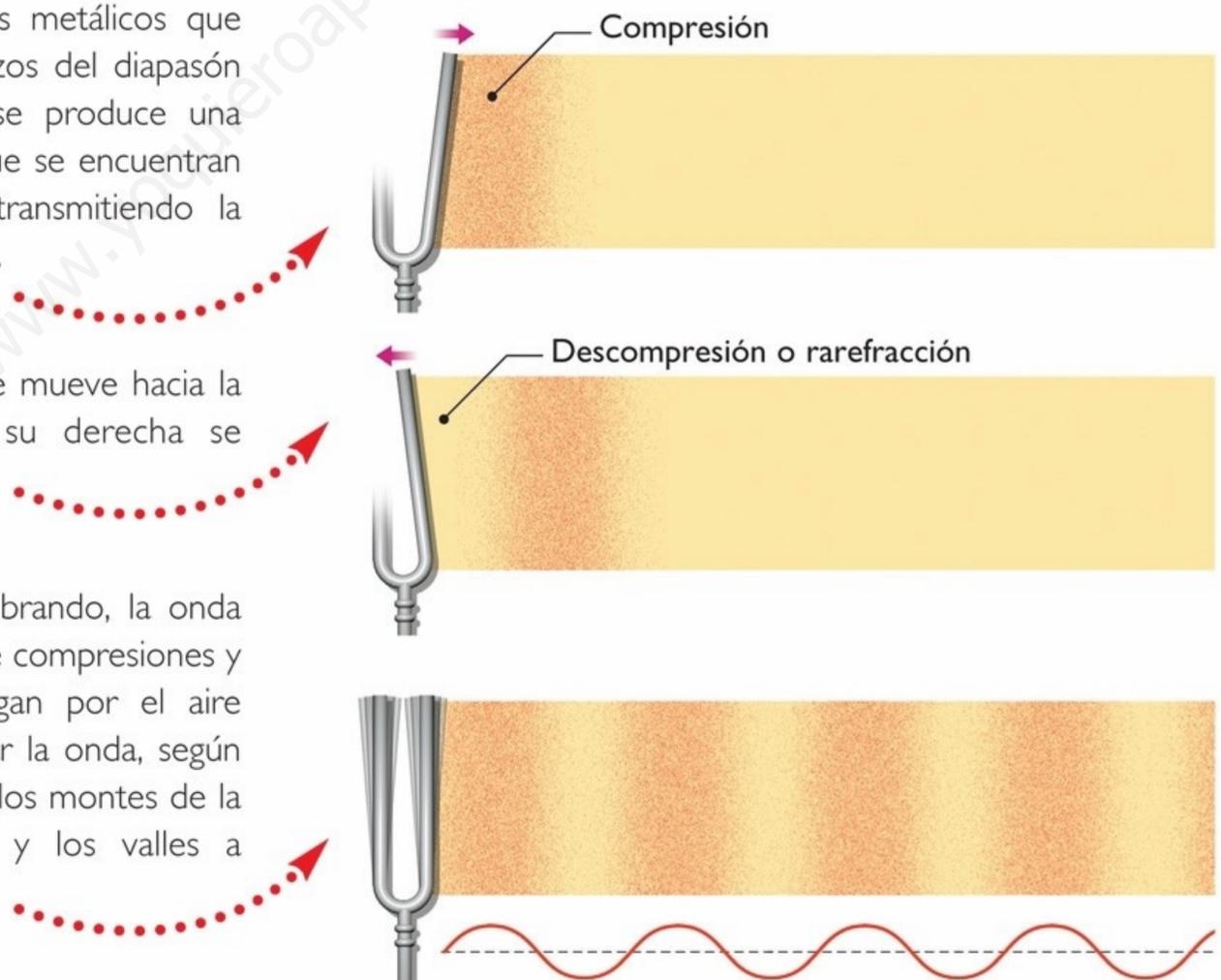
Durante la propagación de una onda sonora longitudinal se producen una serie de zonas de **compresión**, donde las moléculas están más cercanas unas de otras y la presión es más alta, y zonas de **descompresión** o **rarefacción**, donde las moléculas se separan y la presión es más baja. Así, cuando una onda sonora se propaga en el aire, las moléculas de aire vibran a lo largo de la dirección de propagación de la onda, produciéndose cambios en la densidad y en la presión.

Para comprender mejor la forma de propagación del sonido, veamos cómo el **diapasón** produce una onda sonora.

a. Un diapasón está formado por brazos metálicos que vibran al golpearlos. Si uno de los brazos del diapasón vibra y se mueve hacia la derecha se produce una compresión de las moléculas de aire que se encuentran más cercanas a él en su derecha, transmitiendo la perturbación hacia las moléculas vecinas.

b. Luego, cuando el brazo del diapasón se mueve hacia la izquierda, las moléculas de aire a su derecha se descomprimen.

c. A medida que el diapasón continúa vibrando, la onda sonora avanza produciendo una serie de compresiones y rarefacciones sucesivas que se propagan por el aire alejándose del diapasón. Al representar la onda, según variaciones de la presión o la densidad, los montes de la onda corresponden a compresiones y los valles a descompresiones.



EXPLICA

1. ¿Cómo se propaga el sonido en el agua? Explica mediante un esquema.
2. Explica cómo se propaga hasta tus oídos el sonido que produce un tambor.
3. ¿Las ondas sonoras pueden propagarse en el vacío?, ¿por qué?

Rapidez del sonido

La rapidez de propagación del sonido depende de algunas propiedades del medio por el cual se propaga, como la densidad, la elasticidad (en sólidos), la compresibilidad (en líquidos y gases) y la temperatura.

Las ondas de sonido se propagan con más rapidez en los medios que poseen mayor **densidad** (ρ), puesto que poseen un mayor número de partículas por unidad de volumen disponibles para propagar el sonido. Por ejemplo, la rapidez del sonido en el agua ($\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$) es casi cinco veces mayor que en el aire ($\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3$).

La **elasticidad** es la capacidad de una sustancia sólida de deformarse cuando se le aplica un esfuerzo y recuperar su forma inicial cuando este esfuerzo finaliza; si no recupera su forma inicial se ha sobrepasado su límite elástico. Una onda de sonido tiene mayor velocidad en un material de mayor elasticidad; por ejemplo, en el metal el sonido se propaga más rápidamente que en el caucho.

La **compresibilidad** de líquidos y gases, como su nombre lo indica, describe su capacidad de compresión. Los líquidos y gases con menor compresibilidad tienen moléculas más juntas, que transmiten las compresiones y descompresiones de una onda sonora sin retardo, por lo tanto, en ellos el sonido se propaga más rápidamente.

Si aumenta la **temperatura** del medio de propagación, la rapidez del sonido se incrementa. Por ejemplo, si la temperatura del aire aumenta, también lo hace la rapidez del sonido, debido a que la agitación de las moléculas de un gas se incrementa con la temperatura. En este caso, existe una ecuación matemática que relaciona la rapidez del sonido en el aire con la temperatura del aire en grados Celsius.

$$v = 331 \sqrt{1 + \frac{T}{273}} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$



↑ ¿Cómo puedes saber que se acerca un tren, si aún no lo ves?

Tabla N° 1: Rapidez del sonido en diversos medios

Medio	Rapidez de propagación (m/s)
Sólidos	
Caucho	54
Plomo	1.320
Cobre	3.560
Hierro	5.130
Líquidos (25 °C)	
Agua	1.490
Agua de mar	1.530
Gases	
Oxígeno (0 °C)	317
Aire (0 °C)	331
Aire (20 °C)	343
Aire (100 °C)	386

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

> INTERPRETA

1. A partir de la información de la tabla, responde:

- ¿Qué medios transmiten con mayor rapidez el sonido: sólidos, líquidos o gases?
- ¿Cuánto tiempo tardará en propagarse por el aire y hasta tus oídos el sonido de un tambor que se encuentra a 15 m de distancia?
- ¿Quién oíría antes el sonido del motor de una lancha: un pescador o un buzo bajo el agua, si ambas personas se ubican a 1 km de la lancha?

7. Características de las ondas sonoras

Si escuchas la melodía interpretada por una orquesta, podrás apreciar que algunos sonidos son más fuertes que otros, unos más graves que otros, y además los distintos instrumentos que participan. En definitiva, estás apreciando tres características del sonido: la intensidad, el tono y el timbre.

- **Intensidad sonora.** En nuestra vida diaria esta se asocia al volumen de un sonido (fuerte o débil). En física, la intensidad tiene relación con la **cantidad de energía** que transporta una onda sonora. Cuanto mayor sea la cantidad de energía por unidad de tiempo que una onda sonora transporta, tanto mayor será su intensidad. Así, los sonidos fuertes corresponden a amplitudes altas, y los débiles a amplitudes bajas.

En el SI la intensidad del sonido se mide en **watt/metro² (W/m²)**. Sin embargo, también se usa una escala más adecuada al rango de intensidades sonoras audibles por el ser humano, cuya unidad es el **belio (B)**. El valor 0 B equivale a 1×10^{-12} W/m². Es usual utilizar el **decibelio (dB)** para definir los valores de intensidad sonora ($1 \text{ dB} = 1 \times 10^{-1}$ belio).

Cuando se pasa de un sonido de 0 belios a uno de 1 belio, significa que la intensidad del sonido es diez veces mayor. De igual forma, al pasar de un sonido de 0 belios a uno de 2 belios, significa un aumento de intensidad 100 veces mayor, y así sucesivamente.

Tabla N° 2: Escala de intensidad sonora para el ser humano y niveles de intensidad de distintos sonidos

Intensidad sonora (dB)	Fuente de sonido
0	Umbral auditivo.*
10	Hojas de árbol que se mueven.
20	Susurro, murmullo de voces.
30	
40	Zumbido de un insecto.
50	Conversación común.
60	
70	Aspiradora.
80	Tráfico intenso.
90	
100	Perforadora, podadora, metro.
110	
120	Umbral de dolor.*

Umbral auditivo: mínima intensidad de sonido que puede ser detectada por el oído humano.

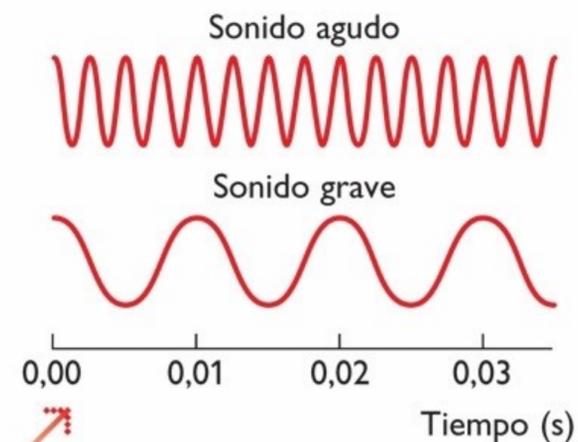
Umbral de dolor: máxima intensidad de sonido que el oído puede captar sin sufrir dolor o daño auditivo.

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

> DATO

En el ser humano, el umbral auditivo y el umbral de dolor dependen de la frecuencia del sonido. Así, cuando los sonidos son graves, se requiere una mayor intensidad para ser detectados, es decir, el oído humano es más sensible a las frecuencias altas.

- **Tono o altura.** Otra de las características principales de los sonidos es la posibilidad de distinguir entre sonidos **agudos** y **graves**. Este parámetro llamado **tono**, depende de la **frecuencia** de la onda sonora, mientras mayor sea la frecuencia de la onda, más agudo es el sonido. A su vez, mientras menor sea la frecuencia de la onda sonora, más grave es el sonido. Los seres humanos percibimos sonidos en un intervalo de frecuencias que comprende desde los 20 a los 20.000 Hz. Bajo 20 Hz se habla de **infrasonidos** y sobre los 20 kHz se habla de **ultrasonidos**.
- **Timbre.** Si tenemos dos instrumentos musicales y estos emiten una onda de la misma frecuencia e intensidad, podemos distinguir una variación entre los sonidos de ambos instrumentos. Esto se explica por la diferencia en la forma o **perfil** de cada onda.

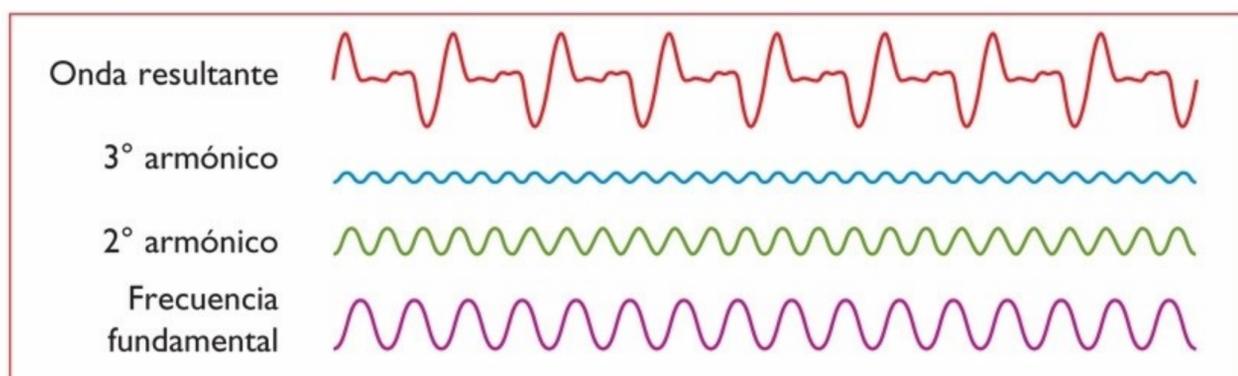


Los dos sonidos tienen igual amplitud pero tono distinto.



