

## Objetivos

En esta quincena aprenderás a:

- Relacionar la formación de una onda con la propagación de una perturbación de un lugar a otro...
- Clasificar las ondas según la dirección de vibración y el medio de propagación.
- Identificar y relacionar las magnitudes que caracterizan a las ondas.
- Reconocer las distintas cualidades del sonido.
- Conocer los fenómenos relacionados con la reflexión del sonido.
- Comprender las leyes de la refracción y la reflexión de la luz.
- Conocer el efecto de dispersión de la luz.
- Conocer los aspectos básicos de la naturaleza y propagación de la luz.

### Antes de empezar

1. El movimiento ondulatorio ..... pág. 182  
Movimiento vibratorio  
Concepto de onda  
Tipos de ondas  
Características de las ondas
2. Fenómenos ondulatorios ..... pág. 186  
Reflexión de las ondas  
Refracción de las ondas  
Difracción de las ondas  
Interferencia de las ondas
3. El sonido: Una onda longitudinal ... p. 188  
¿Cómo se produce el sonido?  
Velocidad de propagación  
Propiedades del sonido  
Cualidades del sonido  
Contaminación acústica  
Aplicaciones de ondas sonoras
4. La luz: Una onda transversal ..... pág. 198  
Naturaleza de la luz  
Propagación de la luz  
Reflexión de la luz  
Refracción de la luz  
Dispersión de la luz. Espectro  
El espectro electromagnético

### Ejercicios para practicar

### Para saber más

### Resumen

### Autoevaluación

### Actividades para enviar al tutor

# Las ondas

---

## Antes de empezar



### Recuerda

Los terremotos se forman por un movimiento brusco del terreno que libera energía en forma de ondas. Repasa qué tipo de ondas son y cómo se propagan y en qué medio. Puedes ver su explicación en el proyecto Biosfera pulsando en el botón adjunto.

### Investiga

¿Cómo podrías calcular la distancia a la que se encuentra una tormenta de forma sencilla? Ten en cuenta que la velocidad de la luz es de 300.000 km/s y la del sonido 340 m/s. Se puede considerar que la luz (relámpago) llega casi instantáneamente y el sonido (trueno) tarda un tiempo acorde a su velocidad.

## 1. El movimiento ondulatorio

### Movimiento vibratorio

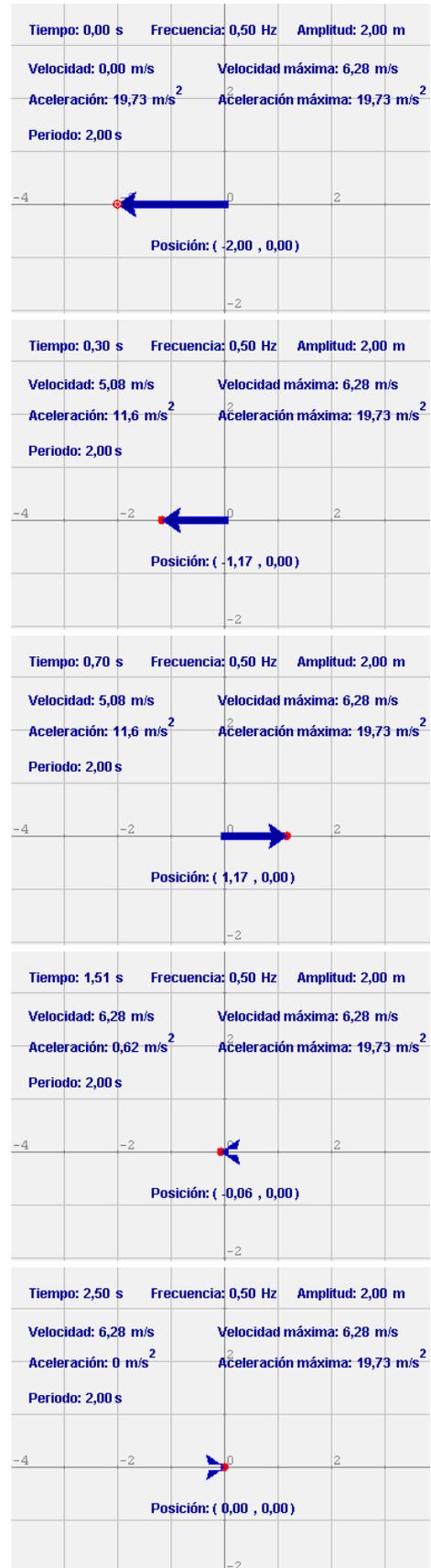
Consideraremos un cuerpo puntual. Cuando ese cuerpo se mueve en línea recta en torno a una posición de equilibrio se dice que tiene un **movimiento vibratorio u oscilatorio**. Si además siempre tarda el mismo tiempo en completar una oscilación y la separación máxima de la posición de equilibrio es siempre la misma decimos que se trata de un **movimiento vibratorio armónico simple (mvas)**.

Las magnitudes y unidades S.I. que definen un movimiento vibratorio son las siguientes:

- **Elongación.** Posición que tiene en cada momento la partícula vibrante respecto de la posición de equilibrio. Se suele representar mediante la letra  $x$  o  $y$ . Unidad S.I.: m.
- **Amplitud.** Máxima distancia de la partícula vibrante respecto de la posición de equilibrio. Se representa mediante la letra  $A$ . Unidad S.I.: m.
- **Periodo.** Tiempo que tarda la partícula vibrante en realizar una oscilación completa. Se nota por la letra  $T$  y es una magnitud inversa a la frecuencia.  $T=1/f$ . Unidad S.I.: s.
- **Frecuencia.** Número de vibraciones que se producen en la unidad de tiempo (en un segundo, un minuto, una hora... Se nota por la letra  $f$  y es una magnitud inversa al periodo.  $f=1/T$ . Unidad S.I.: Hz.
- **Velocidad de vibración.** Velocidad que lleva la partícula vibrante en cada momento. Se simboliza por la letra  $v$ . Unidad S.I.: m/s
- **Aceleración de vibración.** Aceleración que lleva la partícula vibrante en cada momento. Se representa mediante la letra  $a$ . Unidad S.I.:  $m/s^2$ .

Aunque no estudiaremos cuantitativamente este movimiento, si diremos que en la posición de equilibrio la velocidad es máxima y la aceleración nula y que en los extremos la aceleración es máxima y la velocidad nula.

A la izquierda se expone un ejemplo de mvas, con  $T=0,5$  s,  $f= 2.0$  Hz,  $A = 2$  m. Se ilustran varias posiciones para las que se indican sus correspondientes magnitudes.



## Concepto de onda

Cuando una vibración o perturbación originada en una fuente o foco se propaga a través del espacio se produce una onda. En particular nos centraremos en las ondas armónicas ideales, que son aquellas en las que la vibración que se transmite es armónica simple en todos sus puntos.

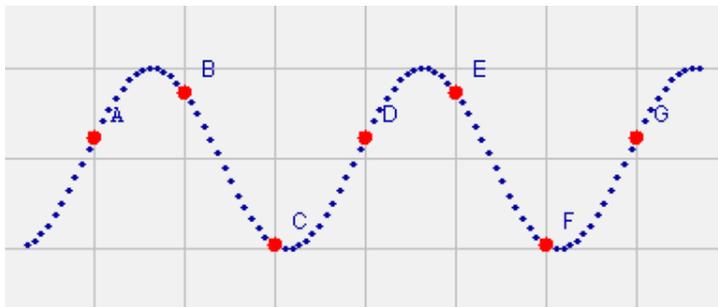
Este tipo de perturbación la produce un foco emisor o fuente de forma continua y se transmite a través de un espacio o medio capaz de transmitirla.

Conviene destacar que en los fenómenos ondulatorios, se transmite la vibración o perturbación y la energía que lleva asociada, pero no hay transporte de materia. Esto quiere decir que una onda transporta energía a través del espacio sin que se desplace la materia.

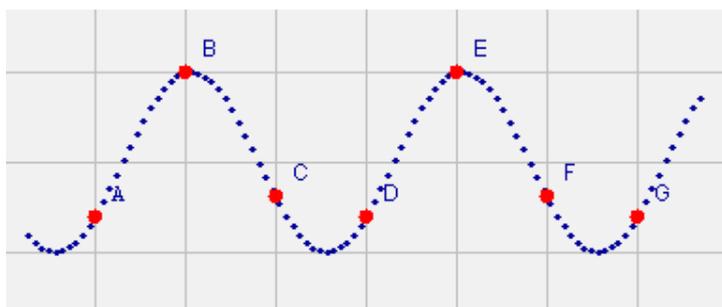
Ejemplos de ondas son: las olas del mar, el sonido, la luz, las ondas sísmicas, la vibración de una cuerda, etc.

A continuación veremos varias "fotografías" de una onda armónica en distintos instantes. En rojo se representan algunos puntos vibrantes que actúan como testigos a la hora de identificar la posición de esas partículas en los diferentes momentos.

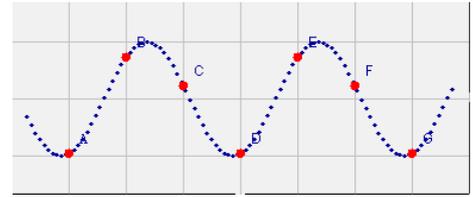
Instante 1.



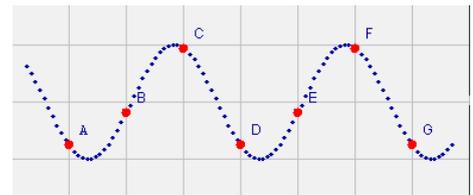
Instante 2.



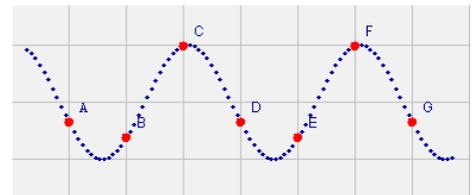
Instante 3.



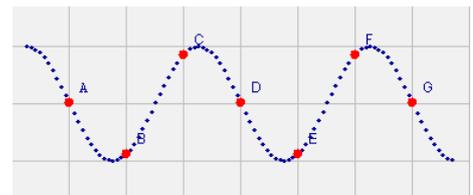
Instante 4.



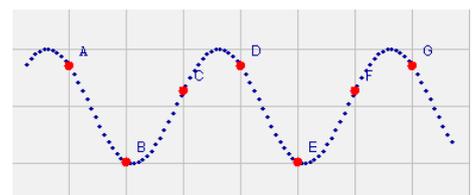
Instante 5.



Instante 6.



Instante 7.



# Las ondas

## Tipos de ondas

Las ondas se pueden clasificar de diferentes formas. A continuación veremos algunas de ellas:

A) Según la dirección de vibración de las partículas y de propagación de la onda.

**Longitudinales.** Son aquellas en que las partículas vibran en la misma dirección en la que se propaga la onda. Ej. El sonido, ondas sísmicas.