Timbre de un diapasón, una flauta dulce y un violín. El perfil característico de cada instrumento varía de acuerdo a la nota musical interpretada.

Cuando escuchamos el sonido de una guitarra, percibimos un **timbre** característico que describe su **composición armónica**. La composición armónica de un sonido corresponde a la onda resultante de la superposición de la frecuencia fundamental con los armónicos. Veámoslo más claro con un ejemplo: el sonido generado por la guitarra, como por cualquier otro instrumento, está constituido por una superposición de ondas que incluye: una onda de **frecuencia fundamental** común para todos los instrumentos que emiten la misma nota y la suma de los armónicos de la onda. Los **armónicos** son ondas de diferente amplitud cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.



Algunos factores que influyen en el timbre de un sonido se relacionan con las características físicas del cuerpo que los emite (la forma, el tamaño, el diseño, el material utilizado), el modo como se genera la vibración (percusión, punteo, rasgeo, etc.) o bien por la vibración de otras estructuras que componen el instrumento. Por ejemplo, el sonido que emite una guitarra es el resultado no solo de la vibración de la cuerda accionada, sino también de la madera y otras partes de la guitarra (caja de resonancia u otras cuerdas) que vibran junto a ella.

8. Interacción del sonido con la materia

La interacción del sonido con la materia dependerá de las características que posea el medio de propagación y las características del entorno. Así, las ondas sonoras pueden ser reflejadas, absorbidas o refractadas.

Reflexión del sonido

Cuando las ondas sonoras inciden sobre una superficie, el sonido se refleja. Sin embargo, los sonidos no se reflejan de la misma manera en todas las superficies. Por ejemplo, la voz humana se refleja mejor en una superficie plana y rígida, como una muralla, que en una superficie suave e irregular, como una cortina. Esto se debe a que en la muralla, un mayor porcentaje de la energía incidente es reflejada, mientras que en la cortina, la mayor parte de la energía es absorbida o transmitida, reflejándose un pequeño porcentaje.

La reflexión del sonido se llama comúnmente **eco**. En espacios públicos como teatros, salas de música o catedrales, el sonido sufre múltiples reflexiones en las paredes y cielos. En estos recintos, es usual escuchar sonidos después que cesa la emisión de ondas sonoras. Este efecto recibe el nombre de **reverberación**.

Absorción del sonido

Cuando una onda de sonido incide sobre una superficie, es posible que parte de ella sea reflejada y otra parte sea absorbida en el material. Los materiales que presentan mayor índice de absorción del sonido son aquellos que poseen baja densidad y son relativamente blandos, como alfombras, sofás, plumones o cojines.

Para determinar la cantidad de energía que absorbe un material, se define el **coeficiente de absorción**, el cual indica el porcentaje de energía absorbido por unidad de espesor de un material con respecto a la intensidad original de la onda incidente.

Tabla N° 3: Coeficiente de absorción según la frecuencia de onda para algunos materiales

Material	Frecuencia 125 [Hz]	Frecuencia 1.000 [Hz]
Cortinas gruesas	0,14	0,72
Vidrio	0,30	0,10
Pared de ladrillos pintada	0,01	0,01
Paneles de madera terciada	0,06	0,09
Alfombra gruesa sobre concreto	0,02	0,40

Fuente: Archivo editorial.

Si una onda de frecuencia 125 Hz incide en una cortina de tela gruesa, cuyo coeficiente de absorción es 0,14, significa que la cortina absorbe el 14% de la energía incidente. Es interesante observar que los materiales varían su coeficiente de absorción dependiendo de la frecuencia de la onda.

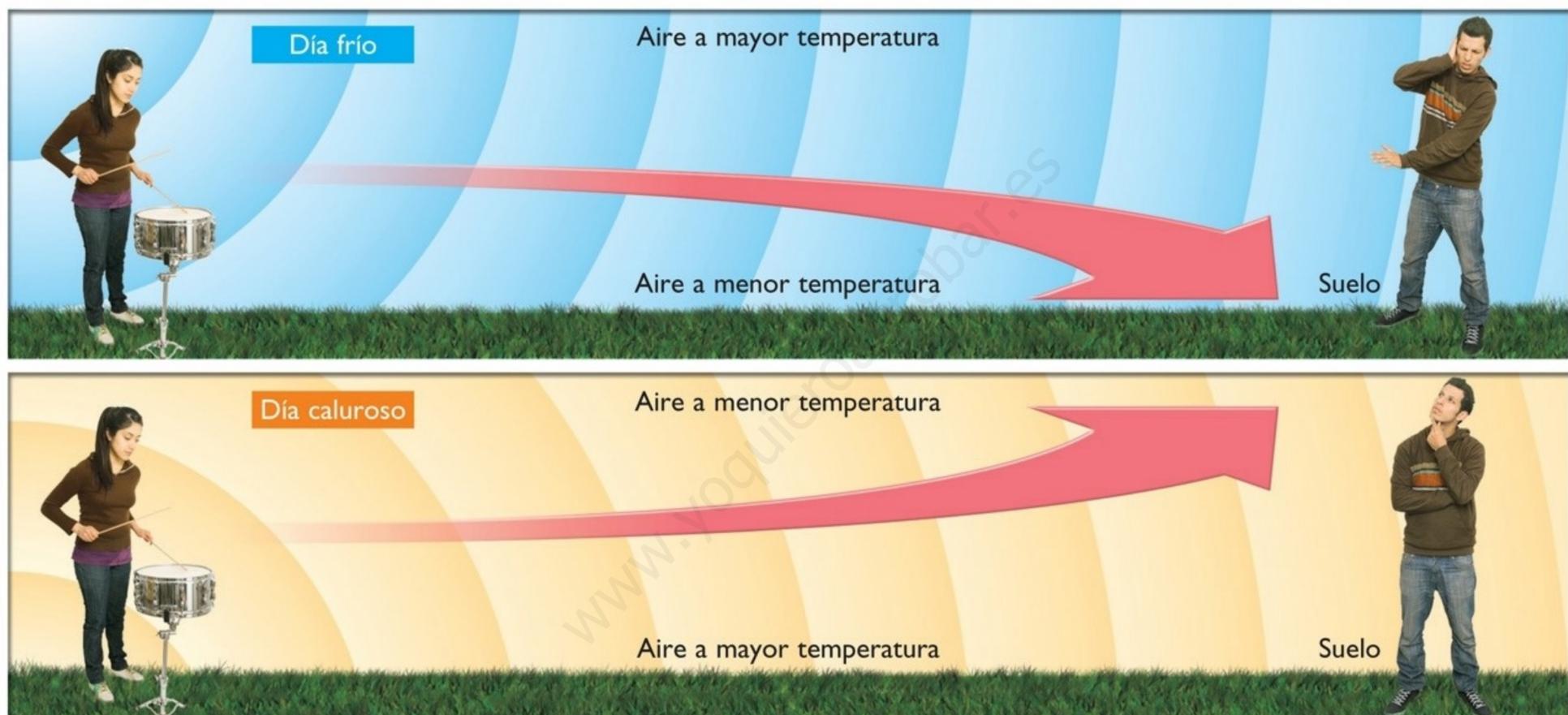


APLICA

1. ¿En cuál de los siguientes ambientes será más fácil escuchar el eco de tu voz: una habitación vacía o una amoblada?, ¿por qué?
2. Si estuvieras a cargo de la construcción de una sala de cine, ¿qué aspectos relacionados con la acústica deberías considerar?

Refracción del sonido

El fenómeno de refracción de un sonido ocurre cuando una onda sonora pasa de un medio a otro, alterando su velocidad de propagación de acuerdo a diferencias en la densidad, la elasticidad y la temperatura. Por ejemplo, en días fríos, la capa de aire más alejada de la superficie terrestre se encuentra a mayor temperatura que la cercana al suelo. Debido a esto, las ondas de sonido se propagan a mayor velocidad en la capa de aire a mayor altura. Si representamos la onda de sonido como un rayo, podríamos visualizar que la onda de sonido “se curva” hacia abajo facilitando la percepción del sonido. En un día caluroso ocurre lo contrario, y la onda de sonido se desviará hacia arriba dificultando su percepción a nivel del suelo.



Resonancia acústica

Cuando un cuerpo vibra, puede hacerlo con infinitud de frecuencias; sin embargo, existe una frecuencia característica en la cual se alcanza la máxima amplitud de la vibración, esta es conocida como **frecuencia natural o fundamental de oscilación f_0** . Cuando una excitación produce en un cuerpo la máxima amplitud en su vibración se dice que este entra en **resonancia** y todos sus componentes vibran a dicha frecuencia.

La **resonancia acústica** ocurre cuando las ondas sonoras ocasionan la vibración de las partículas de los cuerpos en su frecuencia natural de oscilación, provocando diversos efectos. Un ejemplo es el de una cantante de tono muy agudo que al cantar puede quebrar una copa de cristal provocando que las partículas de la copa entren en resonancia y vibren a su mayor amplitud.

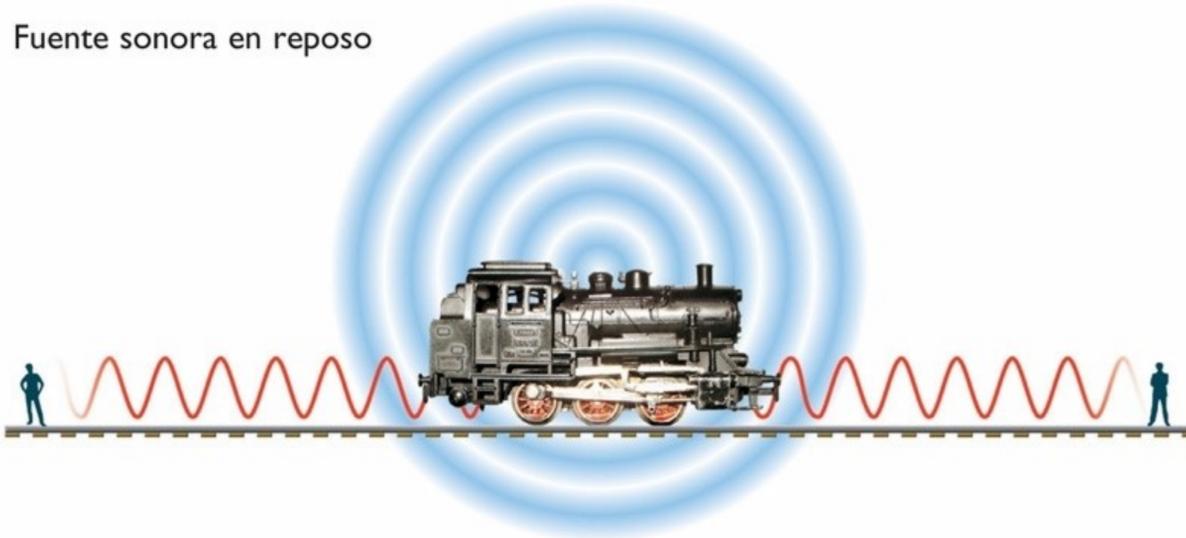
> DATO

La teoría que explica el colapso del puente colgante Tacoma, en Estados Unidos (1940), supone que debido a la vibración inducida por una corriente de aire, las estructuras que formaban el puente entraron en resonancia. La magnitud de la oscilación fue tal que ocasionó el colapso de la estructura. Puedes verlo digitando el código MF1033.

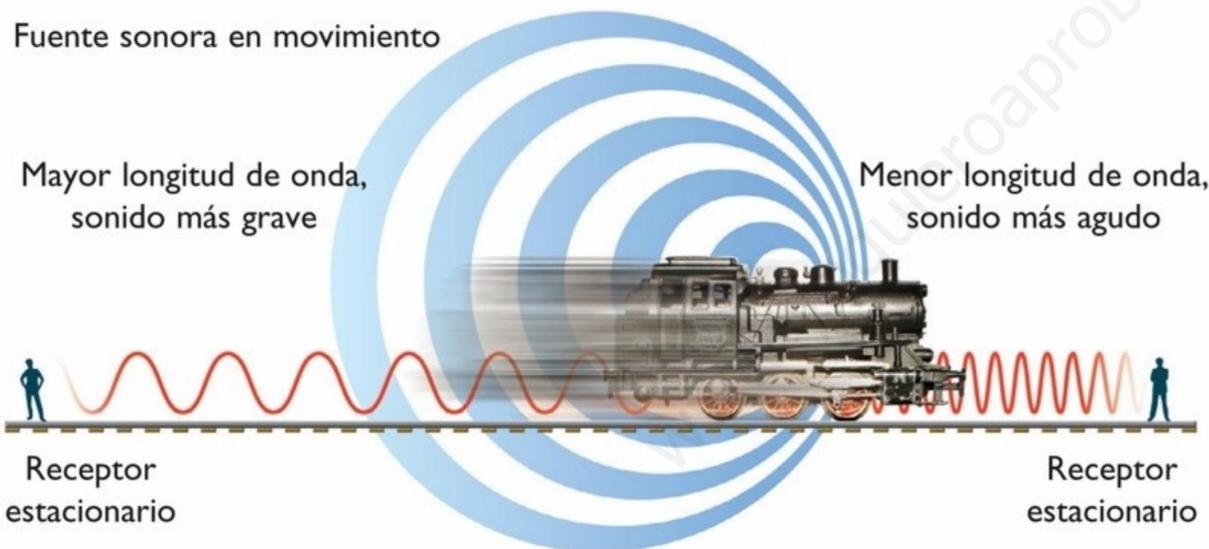
9. El efecto Doppler

Hasta ahora hemos estudiado cómo se propaga el sonido desde una **fente sonora estática** hacia un receptor estacionario. Sin embargo, ocurren otros fenómenos cuando la fuente se mueve acercándose o alejándose del receptor, y viceversa.