**Transversales.** Son aquellas en las que las partículas vibran perpendicularmente a la dirección en la que se propaga la onda. Ej. La luz, onda de una cuerda.

B) Según la dimensión de propagación de la onda.

**Unidimensionales.** Las que se propagan en una sola dimensión. Ej. Vibración de una cuerda.

**Bidimensionales.** Las que se propagan en dos dimensiones. Ej. Onda en la superficie del agua.

**Tridimensionales.** Las que se propagan en tres dimensiones. Ej. Luz, sonido. Ejemplos de ondas son: olas del mar, sonido, luz, ondas sísmicas, vibración de una cuerda, etc.

C) Según el medio que necesitan para propagarse.

**Mecánicas.** Necesitan propagarse a través de la materia. Ej. El sonido, olas del mar.

**Electromagnéticas.** No necesitan medio para propagarse, se pueden propagar en el vacío. Ej. La luz, calor radiante.

**A) Vibración-propagación**

Longitudinales  Transversales

**B) Dimensión propagación**

Unidimensionales

Bidimensionales

Tridimensionales

**C) Medio propagación**

Mecánicas  Electromagnéticas

Onda longitudinal, la vibración de las partículas (punto rojo) se produce en la misma dirección que la propagación de la onda.

ONDA DE SONIDO EN EL AIRE

ONDA EN UN MUELLE

Onda transversal, la vibración de las partículas (punto rojo) se produce en dirección perpendicular a la propagación de la onda.

PROPAGACIÓN DE UNA ONDA A TRAVÉS DE UNA CUERDA

Onda unidimensional, el medio en el que se propaga la onda es fundamentalmente unidimensional (cuerda).

PROPAGACIÓN DE UNA ONDA A TRAVÉS DE UNA CUERDA

Onda bidimensional, el medio por el que se propaga la onda (tela de la bandera), es básicamente bidimensional.

Onda tridimensional, el medio por el que se propaga la onda (espacio), es tridimensional.

Onda mecánica, el agua es el medio en el que se propaga la onda.

Ondas electromagnéticas. El aparato genera ondas electromagnéticas (polarizadas vibración del campo eléctrico y magnético en una dirección y no polarizadas la vibración de los campos eléctricos y magnéticos se produce en todas direcciones).

## Características de las ondas

Magnitudes y unidades S.I. que definen una onda son:

**Elongación (y):** Distancia de cada partícula vibrante a su posición de equilibrio. Unidad S.I.: m.

**Amplitud (A):** Distancia máxima de una partícula a su posición de equilibrio o elongación máxima. Unidad S.I.: m.

**Ciclo u oscilación completa:** Recorrido que realiza cada partícula desde que inicia una vibración hasta que vuelve a la posición inicial. Unidad S.I.: m.

**Longitud de onda (λ):** Distancia mínima entre dos partículas que vibran en fase, es decir, que tienen la misma elongación en todo momento. Unidad S.I.: m.

**Número de onda (n):** Número de longitudes de onda que hay en la unidad de longitud.  $\lambda = 1/n$ . Unidad S.I.: 1/m ó  $m^{-1}$ .

**Velocidad de propagación (v):** Velocidad con la que se propaga la onda. Espacio recorrido por la onda en la unidad de tiempo. Unidad S.I.: m/s.

**Periodo (T):** 1) Tiempo en el que una partícula realiza una vibración completa. 2) Tiempo que tarda una onda en recorrer el espacio que hay entre dos partículas que vibran en fase.  $T = 1/f$ . Unidad S.I.: s.

**Frecuencia (f):** 1) N° oscilaciones de las partículas vibrantes por segundo. 2) N° oscilaciones que se producen en el tiempo en el que la onda avanza una distancia igual a  $\lambda$ .  $f = 1/T$ . Unidad S.I.: (Hz=ciclos/s).

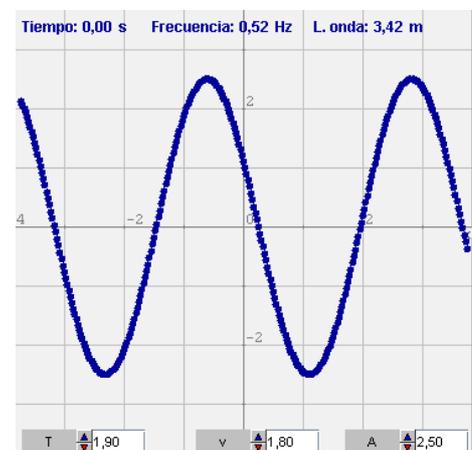
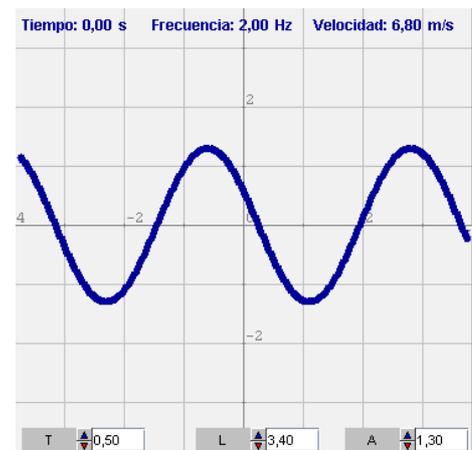
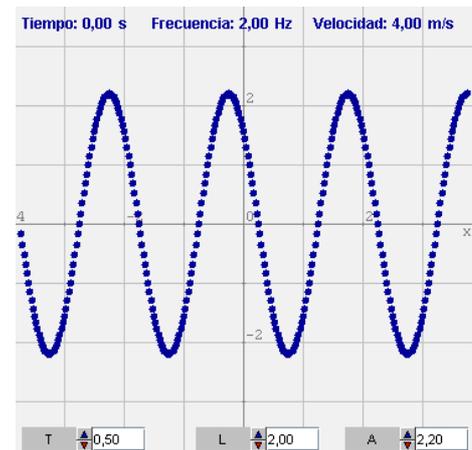
La relación entre  $v$ ,  $\lambda$ ,  $f$  y  $T$  es:  $\lambda = v \cdot T = v/f$ . Sabemos que en un movimiento a velocidad constante se cumple que el espacio es igual a la velocidad por el tiempo.

$$s = v \cdot t$$

Si consideramos que espacio recorrido es la longitud de onda  $\lambda$ , por definición, el tiempo necesario para hacerlo será el periodo. Por lo tanto, sustituyendo en la expresión anterior tenemos:

$$\lambda = v \cdot T = v/f$$

A continuación representaremos ondas de las que se han medido diferentes magnitudes de la misma.



# Las ondas

## 2. Fenómenos ondulatorios

### Reflexión de las ondas

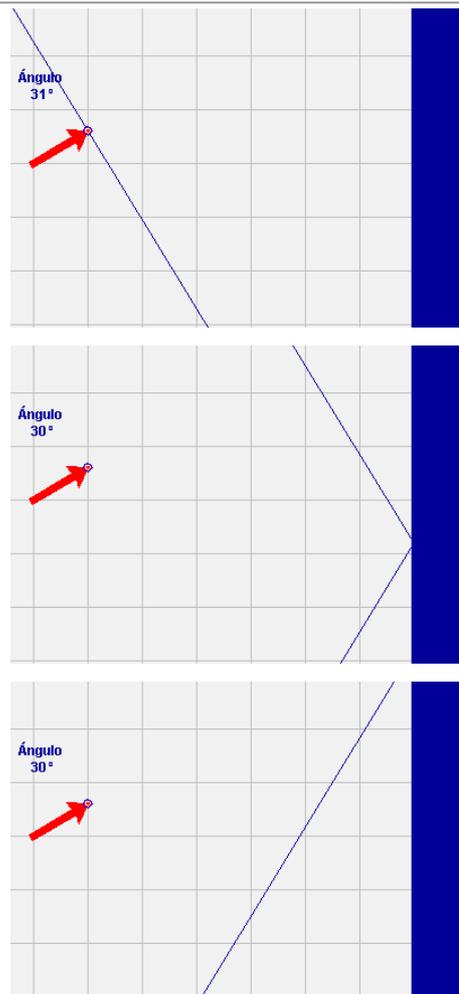
Se denomina reflexión de una onda al cambio de dirección que experimenta ésta cuando choca contra una superficie lisa y pulimentada sin cambiar de medio de propagación. Si la reflexión se produce sobre una superficie rugosa, la onda se refleja en todas direcciones y se llama difusión.

En la reflexión hay tres elementos: rayo incidente, línea normal o perpendicular a la superficie y rayo reflejado. Se llama ángulo de incidencia al que forma la normal con el rayo incidente y ángulo de reflexión al formado por la normal y el rayo reflejado.

Las leyes de la reflexión dicen que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión y que el rayo incidente, reflejado y la normal están en el mismo plano.

Ejemplos típicos de reflexión se producen en espejos, en superficies pulidas, en superficies de líquidos y cristales, etc.

A la izquierda se ilustra una onda que experimenta el fenómeno de reflexión.



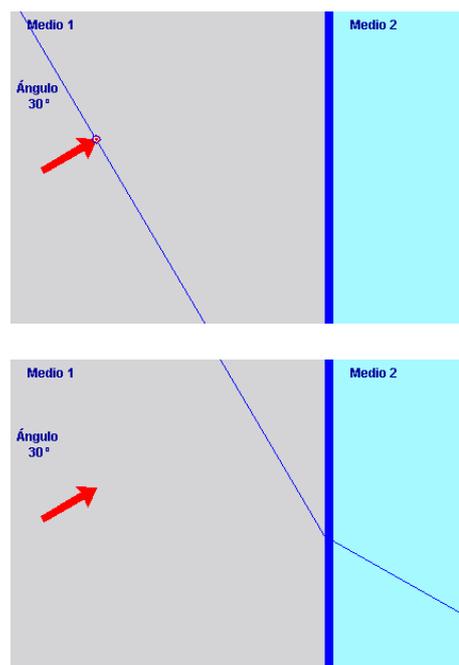
### Refracción de las ondas

Se denomina refracción de una onda al cambio de dirección y de velocidad que experimenta ésta cuando pasa de un medio a otro medio en el que puede propagarse. Cada medio se caracteriza por su índice de refracción.

En la refracción hay tres elementos: rayo incidente, línea normal o perpendicular a la superficie y rayo refractado. Se llama ángulo de incidencia al que forma la normal con el rayo incidente y ángulo de refracción al formado por la normal y el rayo refractado.

Cuando la onda pasa de un medio a otro en el que la onda viaja más rápido, el rayo refractado se acerca a la normal, mientras que si pasa de un medio a otro en el que la onda viaja a menos velocidad el rayo se aleja de la normal.

A la izquierda se ilustra una onda que experimenta el fenómeno de refracción.