Fuente sonora en reposo



Fuente sonora en movimiento



Cuando la fuente sonora emite una onda, esta se propaga de modo similar a una onda sobre el agua. Si pudiésemos observar los frentes de onda, veríamos varios círculos concéntricos que se propagan desde la fuente sonora con una velocidad (v), longitud de onda (λ) y un tono característico, dado por su frecuencia (f).

¿Qué sucede cuando la fuente emisora se mueve en relación a un receptor estacionario?

Si la fuente se mueve hacia el receptor, con una velocidad (v_F) menor que la velocidad de propagación de las ondas (v), cada onda es emitida en un punto más cercano al receptor que la onda inmediatamente anterior. Así, la longitud de onda entre ondas sucesivas se reduce, y el receptor percibe un aumento en la frecuencia del sonido, es decir, un sonido más agudo. La frecuencia percibida por el receptor (f') al acercarse la fuente sonora se puede calcular según:

$$f' = f \left(\frac{v}{v - v_F} \right)$$

Donde f es la frecuencia de la fuente sonora, v es la velocidad del sonido, v_F es la velocidad de la fuente sonora.

Cuando la fuente emisora se aleja del receptor, la longitud de onda entre ondas sucesivas aumenta. Así, se percibe un sonido de frecuencia menor, es decir, más grave. En este caso, la frecuencia percibida por el receptor al alejarse la fuente sonora, se puede calcular según:

$$f' = f \left(\frac{v}{v + v_F} \right)$$

Entonces, el **efecto Doppler** es el cambio en la percepción de la frecuencia de una onda debido al movimiento de su fuente, el receptor, o de ambos.



ACTIVIDAD PRÁCTICA N° 1

El efecto Doppler

Objetivo

Analizar los factores que determinan el efecto Doppler.

Problema de investigación

¿Cómo afecta la velocidad de la fuente de sonido la percepción del efecto Doppler en un receptor estacionario?

Hipótesis

Un receptor estacionario percibe diferencias en el tono del sonido cuando cambia la velocidad a la que se desplaza la fuente sonora.

Experiencia

Con un sensor de sonido se registra la frecuencia de la bocina de una bicicleta, que emite sonido en forma permanente una vez encendida. Con la bicicleta detenida, se prende la bocina y el sensor registra un sonido de frecuencia 500 Hz. Luego, con la bocina aún encendida la bicicleta se desplaza y un observador estacionario toma nota de las frecuencias registradas por el sensor a medida que transcurre el tiempo. Sus resultados son los siguientes:

Tabla N° 4: Frecuencias de sonido detectadas por el sensor

Tiempo (s)	Frecuencia detectada (Hz)
0	504
1	505
2	506
3	507
4	507
5	507
6	505
7	503
8	502
9	501
10	500

Análisis y conclusión

1. A partir de la información de la tabla N° 4, ¿la bicicleta se acerca o aleja del observador estacionario? Explica.
2. Si a los 11 segundos la bicicleta se desplaza a 9,6 m/s, ¿cuál será la frecuencia detectada por el sensor de sonido?
3. ¿Qué factores determinan la frecuencia de sonido detectada por el sensor?, ¿depende de la fuente sonora utilizada? Explica utilizando los conceptos que has aprendido en la unidad.
4. Calcula la velocidad de la bicicleta en cada segundo y dibuja un gráfico de la velocidad de la bicicleta en función del tiempo. ¿La velocidad de la bicicleta es constante?, ¿por qué?
5. Elabora un informe escrito en el que expongas la experiencia presentada. Guíate por la sección **Informe de laboratorio**.

10. Detección del sonido

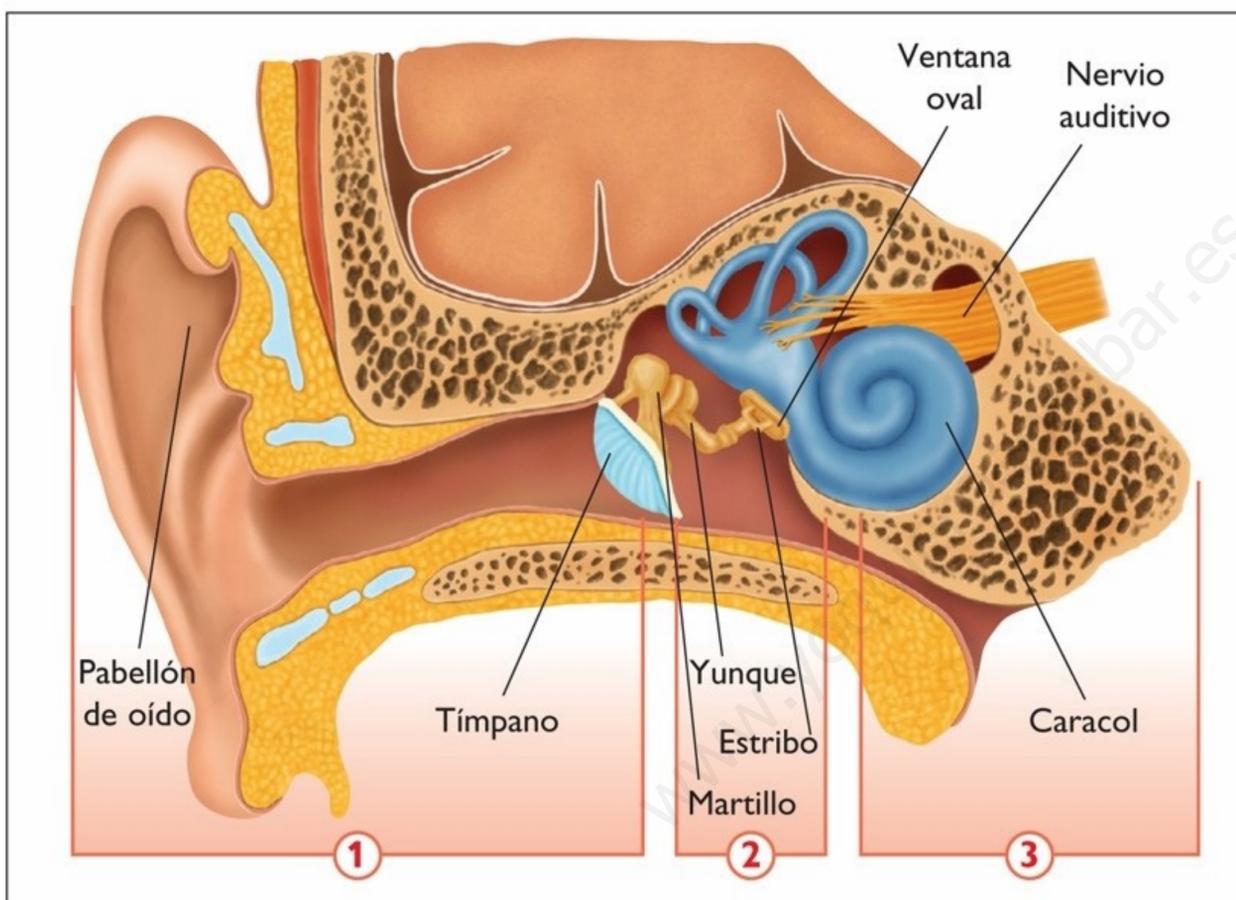
¿Cómo escuchamos los sonidos?

El **oído** es el órgano que nos permite detectar los sonidos de nuestro entorno. En su interior ocurren una serie de eventos que transforman las ondas de compresión y descompresión del aire en impulsos nerviosos que son enviados al cerebro. El oído está conformado por tres secciones: oído externo, oído medio y oído interno.

1. Oído externo. Es la zona que recibe las ondas sonoras. En él se encuentra el **tímpano**, una membrana elástica que vibra al perturbarse con las ondas provenientes del canal auditivo, transformando la energía sonora en energía mecánica.

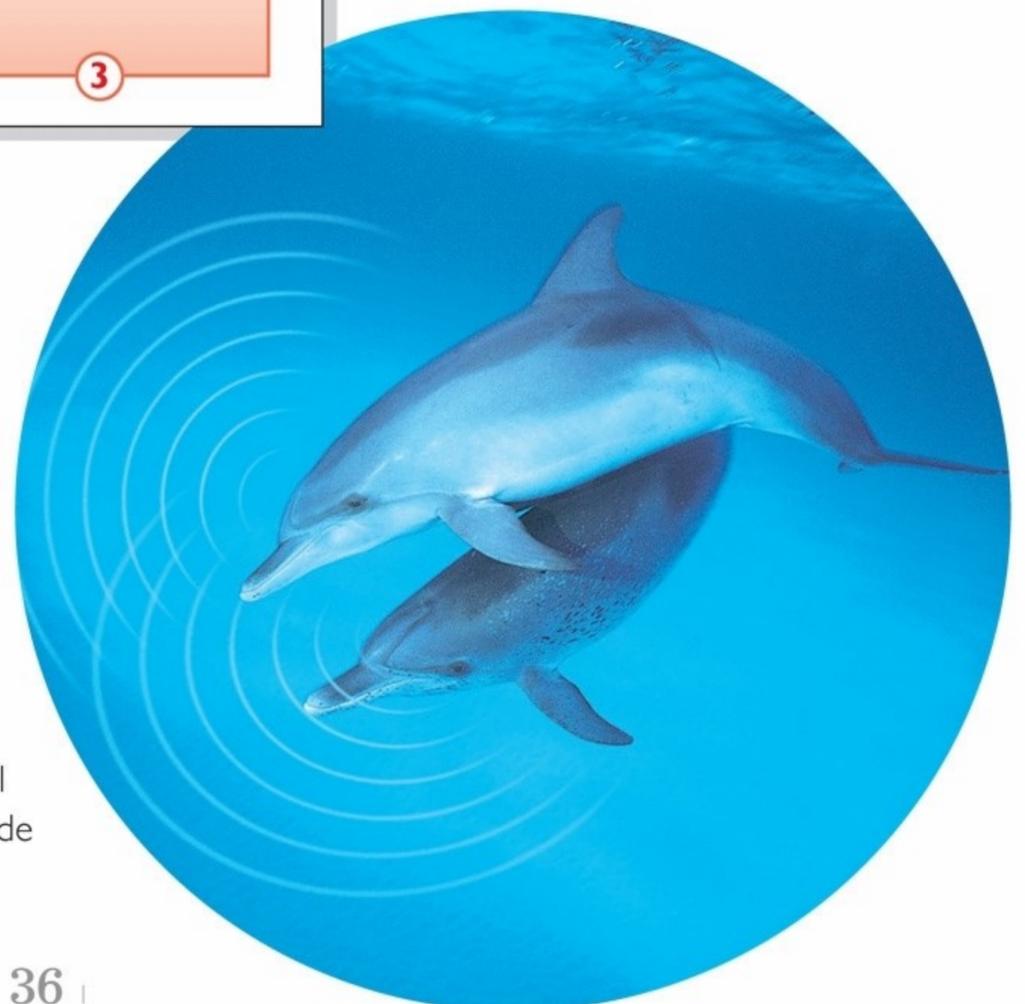
2. Oído medio. En él se ubica un conjunto de tres huesecillos, el **martillo**, el **yunque** y el **estribo**, que transmiten y amplifican las vibraciones del tímpano. El movimiento del estribo hace vibrar la **ventana oval**, ubicada entre el oído medio y el oído interno.

3. Oído interno. Formado por un pequeño conducto, llamado **cóclea** o **caracol**, lleno de fluido que transmite las vibraciones hasta terminaciones nerviosas que generan impulsos nerviosos hacia el **nervio auditivo**. Finalmente, el encéfalo procesa e interpreta los impulsos nerviosos como sonido.



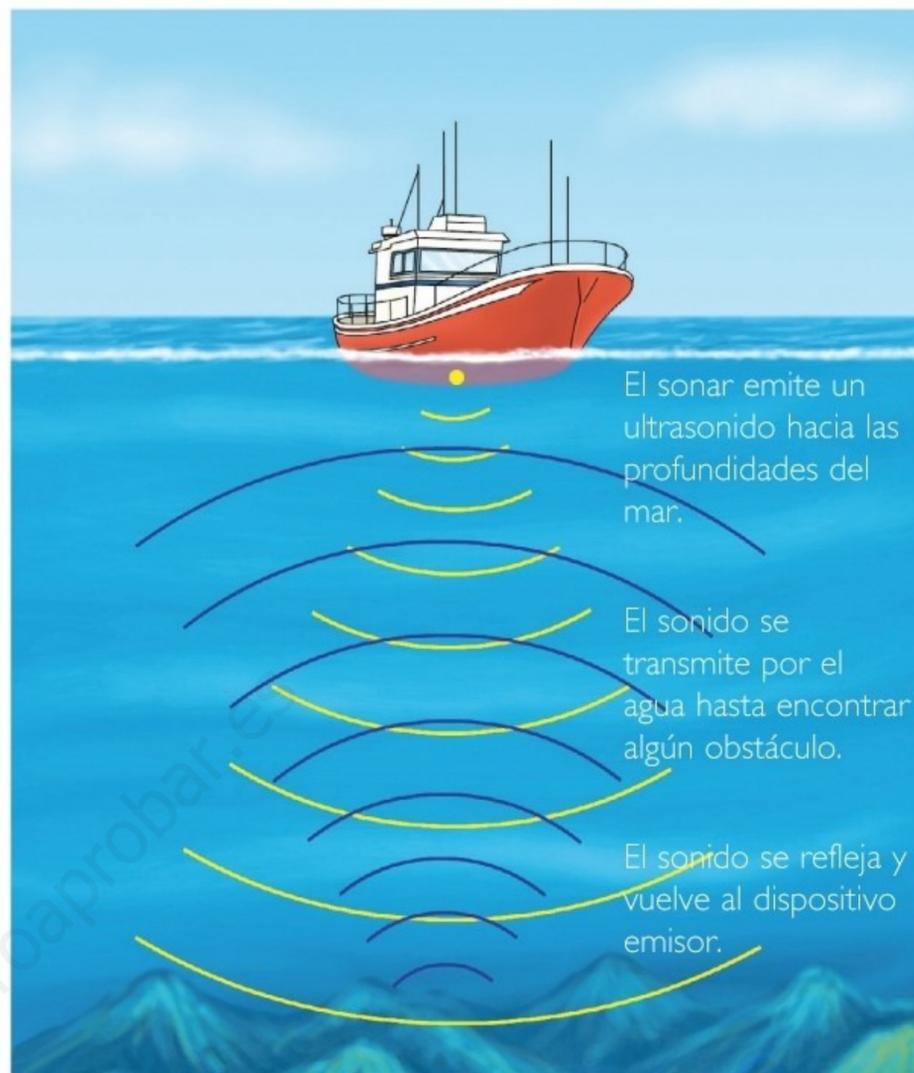
Detección de ultrasonidos en la naturaleza: la ecolocalización

Algunos mamíferos, como los delfines y los murciélagos, no necesitan de la visión para orientarse o buscar alimento, sino que emplean la audición. Estos animales tienen la capacidad de emitir ondas sonoras de alta frecuencia y luego percibir el eco de los sonidos que emiten, mecanismo llamado **ecolocalización**. Al recibir las ondas reflejadas en algún obstáculo del medio (troncos de árboles u otros animales, por ejemplo) pueden saber el tamaño, la distancia y la dirección de los distintos objetos y de esta forma conocer su entorno.



Navegación por sonidos: el sonar

El **sonar** (*sound navigation and ranging*) es un instrumento que se basa en la **reflexión** de ondas sonoras de alta frecuencia (ultrasonidos). El sonar se utiliza en la navegación marítima para localizar cardúmenes, barcos hundidos y detectar submarinos. Además, gracias a él ha sido posible realizar un mapa del relieve de los fondos oceánicos.



EN LA RED

La ecografía es una tecnología que permite obtener imágenes de distintos órganos del cuerpo a través de la reflexión de señales ultrasónicas. Ingresa los siguientes códigos: MF1037A y MF1037B y podrás observar una ecografía. Al respecto, ¿qué órganos se pueden observar usando esta técnica?, ¿cuáles son sus beneficios? Averigua sobre otros usos de los ultrasonidos en medicina.

EJERCICIO RESUELTO

Se desea determinar la profundidad a la que se encuentra el fondo marino. Para eso, se utiliza el sonar de un barco, que emite una señal ultrasónica hacia el fondo marino y la recibe de vuelta 3 segundos más tarde. Si la rapidez de propagación del sonido en el mar es 1.500 m/s, ¿cuál será la profundidad del fondo marino?

- La distancia (**d**) que recorre la onda de sonido es dos veces la profundidad (**h**) del fondo marino, pues la onda va hacia el fondo y luego se devuelve. Entonces: $d = 2 \cdot h = 2h$
- La rapidez de la onda (**v**) es igual a la distancia recorrida en un tiempo determinado: $v = \frac{d}{t}$
- Según el enunciado del problema, conocemos la rapidez del sonido en el mar (1.500 m/s) y el tiempo que la onda demora en ir al fondo marino y regresar (3 s). Así, podemos despejar la distancia recorrida según:

$$v = \frac{d}{t} = \frac{2h}{t} \Rightarrow 2h = vt$$

$$h = \frac{vt}{2} = \frac{1.500 \text{ m/s} \cdot 3 \text{ s}}{2} = \frac{4.500 \text{ m}}{2} = 2.250 \text{ m}$$

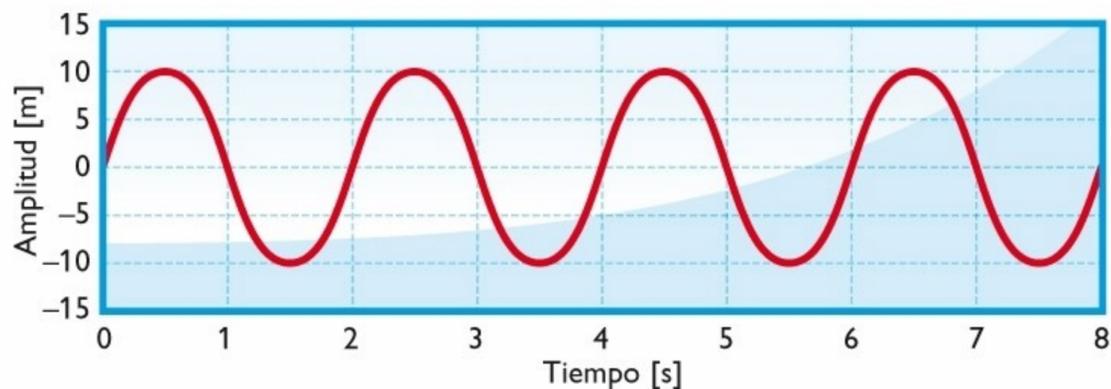
- Entonces, la profundidad del fondo marino, medida desde el barco, es de 2.250 metros.

Resolución de problemas

Propiedades de las ondas

A partir del perfil de onda mostrado en la figura, responde las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la amplitud de la onda?
- ¿Cuántos ciclos se registran en la figura?
- ¿Cuál es el valor de la frecuencia de oscilación?
- Si la rapidez de propagación de la onda es 3 m/s, ¿cuál es el valor de la longitud de onda?



1
Entender el problema
e identificar la
incógnita

2
Anotar los datos
del problema

3
Planificar
la estrategia

4
Ejecutar el plan

- Debemos interpretar el perfil de onda que muestra el gráfico y a partir de él determinar la magnitud de la amplitud, la frecuencia, la longitud de onda, y reconocer el número de ciclos que se observan en la figura.

- El eje y corresponde a la amplitud, medida en **metros**.
- El eje x indica el tiempo, en segundos, que tarda la onda en completar los ciclos mostrados en la figura. Se representan **8 segundos**.
- Rapidez de propagación de la onda: $v = 3 \text{ m/s}$

- Algunas de las magnitudes pedidas se pueden extraer realizando una correcta lectura del gráfico. Estas son la amplitud de la onda y el número de ciclos realizados.
- La frecuencia corresponde al número de ciclos por unidad de tiempo. La podemos calcular según la expresión: $f = \text{ciclos/tiempo}$.
- La longitud de onda (λ) la obtenemos a partir de la rapidez de propagación de la onda: $v = \lambda \cdot f$. Tenemos el valor de f y de v.

- La máxima distancia desde el punto de equilibrio al monte o valle de la onda son **10 m**, que corresponden a la amplitud. Además, la onda completa **4 ciclos** en **8 segundos**.
- Calculamos la frecuencia:

$$f = \frac{4 \text{ ciclos}}{8 \text{ segundos}} = 0,5 \frac{\text{ciclos}}{\text{s}} = 0,5 \text{ Hz}$$

- Como la rapidez es $v = \lambda \cdot f$, despejamos la longitud de onda y calculamos λ según:

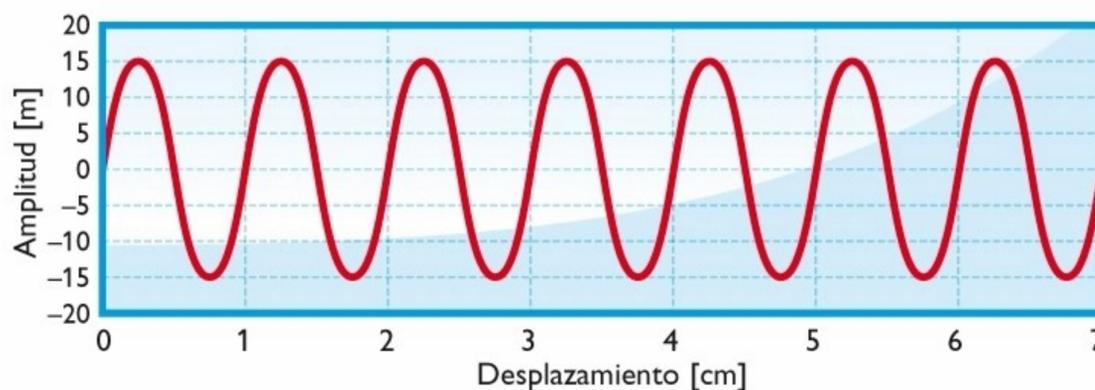
$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \text{ m/s}}{0,5 \text{ Hz}} = \frac{3 \text{ m/s}}{0,5 \cdot 1/\text{s}} = 6 \text{ m}$$

Respuesta

- La amplitud de onda es 10 m.
- La onda completa 4 ciclos en 8 segundos.
- La frecuencia de oscilación de la onda es 0,5 Hz.
- La longitud de la onda es 6 m.

Considerando el siguiente perfil de onda cuya frecuencia de oscilación es 8 Hz, determina:

- La amplitud de la onda.
- El período de la onda.
- El número de ciclos representados en la figura.
- La rapidez de propagación de la onda.



1

- Debemos interpretar el perfil de onda que muestra el gráfico y a partir de él determinar la magnitud de la amplitud, el período y la rapidez de la onda, y reconocer el número de ciclos que se observan en la figura.

2

- El eje y corresponde a la amplitud, medida en **metros**.
- El eje x indica la distancia de desplazamiento de la onda en **centímetros**.
- Frecuencia de la onda: **$f = 8 \text{ Hz}$** .

3

- La amplitud de la onda y el número de ciclos representados se obtienen al realizar una correcta lectura del gráfico.
- El período es el inverso de la frecuencia: $T = \frac{1}{f}$
- La rapidez de propagación se puede calcular según $v = \lambda \cdot f$. Tenemos el valor de la frecuencia, y podemos determinar la longitud de onda al leer el perfil de onda.

4

- La máxima distancia desde el punto de equilibrio al monte o valle de la onda son **15 m**, que corresponden a la amplitud. Además, la onda completa **7 ciclos**, recorriendo **7 cm**.
- Calculamos el período: $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{8 \text{ Hz}} = 0,125 \text{ s}$
- Determinamos la longitud de onda:

$$\lambda = \frac{\text{distancia recorrida}}{\text{número de ciclos}} = \frac{7 \text{ cm}}{7} = 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$$
- Calculamos la rapidez: $v = \lambda \cdot f = 0,01 \text{ m} \cdot 8 \text{ Hz} = 0,08 \text{ m/s}$

Respuesta

- La amplitud de la onda es 15 m.
- El período T es 0,125 s.
- La onda completa 7 ciclos.
- La rapidez de propagación de la onda (v) es 0,08 m/s.

PROBLEMAS PROPUESTOS

- Una onda posee una frecuencia de oscilación de 12 Hz. ¿Cuántos ciclos completará en 2 segundos?
- ¿Cuánto tiempo tardan en completarse 30 ciclos de una onda si se requiere que la frecuencia sea de 30 Hz?
- Las ondas de sonido se desplazan en el aire a 340 m/s. ¿Cuál es la longitud de onda de la nota *la*? (frecuencia: 440 Hz).

Contaminación acústica en las ciudades

Explorar el problema

Vivir en una gran ciudad siempre presenta ventajas y desventajas. Entre ellas las relacionadas con el hecho de que muchas personas cohabitan en un territorio reducido, en la cercanía de barrios industriales o con una gran aglomeración vehicular.

Aparte de la conocida contaminación del aire, la **contaminación acústica** es un problema frecuente en la mayoría de las grandes ciudades. Para definirla existen distintos parámetros, pues no solamente se trata de sonidos molestos o de mucha intensidad sino que, además, pueden producir malestares psicológicos y físicos e incluso lesiones irreversibles en el sistema auditivo. Así, el grado de contaminación acústica en un lugar se puede medir según distintos criterios.



En un estudio realizado el año 2001, por el Sesma, se midieron y evaluaron los niveles de ruido en la ciudad de Santiago y los resultados se compararon con los registrados en 1989, en un estudio similar. Para dichos estudios se consideraron los siguientes criterios:

- **Criterio de interferencia con el sueño.** Establece que el sueño de las personas puede ser interrumpido en aquellos lugares donde se registran sonidos superiores a 50 dB durante la noche (límite establecido por la EPA, sigla de la Agencia de Protección Ambiental, de Estados Unidos).
- **Criterio de aptitud residencial.** Establecido en 65 dB. Determina si un sector es apto o no para la construcción de viviendas. Este criterio ha sido definido por el Departamento de Desarrollo Urbano de los Estados Unidos.
- **Riesgo de pérdida auditiva a largo plazo.** Se puede manifestar a partir de los 70 dB. Este criterio también fue establecido por la EPA.

Los resultados del estudio del año 2001 y su comparación con los del año 1989, se presentan en las tablas que aparecen a continuación.

Tabla N° 5: Criterio interferencia con el sueño
Porcentaje de población expuesta

Intensidad sonora (dB)	Población expuesta (%)	
	1989	2001
Menor a 50	0	0
50 a 60	6,8	0,7
60 a 70	80,4	73,3
Mayor a 70	12,7	26

Fuente: Sesma, Minsal. *Estudio actualización de niveles de ruido del Gran Santiago 1989-2001*. Santiago, 2001.