## Difracción de las ondas

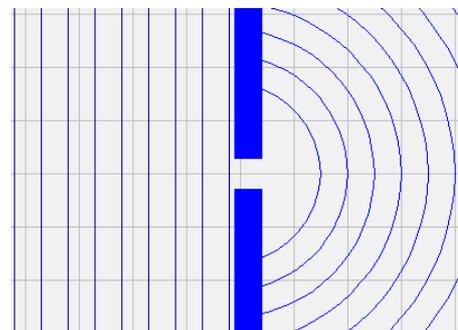
Se denomina difracción de una onda a la propiedad que tienen las ondas de rodear los obstáculos en determinadas condiciones. Cuando una onda llega a un obstáculo (abertura o punto material) de dimensiones similares a su longitud de onda, ésta se convierte en un nuevo foco emisor de la onda.

Esto quiere decir, que cuando una onda llega a un obstáculo de dimensión similar a la longitud de onda, dicho obstáculo se convierte en un nuevo foco emisor de la onda. Cuanto más parecida es la longitud de onda al obstáculo mayor es el fenómeno de difracción.

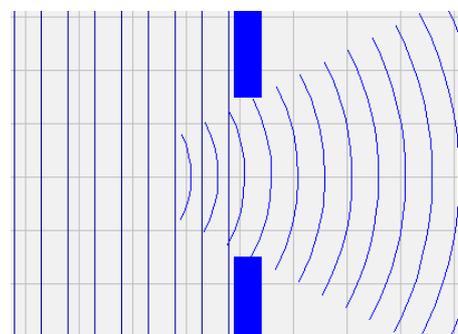
Cuando la abertura u obstáculo y la longitud de onda son de tamaño muy diferente, el fenómeno de difracción se hace imperceptible.

A la izquierda se ilustra una onda que experimenta el fenómeno de difracción.

Abertura similar a  $\lambda$ .



Abertura diferente a  $\lambda$ .



## Interferencias de las ondas

Se denomina interferencia a la superposición o suma de dos o más ondas. Dependiendo fundamentalmente de las longitudes de onda, amplitudes y de la distancia relativa entre las mismas se distinguen dos tipos de interferencias:

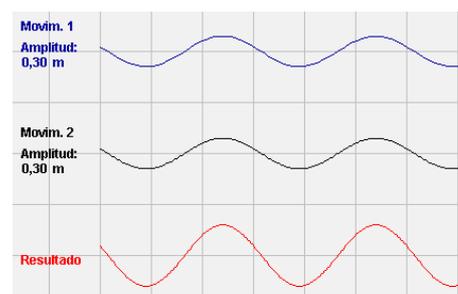
**Constructiva:** se produce cuando las ondas chocan o se superponen en fases, obteniendo una onda resultante de mayor amplitud que las ondas iniciales.

**Destrucción:** es la superposición de ondas en antifase, obteniendo una onda resultante de menor amplitud que las ondas iniciales.

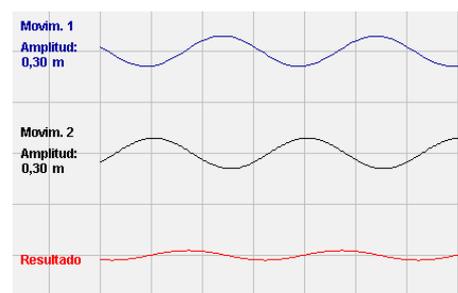
Normalmente, las interferencias destructivas generan ruidos desagradables y normalmente deben ser eliminadas, mientras que las constructivas suelen obtenerse voluntariamente.

A la izquierda se ilustran varios procesos de interferencias. Superponemos la onda superior a la inferior y observamos que la onda resultante puede ser de mayor amplitud (interferencia constructiva), o menor (interferencia destructiva).

Interferencia constructiva.



Interferencia destructiva.



# Las ondas

## 3. El sonido: Una onda longitudinal

### ¿Cómo se produce el sonido?

Son ondas longitudinales que se producen como consecuencia de una compresión del medio a lo largo de la dirección de propagación.

El sonido, se propaga únicamente en medios materiales que hagan de soporte de la perturbación, por tanto, no se propaga en el vacío.

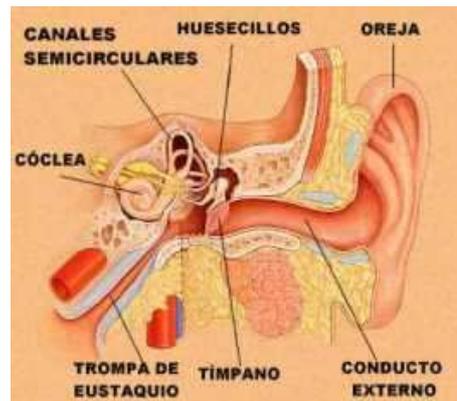
Para que haya sonido deben de existir varios elementos:

- Un foco emisor que produzca las vibraciones.
- Un medio material elástico que las propaga.
- Un detector, que en el caso de los seres humanos y el resto de los animales es el oído.

Las cuerdas vocales, la guitarra, una moto, un avión...emiten un sonido cuando vibran. Para que estas vibraciones sean percibidas por nuestros oídos es necesario un medio elástico que lo transmita.



Cuando las ondas viajeras alcanzan el oído externo, penetran por el conducto auditivo y llegan al tímpano que vibra en sintonía con la onda. El tímpano transmite la vibración a varios huesecillos en cadena (martillo, yunque y estribo) y a continuación, a través de endolinfa, la vibración llega al caracol y de ahí al cerebro.

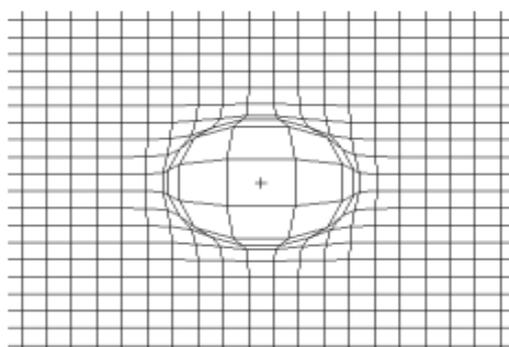
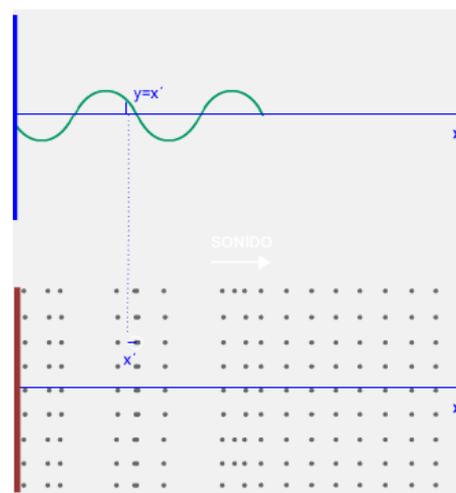
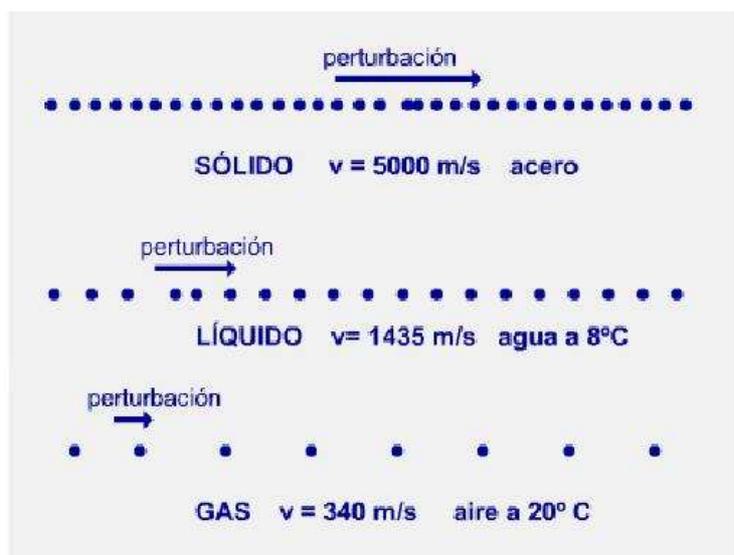


## Velocidad de propagación

El sonido, a diferencia de otras "perturbaciones" que se propagan en medios materiales, lo hace tridimensionalmente, es decir la "perturbación" llega a cualquier punto del espacio.

Por ser una onda mecánica, la rapidez de su propagación depende del medio de propagación elástico. La velocidad de propagación de la perturbación, dependerá de la proximidad de las partículas del medio y de sus fuerzas de cohesión. Así, la velocidad de propagación será mucho mayor en los sólidos que en los líquidos, y sobre todo, que en los gases.

A la presión normal de 1 atm y 20°C, en un ambiente seco, la velocidad del sonido es de 5600 m/s en el acero, 1460 m/s en el agua y 340 m/s en el aire.



# Las ondas

## Cualidades del sonido

Los sonidos se diferencian unos de otros por sus cualidades fundamentales:

- Intensidad sonora
- Tono
- Timbre
- Resonancia
- Reflexión: Eco y reverberación
- Refracción

## Cualidades del sonido: Intensidad

Como todo movimiento ondulatorio, el sonido transporta energía que depende de la vibración que lo produzca.

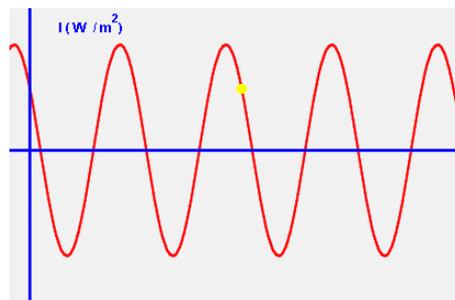
**La intensidad sonora,  $I$** , se define como la energía transmitida por la onda sonora que atraviesa la unidad de superficie en cada unidad de tiempo. En el S.I se mide en  $J/m^2s$  o  $W/m^2$ .

Cuanto mayor sea la amplitud de la onda,  **$A$** , mayor será su intensidad. Por lo tanto el sonido se oirá más fuerte.

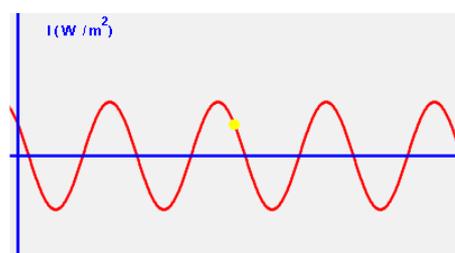
La sonoridad es la cualidad del oído que le permite distinguir entre los sonidos fuertes y débiles.

La unidad de sonoridad es el belio,  **$B$** , pero generalmente se expresa en decibelios, **dB**.

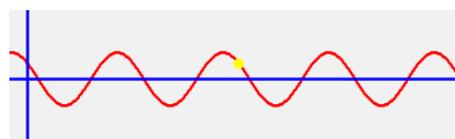
El nivel cero de sonoridad corresponde a una intensidad física de  $10^{-12} W/m^2$ , mínima sonoridad que percibe el oído humano normal. Este valor recibe el nombre de umbral de sonoridad y equivale a un sonido puro de 100 Hz.