Tabla N° 6: Criterio aptitud uso residencial del suelo.
Porcentaje de población expuesta

Intensidad sonora (dB)	Población expuesta (%)	
	1989	2001
Menor a 65	0	0
65 a 70	2,0	1,7
70 a 75	32,3	28,1
75 a 80	57,8	65,8
Mayor a 80	7,8	4,4

Fuente: Sesma, Minsal. Estudio actualización de niveles de ruido del Gran Santiago. Santiago, 2001.

Tabla N° 7: Criterio riesgo de pérdida auditiva a largo plazo. Porcentaje de población expuesta

Intensidad sonora (dB)	Población expuesta (%)	
	1989	2001
Menor a 70	18,5	16,4
70 a 75	57,7	72,6
75 a 80	22,3	11
Mayor a 80	1,4	0

Fuente: Sesma, Minsal. Estudio actualización de niveles de ruido del Gran Santiago. Santiago, 2001.

Analizar el problema

A partir de la información entregada, de tu propia búsqueda y de tu reflexión, responde las siguientes preguntas en tu cuaderno:

1. ¿Cuál de los tres criterios analizados te parece más dañino para la salud? Busca ejemplos de cada uno de los casos.
2. ¿En cuál de los criterios estudiados existe un mayor porcentaje de población expuesta sobre los límites?
3. Analiza los resultados para cada uno de los criterios: ¿se observa una mejoría o un retroceso en términos de contaminación acústica? Explica.
4. El estudio está orientado a la capital de nuestro país, pero ¿existe el problema solo allí, o también afectará a otras ciudades?
5. Menciona situaciones cotidianas que produzcan contaminación acústica.

Tomar una decisión

1. Averigua si hay estudios actualizados sobre contaminación acústica en la localidad en que vives. ¿Cuáles son sus conclusiones?
2. En tu comuna o ciudad, ¿cuáles son las principales fuentes de contaminación acústica?
3. ¿Existe contaminación acústica en tu colegio? Si es así, explica qué situaciones la producen.

Mi compromiso

A continuación se presentan algunas actividades. Reunidos en grupos elijan una, y con la ayuda del profesor o profesora, realícela para contribuir a disminuir la contaminación acústica.

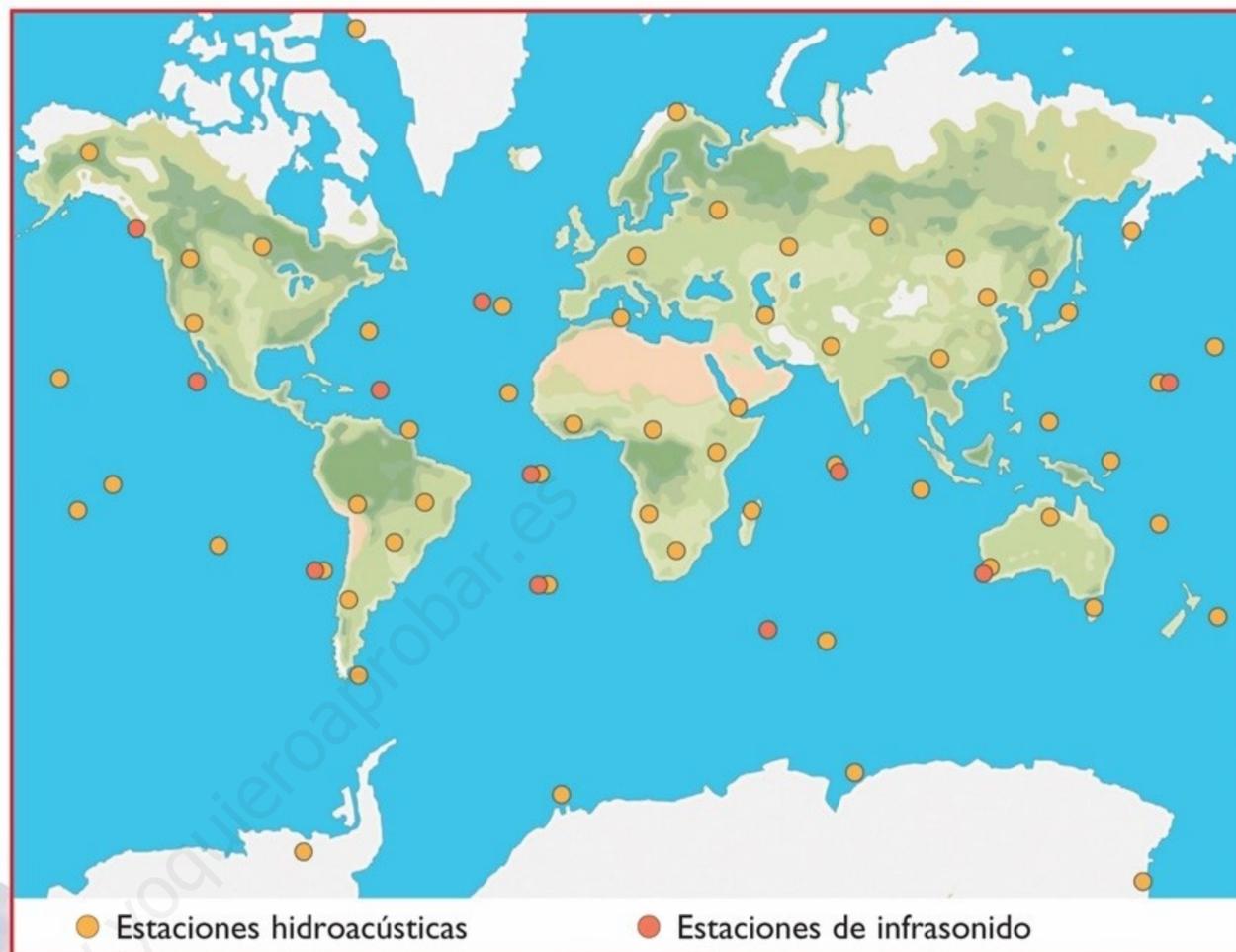
- Hagan una lista con las principales fuentes de contaminación acústica de la localidad donde está tu colegio y propongan medidas para disminuirla.
- Elaboren una lista con las situaciones que producen mayor ruido en el colegio y propongan medidas para evitarlas o disminuir sus efectos.
- Realicen una campaña para informar a la comunidad del colegio sobre los riesgos de la contaminación acústica y de las soluciones ideadas por ustedes.

Sistema Internacional de Monitoreo en el archipiélago de Juan Fernández

Nuestro territorio tiene una diversidad geográfica muy grande. Por esta característica es posible que algunos puntos del territorio sean especialmente estratégicos dentro de un contexto internacional. Entre ellos podemos mencionar la Antártica y algunas islas del Pacífico, como la Isla de Pascua y las del archipiélago Juan Fernández.

En la isla Robinson Crusoe, del mencionado archipiélago, desde el año 2003 funciona una **estación de monitoreo hidroacústico**, destinada a captar **ondas sonoras submarinas**, que eventualmente se podrían producir por ensayos nucleares bajo el mar o por causas naturales.

El proyecto es parte de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (CTBTO), que establece un Sistema Internacional de Monitoreo (SIM), el cual considera la instalación de 337 estaciones de monitoreo en todo el mundo, de las cuales siete estarán en Chile (tres actualmente en funcionamiento). De las distintas tecnologías usadas a nivel mundial para monitoreo, sesenta son estaciones con sensores de infrasonido y once son estaciones hidroacústicas ubicadas en lugares estratégicos, de manera que todos los océanos del planeta estén vigilados. Seis de las estaciones hidroacústicas (entre ellas la de la isla Robinson Crusoe) poseen **hidrófonos**, instrumentos



↑ Estaciones hidroacústicas y sensores de infrasonido del Sistema Internacional de Monitoreo.

muy sensibles, capaces de detectar ondas mecánicas producidas por fuentes situadas a cientos o miles de kilómetros.

Los sensores están ubicados a unos dos mil metros bajo el nivel del mar, y están conectados mediante fibra óptica a las estaciones de la isla. Cuando el sensor percibe una onda, la vibración mecánica se convierte en una señal eléctrica y luego en una señal óptica, la que se transmite a la

estación y se envía al Centro Internacional de Datos, en Viena, donde se discrimina si la señal proviene de un fenómeno natural, como sismos o vulcanismo submarino, o si proviene de una detonación atómica.

Este proyecto es un ejemplo de cómo, gracias a la colaboración internacional por la paz, es posible desarrollar tecnología, y Chile es parte de ello.

Infrasonidos en la naturaleza

Conocemos algunas de las aplicaciones de los ultrasonidos, como la ecografía y el sonar, pero poco sabemos de los infrasonidos, aunque estos se produzcan de manera frecuente en la naturaleza.

Algunos fenómenos naturales, tales como los tornados, las erupciones volcánicas, los tsunamis, las avalanchas y los terremotos, producen ondas sonoras de gran potencia, pero con frecuencias menores a 20 Hz, que corresponden a infrasonidos. Los seres humanos no los podemos percibir; sin embargo, existen animales con cavidades craneanas mayores a la humana, que les permiten percibir infrasonidos, e incluso comunicarse a través de ellos. Por ejemplo, elefantes, tigres y ballenas emiten infrasonidos para comunicarse a cientos de kilómetros de distancia. Lo anterior hace posible que muchos de estos animales detecten el desarrollo de catástrofes naturales con mayor antelación que nosotros.

El ser humano también es capaz de producir infrasonidos de manera artificial, por ejemplo, en el lanzamiento de cohetes, aviones supersónicos, máquinas de gran tamaño, y la más peligrosa de todas: las detonaciones nucleares. Justamente, con el objetivo de detectar y restringir el uso de pruebas nucleares se han ido desarrollando tecnologías que rastrean cualquier tipo de explosión nuclear, con estaciones de monitoreo en los océanos de todo el planeta.

En la actualidad, se ha desarrollado un creciente interés por la detección de este tipo de ondas sonoras. La comunidad científica busca desarrollar tecnologías que capturen infrasonidos, por ejemplo, aquellas que sean de utilidad en el pronóstico de catástrofes naturales, para tomar las medidas preventivas que permitan evitar la pérdida de vidas humanas y disminuir los posibles daños materiales.



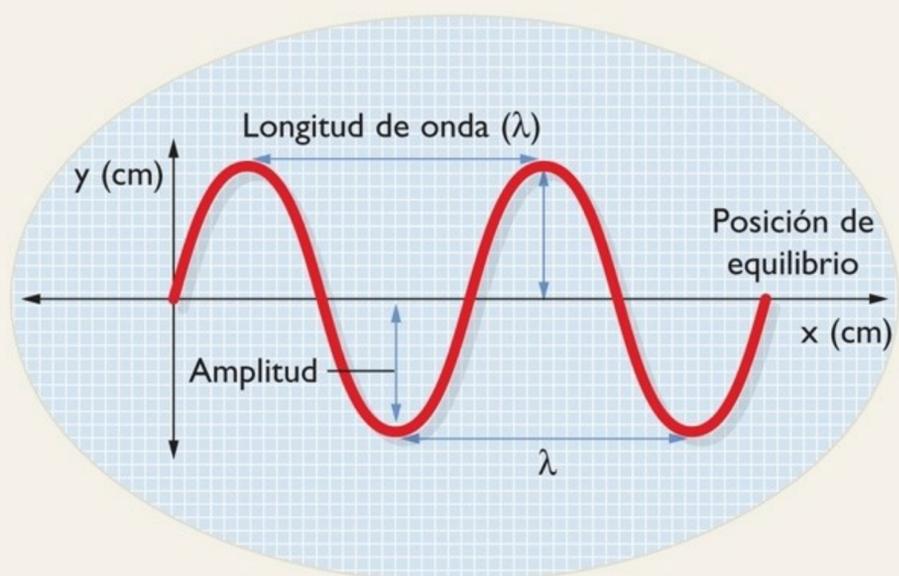
Muñoz, Juan Pablo. *Introducción a los infrasonidos y su recepción*. Tesis de Licenciatura, Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2002.

Comprendo lo que leo

1. ¿Qué es un infrasonido?
2. Nombra fuentes naturales y artificiales de infrasonidos.
3. ¿Qué ventajas representa para los animales la capacidad de percibir estas ondas?
4. Con respecto a lo anterior, ¿qué áreas de estudio se podrían interesar en la detección de infrasonidos?
5. Explica qué usos se le podría dar al tipo de ondas mecánicas mencionadas en la lectura.

Síntesis

- Una **onda** es un movimiento oscilatorio que se propaga en el espacio, transportando energía en su desplazamiento. Una fuente de ondas es todo dispositivo capaz de generar una perturbación que dé origen a un movimiento ondulatorio. (Pág. 14)
- Magnitudes básicas de una onda.



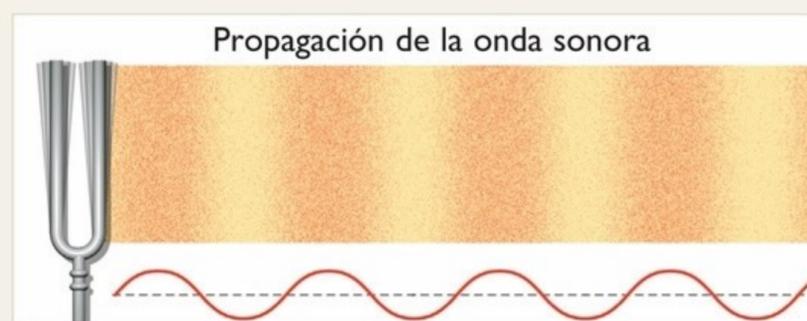
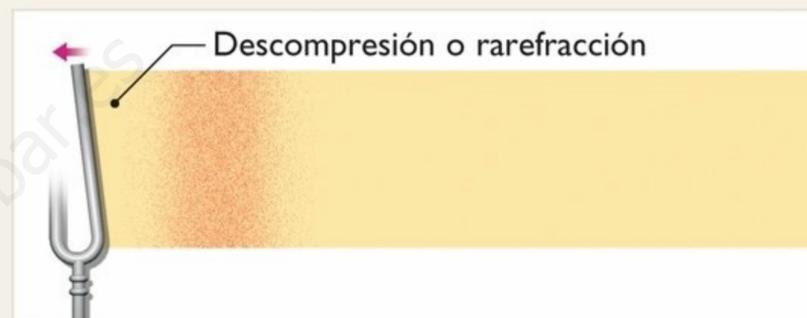
Período: tiempo empleado en completar un ciclo.