Sonido fuerte



Sonido medio



Sonido débil

Sonoridad (dB)	Sonido de referencia
0	Umbral de sonoridad
20	Conversación en voz baja
40	Ruido a intensidad media
60	Conversación en voz alta
100	Tráfico intenso
120	Avión al despegar, perforadora, sierras mecánicas...

## Cualidades del sonido: Tono

Una cualidad importante del sonido es el Tono, o lo que es lo mismo la **Frecuencia** con la que vibran las partículas del medio. Dicha frecuencia determina que un sonido sea **Agudo** o **Grave** según su valor.

- Sonidos graves: 20 a 256 Hz.
- Sonidos medios de 256 a 2.000 Hz.
- Sonidos agudos de 2.000 a 16.000 Hz.

La velocidad del sonido es constante para cualquier frecuencia, por lo tanto, la longitud de onda,  $\lambda$  de los sonidos agudos es menor que la de los graves, ya que:

$$v = \lambda \cdot f$$

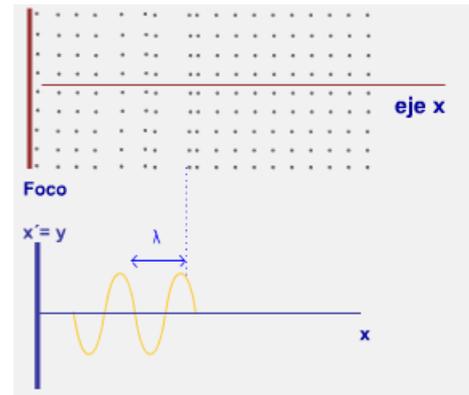
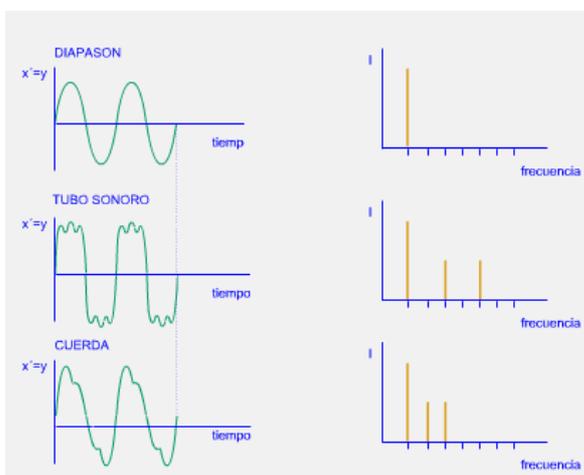
A mayor frecuencia, menor longitud de ondas y viceversa.

El oído humano no es sensible a los sonidos inferiores a 20 Hz (infrasonidos) ni a los sonidos superiores a 20.000 Hz (ultrasonidos).

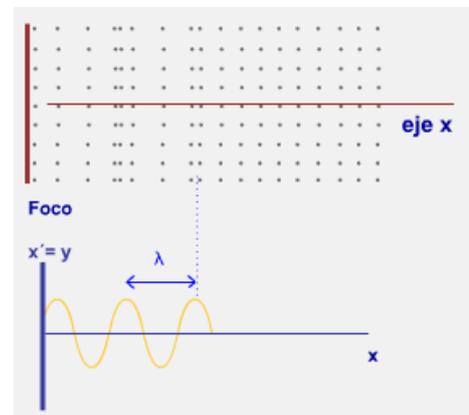
## Cualidades del sonido: Timbre

A través del timbre somos capaces de diferenciar, dos sonidos de igual frecuencia fundamental o (tono), e intensidad. El **timbre** es la cualidad del sonido que permite distinguir la misma nota musical (frecuencia) producida por dos instrumentos musicales distintos, por los armónicos que acompañan al tono fundamental. Los armónicos son como rizados de la onda fundamental y su frecuencia es múltiplo entera de ella.

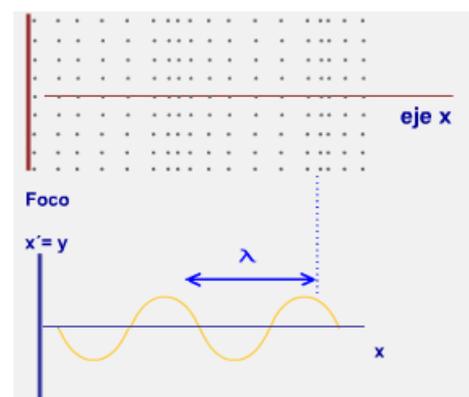
En la ilustración consideraremos la misma frecuencia o "tono" (300 Hz) emitido por un diapasón, un tubo sonoro y una cuerda de guitarra (estos últimos con un "timbre" característico").



**Frecuencia de 800 Hz**



**Frecuencia de 500 Hz**



**Frecuencia de 250 Hz**

# Las ondas

## Cualidades del sonido: Resonancia

La resonancia acústica, consiste en la vibración de un objeto inducido por otro próximo a él. Por ejemplo, el cristal de las ventanillas de un coche vibra cuando pasa un camión.

La razón es que algún sonido del ruido que emite el camión al pasar oscila con la misma frecuencia que el cristal es capaz de hacerlo.

¿Cómo se puede romper una copa con la voz? El sonido de la voz "golpea" la copa y la hace vibrar en resonancia.

Si mantenemos el sonido de la voz en el tiempo la copa recibe cada vez más "golpes", es decir recibe una onda con la misma frecuencia con la que está oscilando, pero la amplitud de oscilación aumenta en cada empujón y llega a romper la copa.

La resonancia se produce también si una frecuencia es múltiplo de la otra.

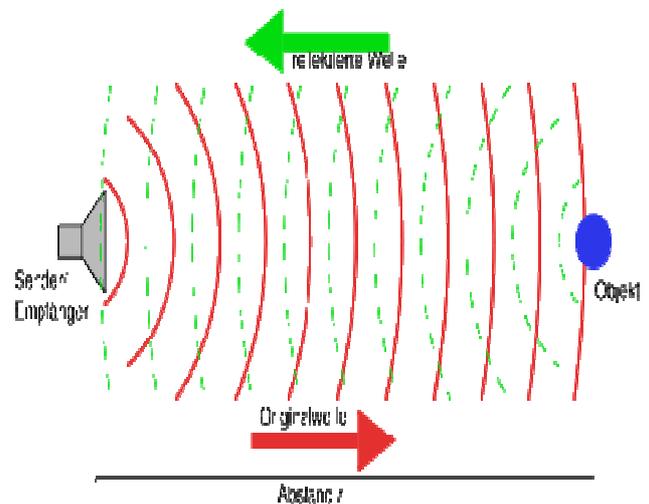
## Cualidades del sonido: Reflexión

Una onda se refleja (rebota) cuando topa con un obstáculo que no puede traspasar ni rodear.

No todas las ondas sonoras tienen el mismo comportamiento. Las bajas frecuencias tienen una longitud de onda muy grande, por lo que son capaces de rodear la mayoría de obstáculos (difracción), sin embargo, las altas frecuencias no rodean los obstáculos, se reflejan (reflexión).

En la reflexión, el ángulo de la onda reflejada es igual al ángulo de la onda incidente, de modo que si una onda sonora incide perpendicularmente sobre la superficie reflectante, vuelve sobre sí misma.

En acústica esta propiedad de las ondas es aprovechada para aislar y dirigir el sonido de un auditorio mediante altavoces o placas reflectoras.



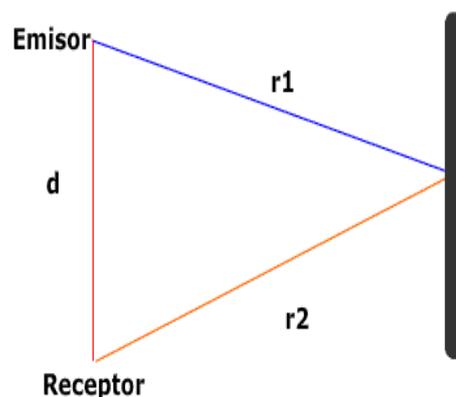
## Cualidades del sonido: Eco

Como todo movimiento ondulatorio, el sonido se refleja y vuelve al mismo medio elástico después de chocar contra superficies reflectoras. Si el sonido es intenso y la superficie reflectora está lo suficientemente alejada un mismo observador puede percibir, por separado, el sonido emisor y el reflejado. A este fenómeno se le llama **eco**.

Para oír el eco es necesario que ambos sonidos estén separados en el tiempo por 0,1 s (límite del oído humano para poder oír dos sonidos sucesivos). En este tiempo el sonido recorre 34 m, diferencia mínima que debería de haber entre el camino directo y el camino reflejado para poder oír el eco.

De tal forma que:

$$r_1 + r_2 - d \geq 34 \text{ m}$$



## Cualidades del sonido: Reverberación

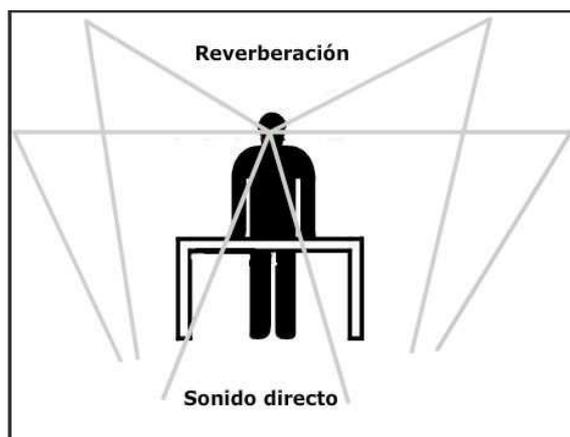
La **reverberación** es un fenómeno derivado de la reflexión del sonido.

Se produce en lugares cerrados amplios y vacíos.

Consistente en una ligera prolongación del sonido una vez que se ha extinguido el original, debido a las ondas reflejadas. Estas ondas reflejadas sufrirán un retardo no superior a 0,1 s. Cuando el retardo es mayor ya no hablamos de reverberación, sino de eco.

En salas de conciertos, teatros y cines se emplean materiales absorbentes para evitar la reverberación.

Sin embargo, una ausencia de reverberación resta sonoridad y calidad a la música. De ahí que las salas se diseñen de forma adecuada para conseguir la mejor audición.



# Las ondas

## Cualidades del sonido: Refracción

La refracción es el fenómeno por el cual las ondas sonoras cambian de velocidad y dirección cuando pasan de un medio a otro diferente.

La refracción también puede producirse dentro de un mismo medio, cuando las características de éste no son homogéneas, cuando de un punto a otro aumenta o disminuye la temperatura.

Por ejemplo, por la noche, el aire cercano a la superficie terrestre está más frío que el que está a mayor altura. Un sonido producido en la superficie se refracta hacia las capas superiores donde su velocidad es mayor. Una reflexión devuelve el sonido al suelo permitiendo que sea oído a grandes distancias.

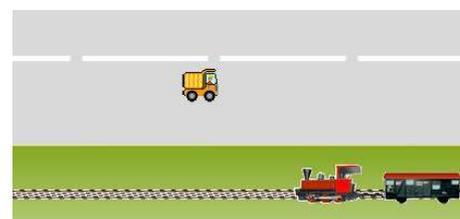
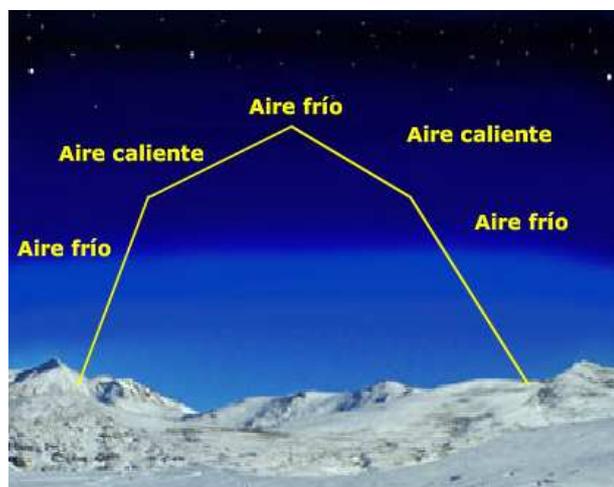
A diferencia de lo que ocurre en la reflexión, en la refracción, el ángulo refractado no es igual al de incidencia.

## Efecto Doppler

Un tren circula por un tramo de vía recta paralelo a una carretera a 90 Km/h hace sonar su silbato con una frecuencia de 500 Hz. En sentido contrario, acercándose al tren, circula un automóvil a 72 km/h. ¿Con qué frecuencia oírás el conductor del coche el silbato del tren?

Este efecto fue estudiado por Cristian Doppler, consiste en la variación del tono de cualquier tipo de onda emitida o recibida por un objeto en movimiento.

$$f = \frac{v_s - v_o}{v_s - v_e} f'$$



El tono de un sonido emitido por una fuente que se aproxima al observador es más agudo que si la fuente se aleja.

**Christian Andreas Doppler** (Salzburgo, 29 de noviembre de 1803 – Venecia, 17 de marzo de 1853) fue un matemático y físico austríaco principalmente conocido por su hipótesis sobre la variación aparente de la frecuencia de una onda observada por un observador en movimiento relativo frente al emisor. A este efecto se le conoce como efecto Doppler.

Christian Doppler nació en el seno de una familia austriaca de albañiles establecidos en Salzburgo desde 1674. El próspero negocio familiar permitió construir una elegante casa en la Hannibal Platz (actualmente Makart Platz) en Salzburgo que se conserva en la actualidad y en la que nació Christian Doppler. Debido a problemas de salud no pudo seguir la tradición familiar.



Christian Doppler estudió física y matemáticas en Viena y Salzburgo. En 1841 comenzó a impartir clases de estas materias en la Universidad de Praga. Un año más tarde, a la edad de 39 años, publicó su trabajo más conocido en el que hipotetizaba sobre el efecto Doppler. Durante sus años como profesor en Praga publicó más de 50 artículos en áreas de matemáticas, física y astronomía. Durante este tiempo no tuvo gran éxito como profesor o como matemático con la notable excepción de la admiración hacia sus ideas profesada por el eminente matemático Bernard Bolzano.

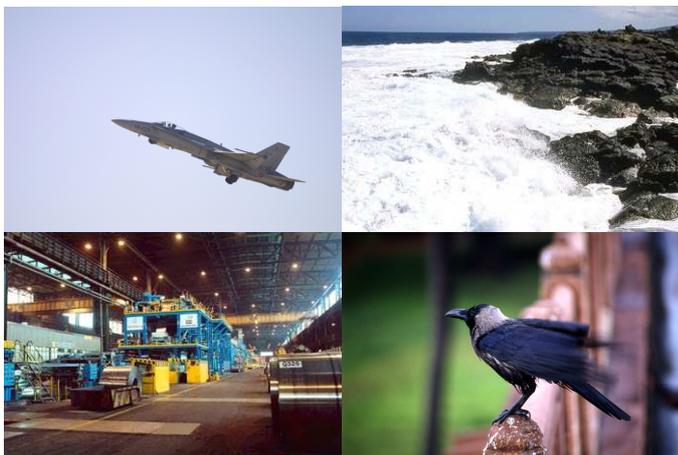
Su carrera como investigador en Praga fue interrumpida por la revolución de marzo de 1848 y Doppler tuvo que dejar la ciudad trasladándose a Viena. En 1850 fue nombrado director del Instituto de Física Experimental de la Universidad de Viena pero su siempre frágil salud comenzó a deteriorarse. Poco después, a la edad de 50 años, falleció de una enfermedad pulmonar mientras intentaba recuperarse en la ciudad de Venecia.

# Las ondas

## Contaminación acústica

Se llama **contaminación acústica** al exceso de sonido que altera las condiciones normales del medio ambiente en una determinada zona. Si bien el ruido no se acumula, traslada o mantiene en el tiempo como las otras contaminaciones, también puede causar grandes daños en la calidad de vida de las personas si no se controla adecuadamente.

El término **contaminación acústica** hace referencia al ruido excesivo y molesto, provocado por las actividades humanas (tráfico, industrias, locales de ocio, etc.), que produce efectos negativos sobre la salud auditiva, física y mental de las personas. Un sonido molesto que puede producir efectos nocivos fisiológicos y psicológicos para una persona o grupo de personas.



Según la OMS (organización Mundial de la Salud) se considera los 50 dB como el límite superior deseable. En España, se establece los 55 dB como nivel de confort acústico. Por encima de este nivel, el sonido resulta pernicioso para el descanso y la comunicación.

Sonoridad (dB)	Sonido de referencia
0	Umbral de sonoridad
20	Conversación en voz baja
40	Ruido a intensidad media
60	Conversación en voz alta
100	Tráfico intenso
120	Avión al despegar, perforadora, sierras mecánicas...

## Aplicaciones de las ondas sonoras

Las ondas sonoras tienen muchas y variadas aplicaciones en la actualidad.

**Música:** producción de sonido en instrumentos musicales y sistemas de afinación de la escala.

**Electroacústica:** tratamiento electrónico del sonido, incluyendo la captación (micrófonos y estudios de grabación), procesamiento (efectos, filtrado, compresión, etc.) amplificación, grabación, producción (altavoces) etc.

**Acústica fisiológica:** estudia el funcionamiento del aparato auditivo, desde la oreja a la corteza cerebral.



**Acústica fonética:** análisis de las características acústicas del habla y sus aplicaciones.

**Arquitectura:** tiene que ver tanto con diseño de las propiedades acústicas de un local a efectos de fidelidad de la escucha, como de las formas efectivas de aislar del ruido los locales habitados.

El **sonar**, acrónimo de Sound Navigation And Ranging, navegación y alcance por sonido, es una técnica que usa la propagación del sonido bajo el agua (principalmente) para navegar, comunicarse o detectar otros buques.

### Contaminación acústica: Ampliación

El sonar puede usarse como medio de localización acústica funcionando de forma similar al radar, con la diferencia de que en lugar de emitir señales de radiofrecuencia se emplean impulsos sonoros. De hecho, la localización acústica se usó en aire antes que el radar, siendo aún de aplicación el SODAR (la exploración vertical aérea con sonar) para la investigación atmosférica.

El término «sonar» se usa también para aludir al equipo empleado para generar y recibir el sonido. Las frecuencias usadas en los sistemas de sonar van desde las infrasónicas a las ultrasónicas



La **ecografía, ultrasonografía o ecosonografía** es un procedimiento de imagenología que emplea los ecos de una emisión de ultrasonidos dirigida sobre un cuerpo u objeto como fuente de datos para formar una imagen de los órganos o masas internas con fines de diagnóstico. Un pequeño instrumento "similar a un micrófono" llamado **transductor** emite ondas de ultrasonidos. Estas ondas sonoras de alta frecuencia se transmiten hacia el área del cuerpo bajo estudio, y se recibe su eco.

El transductor recoge el eco de las ondas sonoras y una computadora convierte este eco en una imagen que aparece en la pantalla.



**La litotricia** es una técnica utilizada para destruir los cálculos que se forman en el riñón, la vejiga, los uréteres o la vesícula biliar. Hay varias formas de hacerla, aunque la más común es la litotricia extracorpórea (por fuera del cuerpo) por ondas de choque. Las ondas de choque se concentran en los cálculos y los rompen en fragmentos diminutos que luego salen del cuerpo en forma natural durante la micción.

**El telémetro ultrasónico** se basa en la emisión de un ultrasonido que se refleja en el blanco y el telémetro recibe el eco. Por el tiempo transcurrido y la fase del eco, calcula la distancia al blanco.

# Las ondas

## 4. La luz: Una onda transversal

### Naturaleza de la luz

La luz es una forma de energía emitida por los cuerpos y que nos permite percibirlos mediante la vista. Los objetos visibles pueden ser de dos tipos:

- **Objetos luminosos:** Son los que emiten luz propia, como una estrella o una bombilla. La emisión de luz se debe a la alta temperatura de estos cuerpos.
- **Objetos iluminados:** Son los que reflejan la luz que reciben, como una mesa o una pared. Estos objetos no son visibles si no se proyecta luz sobre ellos.

La luz que procede de un objeto visible se transmite mediante un movimiento ondulatorio hasta llegar a nuestros ojos. Desde allí se envía un estímulo al cerebro que lo interpreta como una imagen.

La **luz** consiste en una forma de energía, emitida por los objetos luminosos, que **se transmite mediante ondas electromagnéticas** y es capaz de estimular el sentido de la vista.

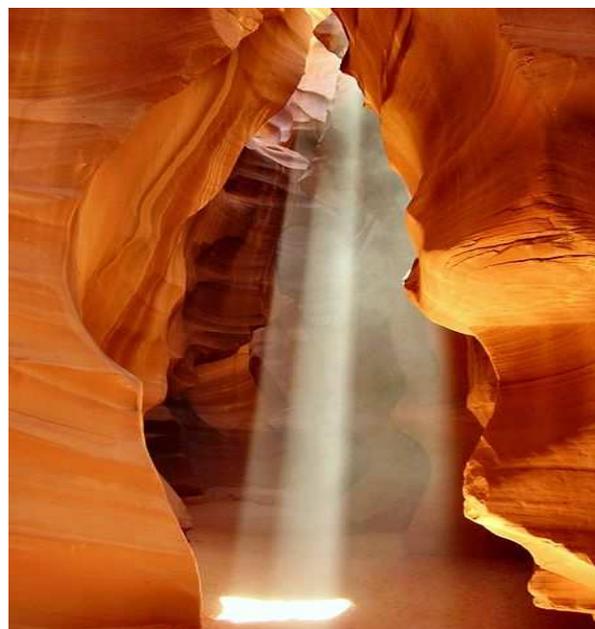
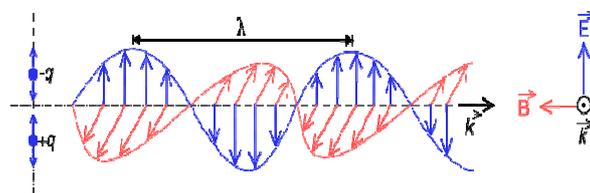
Las ondas electromagnéticas son transversales, pues las vibraciones de los campos eléctrico y magnético se producen en dirección perpendicular a la dirección de propagación.