Frecuencia: número de ciclos realizados en una unidad de tiempo.

Velocidad de propagación: razón entre la distancia recorrida por la onda y el tiempo empleado en dicho desplazamiento. (Pág. 15)

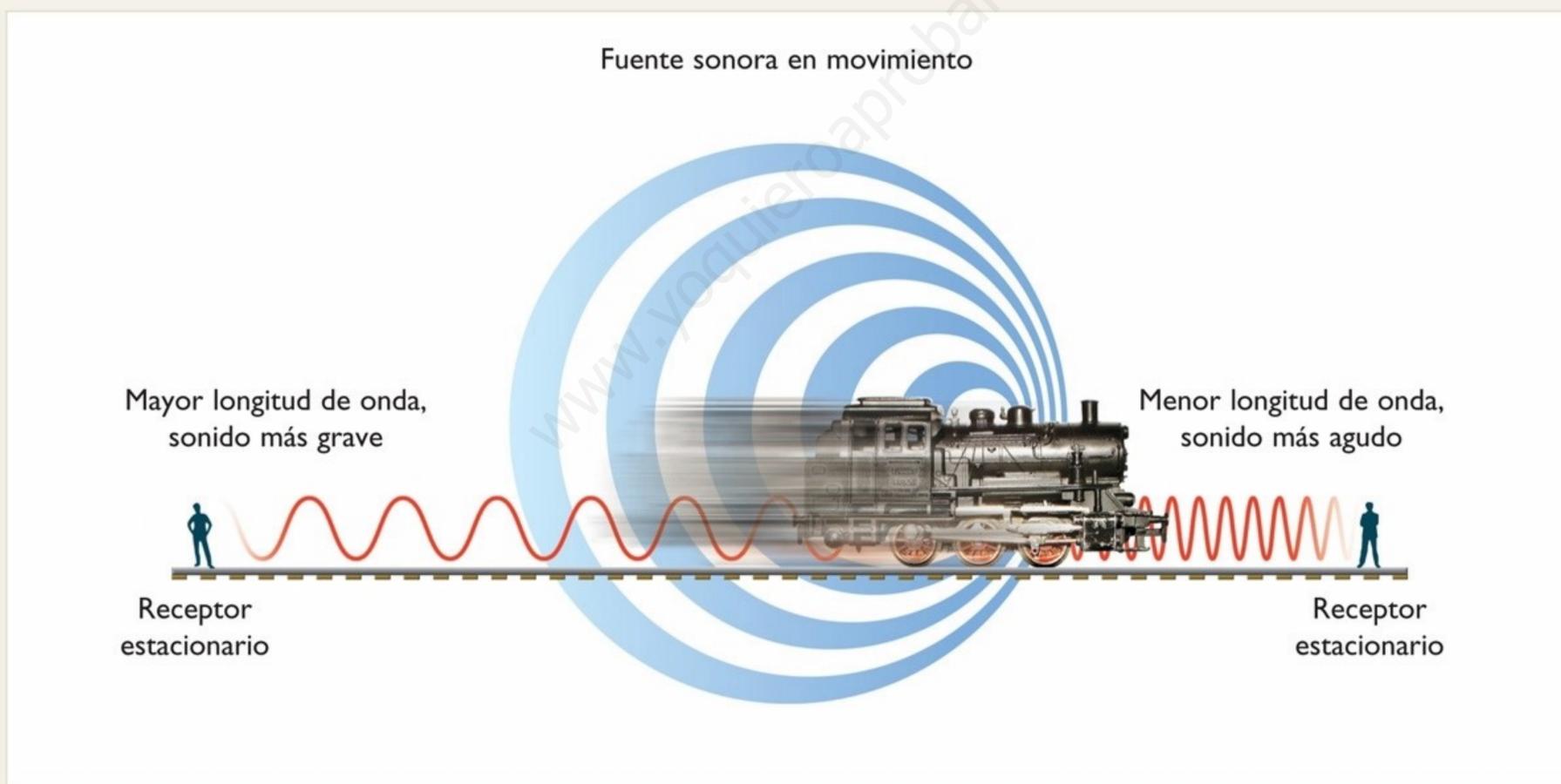
- Las ondas se pueden clasificar de acuerdo a diversos criterios: (Págs. 17 a 19)
 - Según su **desplazamiento**, en **ondas viajeras** y **estacionarias**.
 - De acuerdo a la **dirección de oscilación** de las partículas del medio, en **ondas longitudinales** y **transversales**.
 - De acuerdo al **medio de propagación**, en **ondas mecánicas** y **electromagnéticas**.
 - Durante su propagación, dos o más ondas pueden coincidir en la posición en que se encuentran, produciéndose el fenómeno de **interferencia**. (Págs. 20 y 21)
 - Cuando las ondas interactúan con la materia, se pueden producir fenómenos de **reflexión**, **refracción**, **difracción**, entre otros. (Págs. 22 a 25)

- Una onda de sonido es una onda mecánica que se propaga a través de la vibración de las partículas del medio. En las ondas de sonido longitudinales las partículas del medio experimentan compresiones y descompresiones inducidas por la fuente de emisión sonora. (Pág. 28)



- La velocidad de propagación del sonido depende de las características de los medios de propagación: la **densidad**, la **temperatura**, la **compresibilidad** (en líquidos y gases) y la **elasticidad** (en los sólidos). Todo medio de propagación que presente una mayor cercanía de las partículas que lo constituyen, será un buen transmisor del sonido. (Pág. 29)

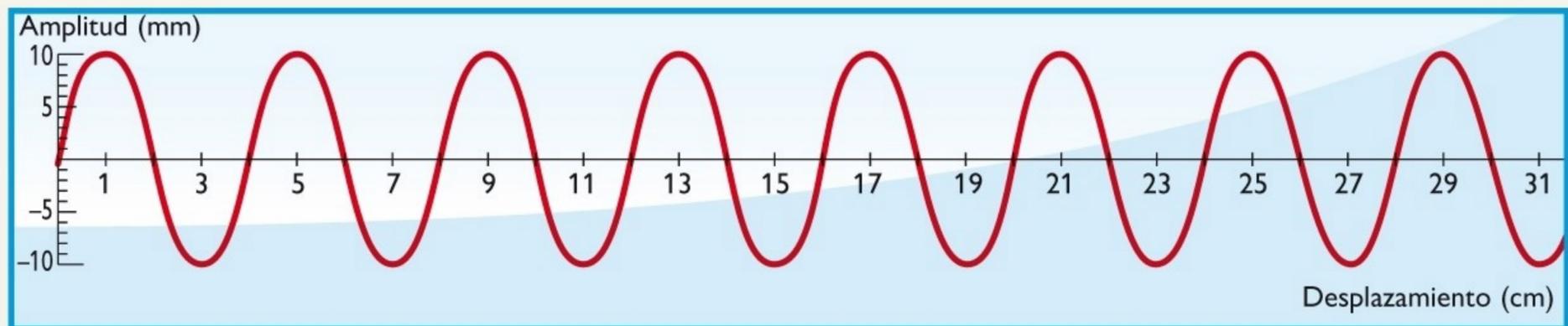
- Características de las ondas sonoras: (Págs. 30 y 31)
 - **Intensidad:** tiene relación con la cantidad de energía que transporta una onda. Usualmente se mide en dB.
 - **Tono:** está dado por la frecuencia de la onda, un sonido agudo tendrá mayor frecuencia que un sonido grave.
 - **Timbre:** es la **composición armónica** de un sonido, la cual representa la onda resultante de la superposición de la **frecuencia fundamental** y sus **armónicos**, ondas de diversas amplitudes, cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.
- Las ondas sonoras experimentan fenómenos de reflexión, refracción, absorción y difracción. La reflexión del sonido comúnmente se llama **eco**. La **reverberación** corresponde a múltiples reflexiones en las paredes y los cielos de un recinto y causa la percepción tardía del sonido una vez que ha cesado su emisión. (Pág. 32)
- Una onda sonora puede inducir oscilaciones en un material. Si las partículas del material vibran con la mayor amplitud de oscilación posible, por acción de la onda sonora, quiere decir que vibran en su frecuencia natural de oscilación; este fenómeno se conoce como **resonancia acústica**. (Pág. 33)
- El **efecto Doppler** es la variación en la percepción de frecuencia de una onda sonora debido al movimiento de la fuente emisora, del receptor del sonido, o de ambos. (Págs. 34 y 35)



- El **sonar**, aparato utilizado en la navegación, se basa en la reflexión de ondas sonoras para realizar la ecolocalización de objetos submarinos o bien estimar la profundidad del fondo marino. El **ecógrafo** utiliza la reflexión de ondas sonoras de alta frecuencia (ultrasonidos) para estudiar tejidos y órganos. (Pág. 37)

Evaluación final

1 La onda de la figura está siendo emitida con un pulsador que vibra en forma continua a 20 Hz. Determina:



- a. La amplitud de la onda.
- b. La longitud de onda.
- c. La velocidad de propagación.
- d. El período de la onda.

2 Las ondas de un radar se emiten con $\lambda = 3,6$ cm. Si su rapidez de propagación es de 3×10^8 m/s, ¿cuál es su frecuencia?

3 Dibuja las ondas que interfieren y la onda resultante, en cada caso:

- a. Dos ondas de igual amplitud y frecuencia, pero desplazadas en $\lambda/4$.
- b. Dos ondas de igual frecuencia, una de ellas con el doble de amplitud que la otra.

4 Responde:

- a. ¿Es posible transportar energía de un lugar a otro sin transportar materia? Fundamenta tu respuesta.
- b. Imagina dos personas en la Luna, una de ellas saca de su bolsillo una sirena muy aguda; ¿qué tan fuerte oírás la sirena la otra persona?, ¿por qué?
- c. Ordena de mayor a menor los siguientes medios según la velocidad de propagación del sonido en ellos:
 - i. Hierro.
 - ii. Aire frío.
 - iii. Agua.
 - iv. Aire caliente.

5 Un montañista grita frente a una montaña y dos segundos después escucha el sonido reflejado.

- a. ¿Cuál es el fenómeno físico que se ha producido?
- b. ¿A qué distancia se encuentra la montaña?
- c. Si emite el mismo grito en un día caluroso, ¿demorará más o menos tiempo en escuchar el sonido reflejado?

6 Para que un sonido de frecuencia 1,7 kHz que se propaga en el aire experimente el fenómeno de difracción (rapidez del sonido: 340 m/s en el aire; 1.500 m/s en el agua),

- a. ¿cuál debe ser el tamaño aproximado del obstáculo sobre el cual debe incidir?
- b. Si el sonido se propaga en el agua, ¿cual sería el tamaño de los obstáculos que producirían difracción?

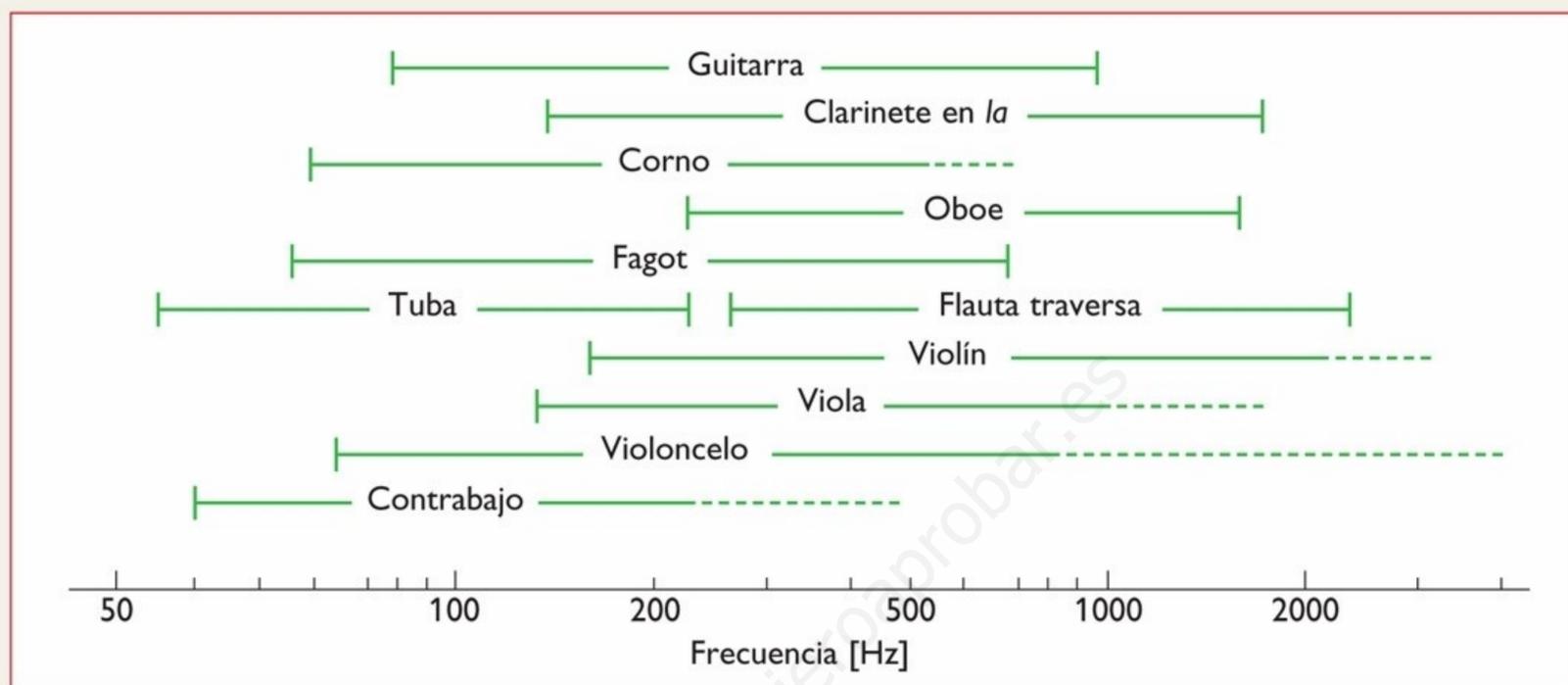
7 El sonar de un barco pesquero registra el eco de su señal 0,9 segundos después que la ha emitido y rebotado en un banco de peces (rapidez del sonido en el agua 1.500 m/s).