Las ondas electromagnéticas no requieren medio material para su propagación. Por eso, la luz del Sol llega a la Tierra después de recorrer una gran distancia en el vacío.

### Ampliación: Naturaleza de la luz.

En el siglo XVII, Newton consideraba la luz como una corriente rectilínea de pequeñas partículas materiales emitidas por los cuerpos luminosos. Ello explicaba la propagación rectilínea de la luz. También explicaba la reflexión mediante rebote de esas partículas sobre la superficie.

A principios del siglo XIX se confirmó la teoría de que la luz se comportaba como una onda. Había un problema, ¿cómo se transmitía por el vacío si el sonido - que era otra onda - no lo hacía? Esto fue "resuelto" suponiendo que se transportaban en un medio invisible llamado éter.



Actualmente se acepta que la luz tiene doble naturaleza: se comporta como materia en movimiento (tiene naturaleza de partícula) y como onda que marcha asociada a la materia (tiene naturaleza ondulatoria). El carácter material de la luz ha sido confirmado por numerosos experimentos, como el "efecto fotoeléctrico" de Einstein, el cual llamó fotones a las partículas de luz. Esta teoría explica el porqué la luz se puede transmitir por el vacío, mediante movimiento de los fotones.

## Propagación de la luz

La luz se puede propagar en el vacío o en otros medios. La velocidad a la que se propaga depende del medio.

En el vacío (o en el aire) es de  $3 \cdot 10^8$  m/s; en cualquier otro medio su valor es menor.

Esta velocidad viene dada por una magnitud llamada **índice de refracción**,  $n$ , que es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad en ese medio. No tiene unidades y su valor es siempre mayor que 1.

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

$n$  es el índice de refracción,  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío y  $v$  es la velocidad de la luz en el medio (ambas en m/s).

Según su comportamiento ante la luz, los medios se pueden clasificar en:

- **Transparentes:** Dejan pasar una gran parte de la luz que les llega y permiten ver los objetos a través de ellos. Ejemplos: Agua, aire y vidrio.
- **Opacos:** No dejan pasar la luz. Ejemplos: Madera y metal.
- **Translúcidos:** Sólo dejan pasar una parte de la luz que reciben. Los objetos visibles se muestran borrosos a través de ellos. Ejemplos: Vidrio esmerilado y algunos plásticos

La luz es una onda que se propaga en las tres direcciones del espacio. Para estudiar sus efectos se emplean líneas perpendiculares a las ondas, que indican la dirección de propagación. Es lo que denominamos **rayos**.

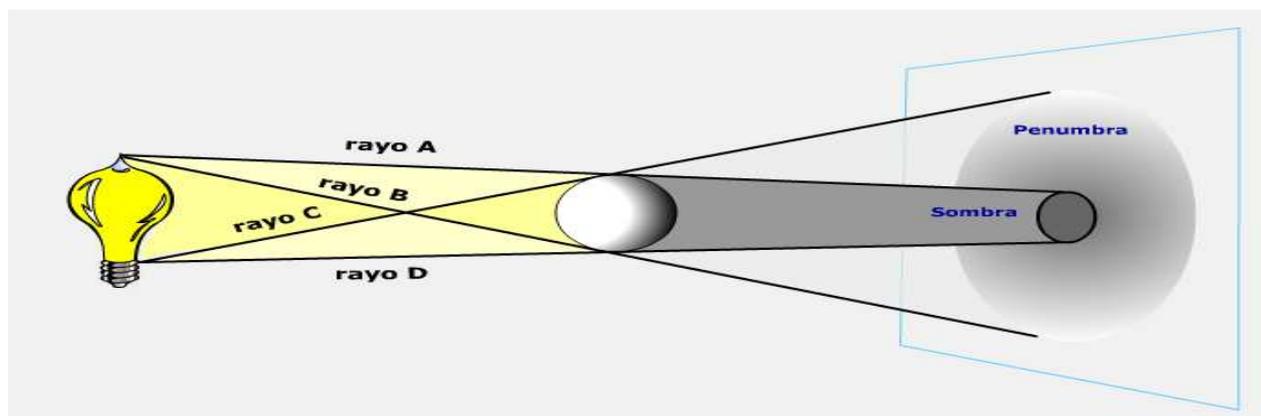
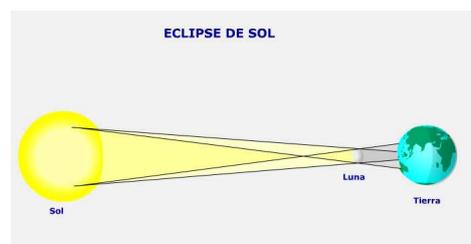
En un medio que sea homogéneo, la luz se propaga en línea recta, lo cual explica la formación de sombras y penumbras. Por ello, cuando iluminamos un objeto con un foco grande y observamos la imagen en una pantalla podemos distinguir:

- Zona de **sombra**, que no recibe ningún rayo.

- Zona de **penumbra**, que recibe sólo parte de los rayos.

- Zona **iluminada**, que recibe todos los rayos que proceden del foco de luz.

De esta forma se pueden explicar el eclipse de Sol y el eclipse de Luna.



# Las ondas

## Reflexión de la luz

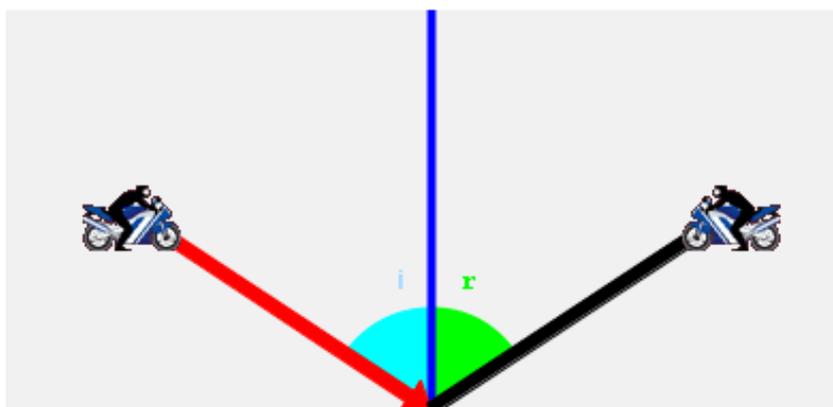
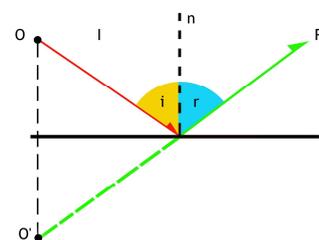
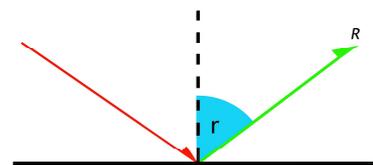
A menudo observamos nuestra imagen reflejada sobre la superficie del agua o sobre superficies metálicas pulidas. Este fenómeno se conoce como **reflexión**.

Es como si la luz rebotara al llegar a la superficie y volviera a través del medio original. Para explicar este fenómeno se emplean las **leyes de la reflexión**:

1.- El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal están en el mismo plano.

2.- El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión:  $i = r$ .

- **Rayo incidente:** rayo que llega a la superficie.
- **Rayo reflejado:** rayo que refleja la superficie.
- **Normal:** es la perpendicular a la superficie del espejo en el punto donde toca el rayo incidente.
- **$i$ :** ángulo de incidencia, el que forma el rayo incidente con la línea normal o perpendicular a la superficie.
- **$r$ :** ángulo de reflexión, el que forma el rayo reflejado con la normal.



## Refracción de la luz

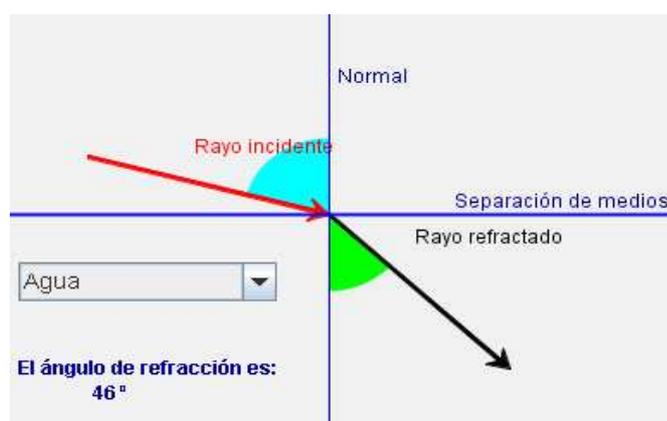
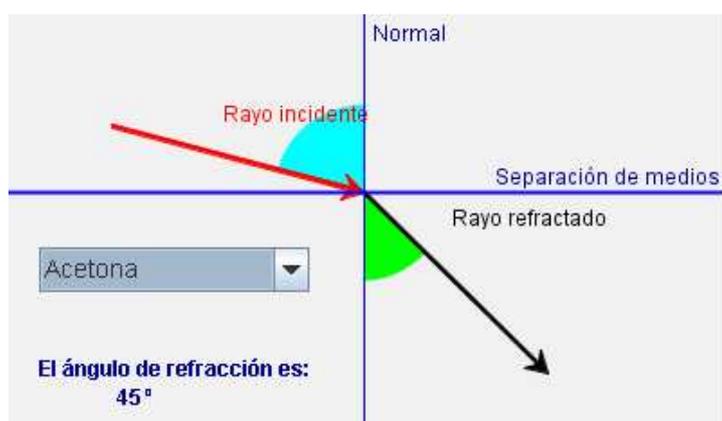
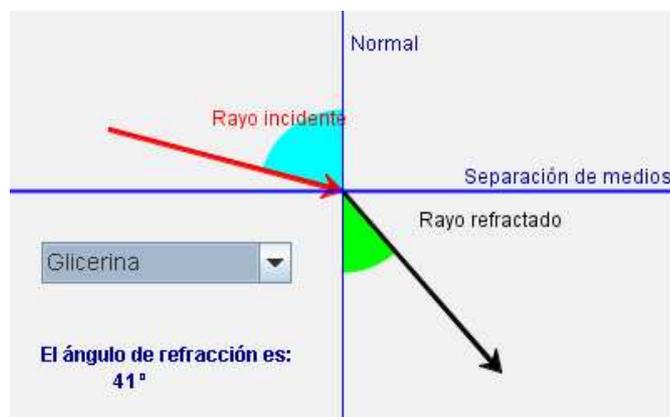
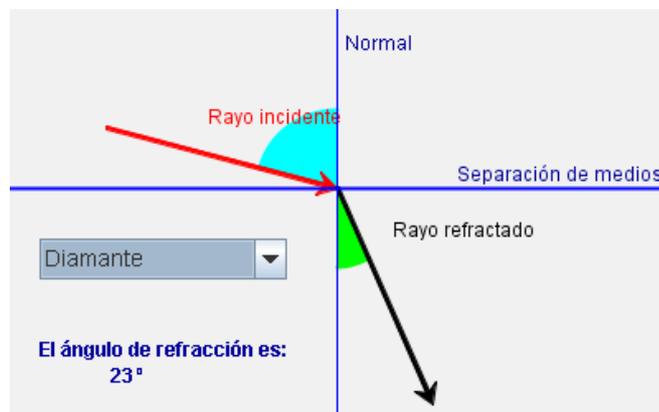
Cuando la luz pasa de un medio a otro, su velocidad cambia. Eso hace que pueda variar la dirección del rayo (si no incide de forma perpendicular). El fenómeno se llama **refracción**. La dirección del rayo en el nuevo medio se explica mediante las **leyes de la refracción**:

- 1.- El rayo incidente, el rayo refractado y la normal están en el mismo plano.
- 2.- El ángulo de incidencia y el de refracción están relacionados por la expresión:

$$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r.$$

$n_1$  es el índice de refracción del primer medio y  $n_2$  del segundo.  $i$  es el ángulo de incidencia y  $r$  el de refracción. Si la luz pasa de un medio de menor índice de refracción a otro de mayor índice de refracción (por ejemplo, del aire al agua) se acerca a la normal, y cuando la luz pasa de un medio de mayor índice de refracción a otro de menor índice de refracción (por ejemplo, del agua al aire) se aleja de la normal.

Para un ángulo de incidencia de  $75^\circ$ :



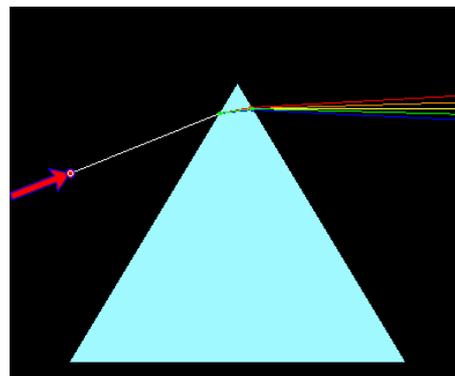
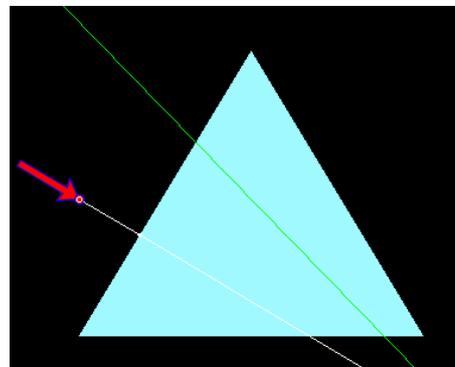
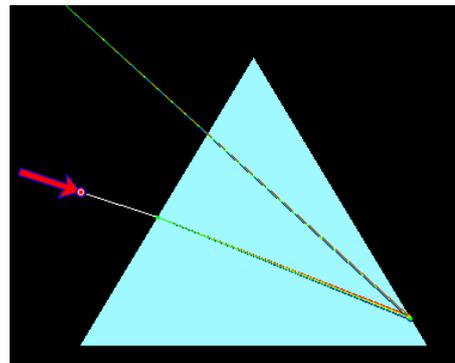
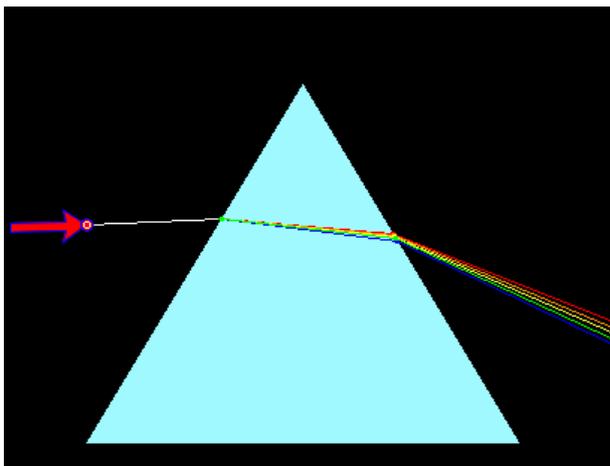
# Las ondas

## Dispersión de la luz

Conocemos como **luz blanca** a la que proviene del Sol. En algunas circunstancias, esa luz se descompone en varias franjas de colores llamadas **arco iris**. En realidad la luz blanca está formada por toda una gama de longitudes de onda, cada una correspondiente a un color, que van desde el rojo hasta el violeta.

Como el índice de refracción de un material depende de la longitud de onda de la radiación incidente, si un rayo de luz blanca incide sobre un prisma óptico, cada radiación simple se refracta con un ángulo diferente. La **dispersión** de la luz consiste en la separación de la luz en sus colores componentes por efecto de la refracción.

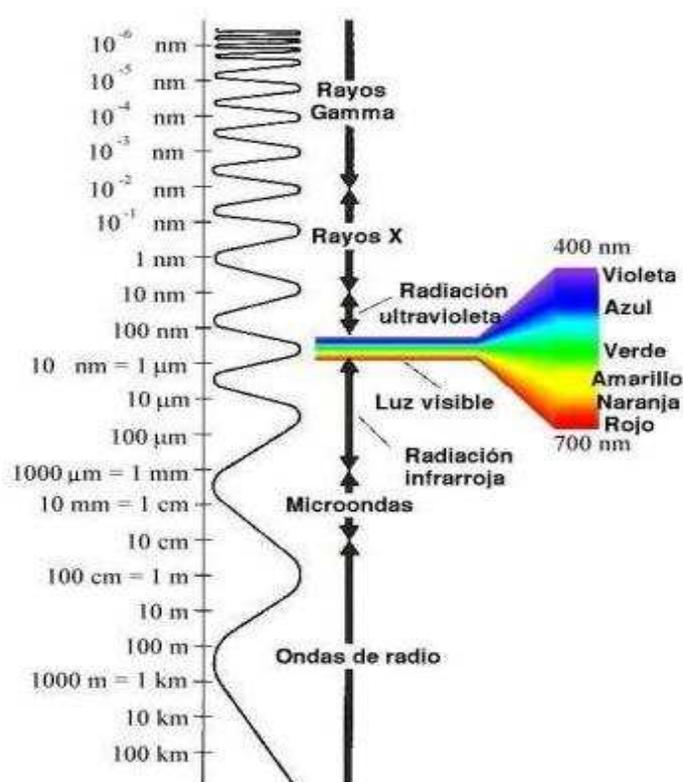
Así, las distintas radiaciones que componen la luz blanca emergen separadas del prisma formando una sucesión continua de colores que denominamos **espectro** de la luz blanca.



## El espectro electromagnético

El **espectro** es el análisis de las distintas radiaciones sencillas que componen la radiación total que nos llega de un cuerpo. Por ejemplo, al color rojo le corresponde una longitud de onda de 400 nm y al color violeta le corresponde otra de 700 nm. Las personas podemos ver la luz, una radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida entre esos dos valores. Sin embargo, existen ondas electromagnéticas con mayor o menor longitud de onda como los rayos X, la radiación ultravioleta o la infrarroja.

El **espectro electromagnético** es el conjunto de ondas electromagnéticas ordenadas en función de su energía. De mayor a menor energía (o de menor a mayor longitud de onda) tenemos:



- **Rayos gamma:** Se producen en desintegraciones de átomos de materiales radiactivos. Es una radiación ionizante, capaz de penetrar la materia. Muy energética
- **Rayos X:** Son radiaciones muy penetrantes, con longitud de onda menor a la luz visible. Pueden provocar daños celulares en tejidos vivos.
- **Ultravioleta:** Es una radiación emitida por el Sol. La más energética es absorbida por la capa de ozono, llegando a la Tierra la menos energética.
- **Visible:** Es la radiación que podemos percibir a través del sentido de la vista.
- **Infrarrojo:** Es la radiación que emiten todos los objetos calientes, desde el carbón incandescente hasta los radiadores.
- **Microondas:** Es producida por las rotaciones de moléculas. Es poco energética.
- **Ondas de radio:** Son las de menor energía. Se generan alimentando una antena con corriente alterna.



## Para practicar

- Indicar si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:
  - Las ondas transportan energía y materia.
  - Todas las ondas que existen son armónicas.
  - El sonido es una onda mecánica.
  - La luz es una onda mecánica.
  - La vibración de una cuerda transmite una onda unidimensional.
  - Al aumentar el periodo de una onda aumenta su frecuencia.
  - Al aumentar la longitud de onda disminuye el número de onda.
  - La longitud de onda no tiene ninguna relación matemática con el periodo.
  - En una onda, la elongación no puede ser mayor que la amplitud.
  - Las partículas vibrantes de una onda están aceleradas.
- Calcular la frecuencia de una onda cuyo periodo es de 23 s.
- Calcular el periodo de una onda cuya frecuencia es de 4,2 Hz.
- Calcular la longitud de onda, sabiendo que su frecuencia es de 4,2 Hz y su velocidad de propagación de 958,9 m/s.
- Calcular la velocidad de propagación de una onda, sabiendo que su frecuencia es de 4,2 Hz y la longitud de onda es de 38,1 m.
- Calcular el número de onda, sabiendo que la longitud de onda es de 38,1 m.
- Calcular la longitud de onda, sabiendo que su periodo es de 39,0 s y su velocidad de propagación de 958,9 m/s.
- Calcular la velocidad de propagación de una onda, sabiendo que su periodo es de 39,0 s y la longitud de onda es de 38,1 m.
- Calcular el periodo de una onda, sabiendo que su velocidad de propagación es de 958,9 m/s y la longitud de onda es de 38,1 m.
- Calcular la frecuencia de una onda, sabiendo que su velocidad de propagación es de 538,0 m/s y la longitud de onda es de 51,5 m.
- Calcular el número de onda, sabiendo que su frecuencia es de 83,3 Hz y su velocidad de propagación es de 197,5 m/s.
- Calcular el número de onda, sabiendo que su periodo es de 13,0 s y su velocidad de propagación es de 197,5 m/s.