- a. ¿A qué distancia se encuentra el banco de peces?
- b. ¿Cuál es el fenómeno físico en el que se basa el sonar?

8 El oído humano percibe sonidos que poseen frecuencias comprendidas entre 20 Hz y 20.000 Hz.

- ¿Cómo se denominan los sonidos con frecuencias superiores?
- ¿Qué aplicaciones tiene este tipo de sonidos?
- Calcula el rango de longitudes de onda que el oído humano percibe a través del sonido.

9 Observa el esquema del espectro acústico de algunos instrumentos musicales y luego responde:



Nota: el intervalo de frecuencia no está a escala.

- ¿Cuál es el instrumento con menor rango de frecuencias?, ¿cuál tiene el mayor rango?
- ¿Cuál de estos instrumentos puede emitir un sonido de mayor frecuencia?, ¿cuál, el de menor frecuencia?
- Nombra los dos instrumentos que emiten los sonidos con los tonos más agudos y dos con los tonos más graves.
- Si el violín, la flauta y el oboe son capaces de emitir la nota *la* con la misma frecuencia: 440 Hz, ¿en qué se diferencian sus sonidos?

10 Un avión viaja a 280 m/s y emite un sonido de frecuencia 5 kHz. Calcula la frecuencia del sonido que percibe un receptor en tierra en los siguientes casos:

- a medida que el avión se acerca;
- luego que el avión pasa y se aleja.

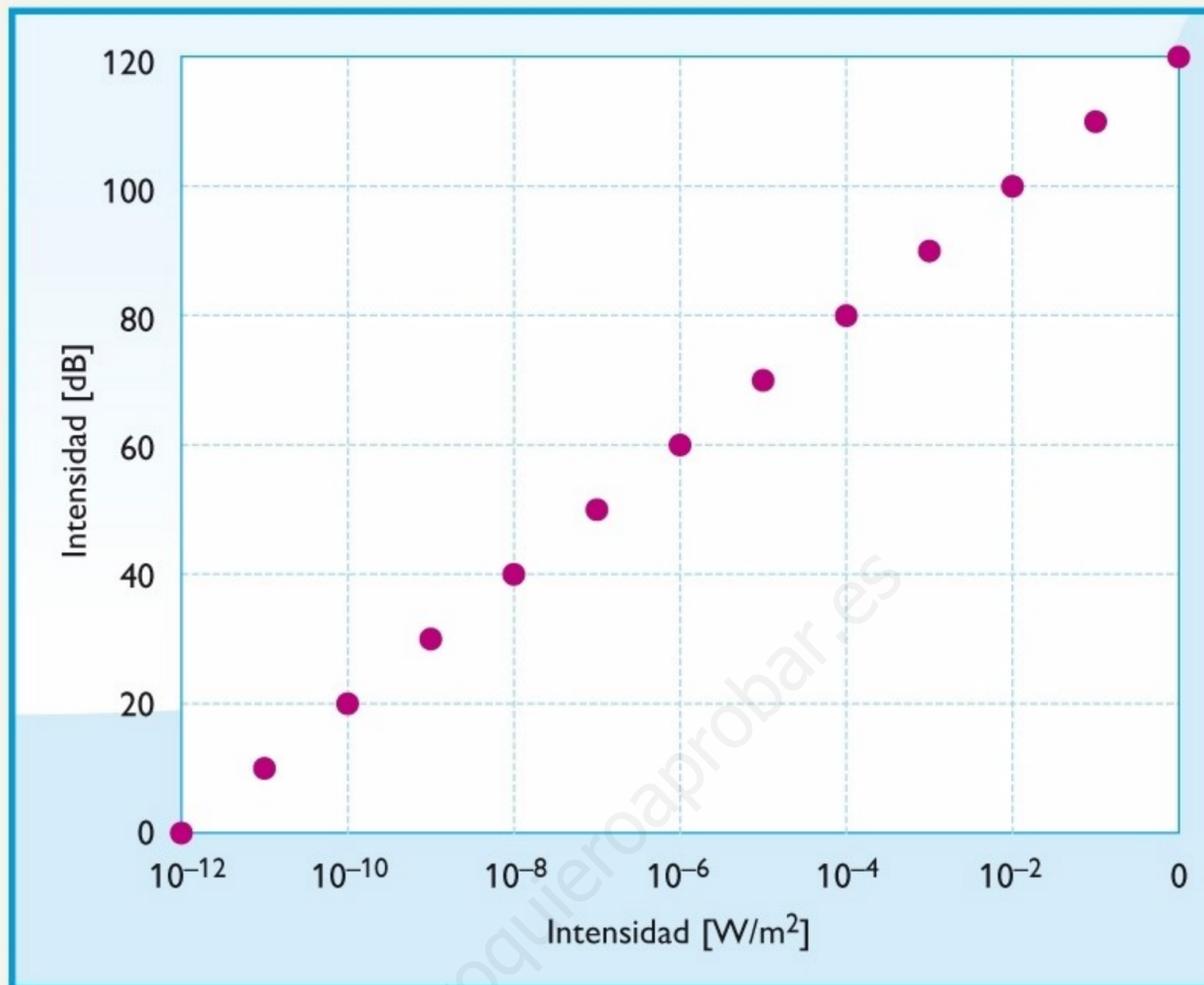
11 El conductor de un automóvil detenido en una esquina observa que un carro de bomberos se aproxima. Si el carro avanza a 30 m/s y el conductor percibe el sonido emitido por la sirena del carro con una frecuencia de 440 Hz:

- ¿cuál será la frecuencia del sonido cuando el carro de bomberos esté detenido?
- ¿cuál será la frecuencia percibida por el conductor del automóvil cuando el carro de bomberos se aleje, manteniendo la misma velocidad?

Evaluación final

- 12** El siguiente gráfico representa la relación entre la intensidad de la onda sonora, medida en W/m^2 , y la intensidad medida en decibeles. Observa el gráfico y responde:

Gráfico N° 1: Intensidad sonora



- ¿Cuál es la magnitud de la intensidad, medida en decibeles, que corresponde al “umbral de dolor”? ¿A cuántos W/m^2 equivale?
- Si un sonido es emitido con una intensidad de $1 \times 10^{-4} \text{ W}/\text{m}^2$, ¿a cuántos decibeles equivale?
- Si una guitarra emite un sonido a 50 dB, ¿cuál será su intensidad en W/m^2 ?

- 13** Un radar de tráfico ubicado en una autopista emite un haz de microondas que, al rebotar contra un automóvil, tarda $2 \times 10^{-7} \text{ s}$ en ser recibida por el aparato. El siguiente haz de microondas se emite al cabo de dos segundos y tarda $6 \times 10^{-7} \text{ s}$ en regresar. A partir de esta información, responde: (rapidez de las ondas microondas = $3 \times 10^8 \text{ m}/\text{s}$)

- ¿Qué fenómenos ondulatorios están involucrados en este procedimiento?
- ¿A qué distancia se encuentra el automóvil cuando le llega la primera onda?
- ¿Y cuando le llega la segunda onda?
- ¿A qué rapidez circula el auto?

Reviso

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

DESCRIPTOR	PREGUNTA	PUNTAJE	¿QUÉ DEBES HACER?
Reconocer elementos característicos de las ondas periódicas y resolver ejercicios relacionados con estos.	1, 2, 3 y 4a		Si obtienes menos de 8 puntos, realiza la actividad 1. Si obtienes 8 puntos, realiza la actividad 2.
Reconocer que el sonido se origina de vibraciones.	4b, 4c, 5, 6, 7 y 8		Si obtienes menos de 10 puntos, realiza la actividad 3. Si obtienes 10 o más puntos, realiza la actividad 4.
Describir los fenómenos de absorción, reflexión y transmisión del sonido y resolver ejercicios sobre reflexión del sonido.			
Identificar y diferenciar características básicas del sonido: intensidad, tono y timbre.	9 y 12		Si obtienes 6 puntos o menos, realiza la actividad 5. Si obtienes más de 6 puntos, realiza la actividad 6.
Analizar el efecto Doppler.	10 y 11		Si obtienes menos de 4 puntos, realiza la actividad 7. Si obtienes 4 puntos, realiza la actividad 8.
Reconocer los principios ondulatorios en el funcionamiento de aparatos tecnológicos que utilizan las ondas de sonido.	13		Si obtienes menos de 3 puntos, realiza la actividad 9. Si obtienes más de 3 puntos, realiza la actividad 10.

Actividades

- ACTIVIDAD 1.** Dibuja una onda de $v = 20 \text{ m/s}$; $f = 0,5 \text{ Hz}$, y $A = 10 \text{ m}$, en función del tiempo y de la distancia.
- ACTIVIDAD 2.** Diseña una experiencia sencilla para demostrar que las ondas transportan energía y no materia.
- ACTIVIDAD 3.** Explica los fenómenos de reflexión (eco y reverberación), absorción y difracción del sonido, señalando sus diferencias y condiciones para que ocurran.
- ACTIVIDAD 4.** Diseña una experiencia donde demuestres que el sonido se refleja mejor en unos materiales que en otros.
- ACTIVIDAD 5.** Explica las diferencias entre: intensidad, tono y timbre de un sonido.
- ACTIVIDAD 6.** Una nota musical es tocada por varios instrumentos musicales: ¿cambia el tono o el timbre de esa nota?
- ACTIVIDAD 7.** Una ambulancia circula por la calle, con su sirena encendida, mientras que un ciclista lo hace en la misma dirección. Explica cómo es el tono del sonido a medida que la ambulancia se acerca al ciclista y lo sobrepasa.
- ACTIVIDAD 8.** Averigua las relaciones matemáticas que te permiten calcular en forma exacta la frecuencia que escucha un receptor si se acerca o aleja a una fuente de sonido en reposo.
- ACTIVIDAD 9.** Explica a través de un esquema cómo funciona un ecógrafo y un sonar.
- ACTIVIDAD 10.** Investiga sobre otros instrumentos tecnológicos que funcionan a base de ondas.

Preparando la PSU

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

Analizando una pregunta

1 El sonido de un reloj mural se puede percibir si se pone el oído en la pared. Esto se explica por un fenómeno de:

- A. reflexión.
- B. absorción.
- C. resonancia acústica.
- D. difracción.
- E. transmisión.

Corrección:

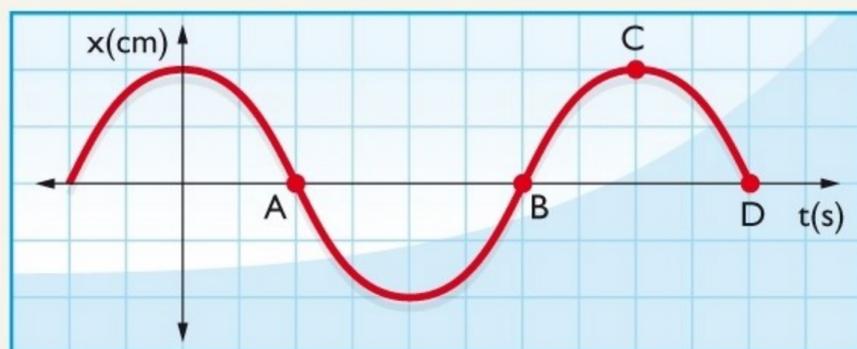
Ninguno de los fenómenos enunciados en las alternativas A, B, C y D explican que se pueda oír el sonido del reloj al poner el oído en la pared. Esto se explica porque el sonido requiere de un medio material para transmitirse. Por eso, el sonido del reloj mural puede transmitirse por las partículas que forman la pared y podemos escucharlo al acercarnos al oído a esta. Entonces, la alternativa E es correcta.

2 Si un resorte realiza N oscilaciones en un minuto, ¿cuál de las siguientes expresiones representa su frecuencia?

- A. N Hz
- B. $\frac{N}{60}$ Hz
- C. $\frac{N}{60}$ revoluciones por minuto
- D. $\frac{N}{30}$ Hz
- E. N revoluciones por segundo

El esquema 1 representa una onda transversal. En el eje vertical, cada cuadro representa una unidad de longitud; en el eje horizontal, cada cuadro representa un segundo. A partir del esquema 1, responde las preguntas 3, 4 y 5.

Esquema 1



3 Del esquema 1 se puede deducir que:

- A. la amplitud de la onda es de 4 cm.
- B. el tramo AB representa un período.
- C. el tramo AD representa la frecuencia.
- D. el tramo AD representa el período.
- E. el punto C representa la máxima rapidez.

4 En el esquema 1, de acuerdo a la escala de tiempo, se puede inferir que:

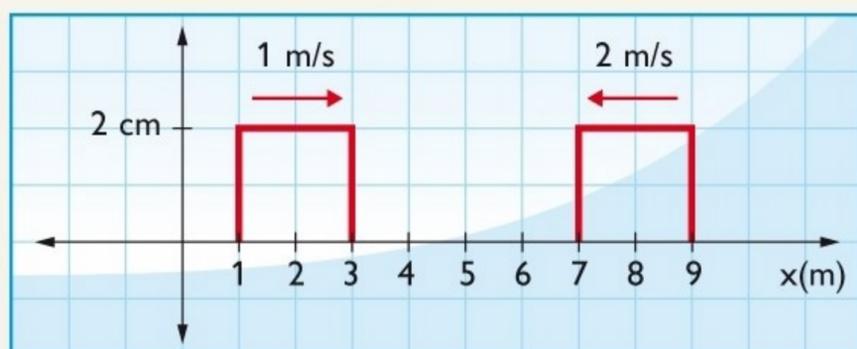
- A. el período de la onda es de 4 s.
- B. la frecuencia de la onda es 0,125 Hz.
- C. el período es de $\frac{1}{8}$ s.
- D. la frecuencia es de 8 Hz.
- E. no se puede determinar el período ni la frecuencia.

5 Suponiendo que la onda del esquema 1 es una onda viajera, ¿cuál sería la longitud de onda para que la rapidez de propagación sea 1 cm/s?

- A. 0,2 m
- B. 0,8 cm
- C. 8 m
- D. 0,8 m
- E. 8 cm

- 6 El esquema 2 muestra dos pulsos viajeros cuadrados, que se mueven en sentidos contrarios con rapidez de 1 m/s y 2 m/s, respectivamente. Considerando que se superponen constructivamente, ¿en qué instante la amplitud será de 4 cm?

Esquema 2



- A. $t = 0$ (s)
 B. $t = 0,5$ (s)
 C. $t = 1,5$ (s)
 D. $t = 2$ (s)
 E. $t = 1,5$ (s)
- 7 Un excursionista se encuentra en un mirador frente a una montaña y emite un grito; segundos después escucha su eco. El fenómeno se produce debido a una propiedad de las ondas llamada:
- A. reflexión.
 B. superposición
 C. refracción.
 D. difracción.
 E. dispersión.
- 8 Se produce una erupción volcánica submarina y, producto de aquello, las ondas sonoras se propagan primero por el agua y luego salen al aire. Al respecto, ¿cuál de las siguientes opciones es correcta?

- A. La velocidad de propagación de la onda aumenta al salir del agua.
 B. La longitud de la onda aumenta al salir del agua.
 C. La frecuencia de onda aumenta al salir del agua.
 D. El período de la onda, al propagarse por el aire, es mayor que cuando se propagó por el agua.
 E. La velocidad de la onda disminuye al salir del agua.

Fuente: www.demre.cl. Pregunta liberada del proceso de admisión 2005. (Adaptación)

- 9 La profesora de música pide a dos alumnos que toquen la misma nota con igual intensidad. Uno de los alumnos tiene una flauta y el otro una quena. Los sonidos se perciben distintos debido a que:

- A. tienen una frecuencia distinta.
 B. poseen un timbre diferente.
 C. la longitud de onda es diferente.
 D. tienen distinta altura.
 E. no se pueden soplar con la misma intensidad.

En el esquema 3, el punto P representa una fuente sonora que vibra con movimiento periódico y se mueve hacia la derecha. Los puntos A y B representan dos observadores estáticos. Utiliza el esquema 3 para responder las preguntas 10 y 11.

Esquema 3



- 10 Con relación a la representación del esquema 3, selecciona la alternativa correcta.
- A. B percibe una frecuencia menor que A.
 B. Ambos perciben la misma frecuencia.
 C. A escucha un tono más agudo que B.
 D. B escucha un tono más agudo que A.
 E. Ambos escuchan el mismo tono.
- 11 Con relación al esquema 3, se puede afirmar que:
- I. la longitud de onda percibida por A es mayor.
 II. la frecuencia con que vibra la fuente sonora no cambia.
 III. la longitud de onda percibida por B es mayor.
- A. Solo I
 B. Solo II
 C. Solo III
 D. I y II
 E. II y III

Unidad 1 Ondas y sonido

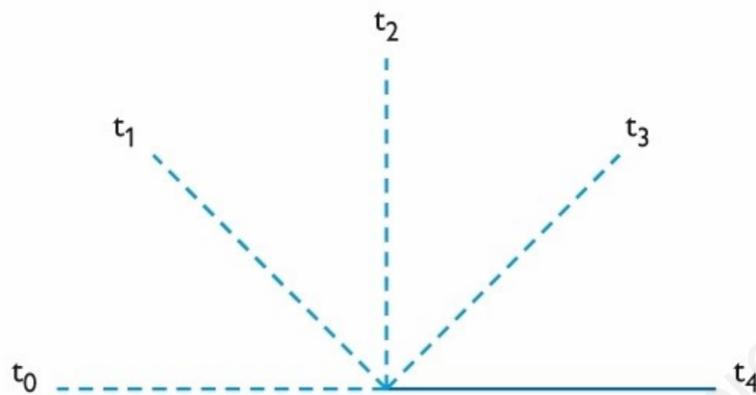
Evaluación diagnóstica (páginas 10 y 11)

1. 4 puntos en total.

- a. Aerogenerador, columpio y reloj de péndulo. (3 puntos)
- b. La principal característica de un movimiento periódico es que su posición se repite en intervalos de tiempo idénticos llamados períodos. (1 punto)

2. 3 puntos en total.

a. (1 punto)



Nota: La amplitud de la oscilación depende de la longitud del parabrisas.

- b. Demora 2 segundos en completar una oscilación. (1 punto)
- c. La frecuencia del limpiaparabrisas es 0,5 Hz (también se puede expresar: 0,5 1/s). (1 punto)

3. 3 puntos en total.

- a. Desplazamiento máximo desde la posición de equilibrio, ya sea hacia arriba o hacia abajo. (1 punto)
- b. Se puede medir el tiempo que demora en retornar al punto de equilibrio, una vez que ha pasado por ambas posiciones extremas. (1 punto)
- c. La oscilación debería disminuir de amplitud hasta que el resorte se detenga en su posición de equilibrio. (1 punto)

4. La rueda realiza 8 vueltas en 4 segundos, la frecuencia de rotación es 2 Hz (2 vueltas/segundo). (1 punto)

5. La alternativa **b** es la correcta. El agua sube y baja en cada punto de la superficie. (1 punto)

6. 3 puntos en total.

- a. La voz se escucha debido a que el sonido se refleja en la superficie esférica. (1 punto)
- b. Si los niños se alejan de los discos y se mantienen de espaldas, la voz del otro debería escucharse con menor intensidad. (1 punto)
- c. Una hipótesis podría ser: la intensidad del sonido dependerá de la distancia que recorre hasta llegar a la otra persona. Cuando la distancia es amplia, el sonido será de poca intensidad; cuando están cerca de la superficie curva, el sonido viajará una distancia menor y tendrá mayor intensidad. (1 punto)

Evaluación de proceso (páginas 26 y 27)

1. 3 puntos en total.

- a.** Frecuencia; Hz. (1 punto) **b.** Frecuencia; longitud de onda (1 punto) **c.** Antinodos; nodos. (1 punto)

2. 4 puntos en total.

	Medio de propagación	Dirección de vibración	
a.	Ondas de radio.	electromagnética	transversal (1 punto)
b.	Una ola.	mecánica	transversal y longitudinal (1 punto)
c.	La luz del Sol.	electromagnética	transversal (1 punto)
d.	Las ondas producidas al estirar a lo largo un resorte.	mecánica	longitudinal (1 punto)

3. 4 puntos en total.

- a.** La frecuencia y el período son inversamente proporcionales; por tanto, si la frecuencia aumenta, el período debe disminuir. (1 punto)
b. La frecuencia de oscilación es 3 Hz. (1 punto)
c. La longitud de onda es 3,4 m. (1 punto)
d. La interferencia en el punto P es constructiva. El sonido escuchado en el punto P tiene el doble de intensidad que el sonido emitido por cada fuente sonora. (1 punto)

4. 2 puntos en total.

- a.** La onda reflejada tendrá el mismo ángulo de la onda incidente (48°), pero deberá ser dibujada en el lado derecho de la normal, desde el punto de unión de la normal con la superficie. (1 punto)
b. Esta situación es posible debido a la transmisión del sonido a través de los materiales (refracción). (1 punto)

Evaluación final (páginas 46 a 49)

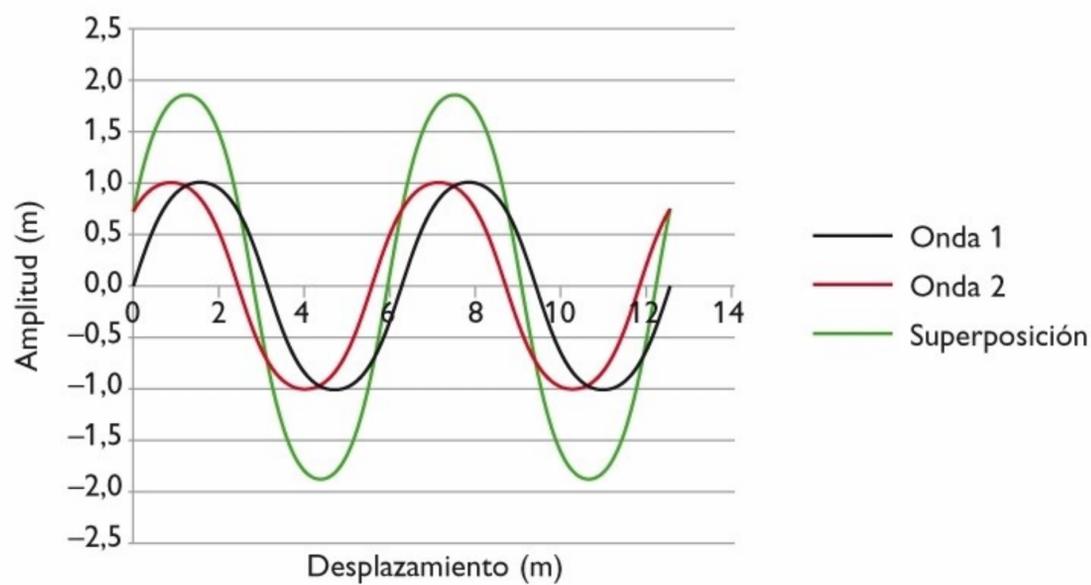
1. 4 puntos en total.

- a.** $A = 0,010 \text{ m} = 10 \times 10^{-3} \text{ m}$ (1 punto)
b. $\lambda = 0,04 \text{ m} = 4 \times 10^{-2} \text{ m}$ (1 punto)
c. $v = 0,8 \text{ m/s} = 8 \times 10^{-1} \text{ m/s}$ (1 punto)
d. $T = 0,05 = 5 \times 10^{-2} \text{ s}$ (1 punto)

2. La frecuencia de las ondas de radar es 8.333 MHz. (1 punto)

3. 2 puntos en total.

a. (1 punto)



b. (1 punto)



4. 3 puntos en total.

- Sí, las ondas pueden transportar energía sin transportar materia. (1 punto)
- Al estar en la Luna, ninguna de las dos personas debería percibir sonido, ya que el sonido necesita de un medio material para propagarse, lo que no ocurre en el espacio. (1 punto)
- Hierro, agua, aire caliente, aire frío. (1 punto)

5. 3 puntos en total.

- Se produce un eco debido a la reflexión de las ondas sonoras. (1 punto)
- La montaña se encuentra a 340 m. (1 punto)
- Demoraría menos tiempo en escuchar el sonido. (1 punto)

6. 2 puntos en total.

- Debe ser similar a la longitud de la onda, es decir, aproximadamente 0,2 m. (1 punto)
- Los obstáculos deberían ser de longitud 0,8 m. (1 punto)

7. 2 puntos en total.

- a. Se encuentra a 675 m del barco. (1 punto)
- b. El sonar se basa en la reflexión de ondas. (1 punto)

8. 3 puntos en total.

- a. Ultrasonidos. (1 punto)
- b. Se utilizan en medicina, en equipos médicos de diagnóstico llamados ecógrafos. También se aplican en el sonar. (1 punto)
- c. Desde 17 mm hasta 17 m. (1 punto)

9. 4 puntos en total.

- a. Menor rango de frecuencias: tuba; mayor rango de frecuencias: el violoncelo. (1 punto)
- b. Mayor frecuencia: violoncelo; menor frecuencia: tuba. (1 punto)
- c. Tonos más agudos: violoncelo y violín; tonos más graves: tuba y el contrabajo. (1 punto)
- d. Diferencian sus sonidos debido a su composición armónica o timbre. (1 punto)

10. 2 puntos en total.

- a. 28 kHz. (1 punto)
- b. 2,7 kHz. (1 punto)

11. 2 puntos en total.

- a. 401 Hz. (1 punto)
- b. disminuirá hasta 368 Hz. (1 punto)

12. 3 puntos en total.

- a. 120 dB; 0 W/m². (1 punto)
- b. 80 dB. (1 punto)
- c. 1×10^{-7} W/m². (1 punto)

13. 4 puntos en total.

- a. La medición se basa en la reflexión de las ondas. (1 punto)
- b. 30 m. (1 punto)
- c. 90 m. (1 punto)
- d. 42,5 m/s = 153 km/h. (1 punto)

Preparando la PSU (páginas 50 y 51)

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