## Para practicar

13. Clasificar los siguientes fenómenos ondulatorios dentro de la categoría que le corresponde:

Meter un lápiz en un vaso de agua (A)	Oír dos cadenas de radio a la vez (F)	<b>REFLEXIÓN y DIFUSIÓN</b>
Mirarse en el espejo (B)	Ver el brillo de un metal (G)	
Hablan varias personas a la vez (C)	Descomposición de la luz al pasar (H) por un prisma	<b>REFRACCIÓN</b>
Inhibidor de frecuencias (D)	Ver una moneda en el fondo de (L) una piscina	
Observar el color de un objeto (E)		<b>INTERFERENCIAS</b>

14. Indicar si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:

- La reflexión y la refracción son el mismo fenómeno.
- El ángulo de incidencia y de reflexión son el mismo fenómeno.
- Las ondas pueden interferirse entre sí.
- La refracción se produce cuando una onda pasa a otro más opaco.
- La luz experimenta el fenómeno de interferencia.
- La difracción se observa siempre que una onda tropieza con un obstáculo.
- Pueden existir interferencias constructivas.
- El ángulo de incidencia y de refracción tienen siempre el mismo valor.
- Cuando la luz choca contra una superficie rugosa experimenta difusión.
- Se puede producir simultáneamente la reflexión y la refracción.



## Para practicar

15. Indicar si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:

- a) El sonido se propaga tanto en medios materiales como en el vacío.
- b) La rapidez de propagación del sonido no depende del medio de propagación.
- c) Cuanto mayor sea la amplitud de la onda, el sonido se oirá más fuerte.
- d) Los sonidos graves tienen menor longitud de onda que los agudos.
- e) El timbre permite distinguir dos sonidos con la misma frecuencia.
- f) El ángulo reflejado es el doble que el incidente.
- g) Para oír eco, el sonido reflejado y el incidente deben estar separados 0,1s.
- h) La reverberación es una cualidad del sonido relacionada con la refracción.
- i) Cuando un medio no es homogéneo se puede producir refracción.
- j) El tono de una onda varía con el movimiento de un objeto.

16. Si una persona está situada a más de 17 m de un acantilado grita fuertemente ¿recibirá el eco de su voz?

17. Cuánto tiempo tardará en oírse el eco de un ruido si el foco emisor está a 645 m. Velocidad del sonido 340 m/s.

18. Los límites inferior y superior del sonido audible por el ser humano son 20-20.000Hz. Calcula la longitud de onda en el aire.  $v_{\text{aire}} = 340 \text{ m/s}$

19. Calcular la velocidad de propagación de una onda, sonora si su frecuencia es de 96,6 Hz y su longitud de onda es de 54,0 m.

20. El sonar de un barco registra el eco de la onda emitida hacia el fondo 5 s después. Calcular la profundidad del mar en ese punto.  $v_{\text{agua}} = 1480 \text{ m/s}$ .

21. Calcula la velocidad de la luz en un medio de índice de refracción 2, 21. Dato: Velocidad de la luz en el vacío = 300000000 m/s.

22. Un rayo de luz pasa del aire a otro medio ( $n = 2,74$ ). Si el ángulo de incidencia es  $28^\circ$ , calcula el valor del ángulo de refracción.

## Para saber más



### Curiosidades sobre la luz

El **cielo es azul** y el **sol amarillo** porque la luz del sol, que es blanca, al llegar a la atmósfera se dispersa, siendo la luz azul dispersada con mayor facilidad por las moléculas del aire. El sol es amarillo ya que este es el color resultante de quitarle a la luz blanca el componente azul.

En un día soleado es fácil ver un **arco iris** en el chorro de una manguera de jardín: bastará colocarse de forma que el Sol esté a nuestra espalda pero ilumine las gotas de agua.

El fenómeno es el mismo que produce en el cielo un arco iris natural, pero el Sol, en lugar de incidir sobre una cortina de agua cercana, lo hace sobre una lluvia lejana, y el arco de bandas de colores se forma a una escala mucho mayor. Vemos el arco iris porque las innumerables gotas de agua actúan como diminutos prismas y espejos.

Cuando un rayo de luz entra en cada gota, se refracta y se descompone en todos los colores del espectro; luego se refleja en la superficie de la gota y llega hasta nuestros ojos.

Como la luz de cada color se refracta según un ángulo ligeramente distinto, vemos bandas bien definidas, desde el violeta al rojo, pasando por el verde y el amarillo. La luz nos llega siguiendo los ángulos de refracción desde innumerables gotas esparcidas por el cielo, y vemos el arco iris como una curva continua.

### Curiosidades sobre el sonido

El rumbo de un avión en vuelo a velocidad inferior a la del sonido (340 m/s) se irradia en todas las direcciones.

La velocidad del sonido respecto al avión es menor en el sentido de movimiento del avión, mayor en el otro. El sonido está acompañado por una onda de presión, pero el avión queda fuera. Al aumentar su velocidad, el avión se aproxima más a las ondas que ha generado. Cuando alcanza la velocidad del sonido todas las ondas están superpuestas con el avión, el cual se enfrenta a una barrera de presión.

La onda de choque se propaga también hacia el suelo, por lo que desde tierra se percibe a veces desdoblada en un primer bang, debido a la proa del avión y, en un segundo, debido a la cola.





## Recuerda lo más importante

### El movimiento ondulatorio

Es la propagación de un movimiento vibratorio a través de un medio. La perturbación originada se llama **onda**, y mediante ella se transmite energía de un punto a otro del medio sin que exista transporte de materia.

### Características de las ondas

- **Amplitud (A):** Es el valor máximo que se desplaza una partícula del medio de su posición de equilibrio mientras vibra.
- **Longitud de onda ( $\lambda$ ):** Distancia mínima entre dos puntos en el mismo estado de vibración.
- **Período (T):** Tiempo que tarda un punto del medio en completar una vibración.
- **Frecuencia (f):** Número de vibraciones que se producen en un segundo.
- **Velocidad de propagación (v):** Distancia que avanza la onda por unidad de tiempo.

### Tipos de ondas

- Según las **dimensiones de propagación:** Unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales.
- Según el **tipo de medio en el que se propagan:** Mecánicas y electromagnéticas.
- Según la **dirección en que vibran las partículas del medio:** Longitudinales y transversales.

### El sonido

**El sonido** es una forma de energía provocada por la vibración de un cuerpo que se propaga mediante ondas mecánicas. Las cualidades del sonido son:

- **Intensidad:** Se regula con el control de volumen y permite identificarlo como sonido fuerte o débil. El nivel máximo se llama **umbral de audición**. se mide en **decibelios (dB)**.
- **Tono:** Permite distinguir los sonidos agudos de los graves.
- **Timbre:** Permite diferenciar entre sonidos de la misma frecuencia y de la misma amplitud producidos por distintos instrumentos.

### La luz

**La luz** es una forma de energía emitida y/o reflejada por los cuerpos y que se transmite mediante **ondas electromagnéticas**.

El **índice de refracción** de un medio ( $n$ ) es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en ese medio.

$$n = c/v$$

En un medio homogéneo, la luz se propaga en línea recta.

### Leyes de la reflexión:

- 1) Rayo incidente, rayo reflejado y normal están en el mismo plano.
- 2) El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

### Leyes de la refracción:

- 1) Rayo incidente, rayo refractado y normal están en el mismo plano.
- 2) Ley de Snell:  $n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r$ .

## Autoevaluación



1. Una partícula que presenta un m.v.a.s. tiene una frecuencia de 90,82 Hz. Calcular con tres decimales el periodo de dicha partícula.
2. Una onda se propaga con una velocidad de 77,22 m/s y con una frecuencia de 90,82 Hz. ¿Qué longitud de onda presenta dicha onda?
3. Calcular el número de onda sabiendo que  $\lambda = 0,85 \text{ m}^{-1}$ .
4. Una onda se propaga con una velocidad de 77,22 m/s y con una longitud de onda de 3,89 m. ¿Qué periodo dicha onda?
5. El índice de refracción de un medio es 1,02. Determina la velocidad de la luz, en m/s, en dicho medio.
6. Un rayo de luz láser, que viaja por el aire, incide con un ángulo de  $39^\circ$  respecto a la normal sobre la superficie de un material cuyo índice de refracción es 1,85. Calcular el ángulo de refracción.
7. Un rayo luminoso incide desde el aire sobre un líquido formando con la normal un ángulo de  $61^\circ$ . Si el ángulo de refracción es  $29^\circ$ , calcula el índice de refracción del líquido.
8. Si la frecuencia de un sonido en el aire es 1070 Hz. Calcula su longitud de onda.  $v_{\text{sa}} = 340 \text{ m/s}$ .
9. El sónar de un barco escucha el eco 6,3 s después de emitir la señal. ¿A qué profundidad está el objeto?  $v_{\text{sagua}} = 1480 \text{ m/s}$ .
10. Si entre el emisor y el receptor 18 m, entre el emisor y la pared hay 43 m y entre el receptor y la pared hay 47 m ¿Oír el receptor el eco producido?

## Soluciones de los ejercicios para practicar

1. Verdaderas: c, e, g, i, j. Falsas: a, b, d, f, h.
2. 0.043 Hz.
3. 0,028 s.
4. 228,30 m.
5. 160,02 m/s.
6. 0,026 m<sup>-1</sup>.
7. 37397,10 m.
8. 0,97 m/s.
9. 0.039 s.
10. 10,446 Hz.
11. 0,424 m<sup>-1</sup>.
12. 0,00038948 m<sup>-1</sup>.
13. REFLEXIÓN: B, E, G. REFRACCIÓN: A, H, I. INTERFERENCIAS: C, D, F.
14. Verdaderas: b, c, e, g, i, j. Falsas: a, d, f, h.
15. Verdaderas: c, e, g, i, j. Falsas: a, b, d, f, h.
16. Si, oirá El eco.
17. 1,89 s.
18. 17 m y 0,017 m respectivamente.
19. 5.162,40 m/s.
20. 7.446 m.
21. 135.746.606 m/s.
22. 9°.

### Soluciones AUTOEVALUACIÓN

1. 0,011 s.
2. 7013,12 m.
3. 1,17 m<sup>-1</sup>.
4. 19,85 s.
5. 294.117.647 m/s
6. 19°
7. 1,80
8. 0,31 m
9. 9.324 m
10. Comprobar la condición de eco

No olvides enviar las actividades al tutor ►

## ACTIVIDADES DE ESO

Nombre y apellidos del alumno:	Curso: 4º
Quincena nº: 8	Materia: Física y Química
Fecha:	Profesor de la materia:

- 1.- Un rayo de luz que viaja en el aire, incide con un ángulo de  $40^\circ$  sobre la superficie de un lago en calma. Calcula el ángulo de reflexión y el de refracción, sabiendo que  $n_1$  (aire) = 1 y  $n_2$  (agua) = 1,33.
- 2.- Sabemos que un movimiento ondulatorio se propaga con una velocidad de 0,5 m/s y que la longitud de onda es de 0,3 m. Calcula el período y la frecuencia.
- 3.- Un cohete de fuegos artificiales explota a 1 km de altura sobre nosotros. Calcula qué tiempo tardaremos en oír el sonido de la explosión (Velocidad del sonido = 340 m/s).
- 4.- Calcular velocidad de propagación, período y número de onda de un movimiento ondulatorio de 42,3 Hz de frecuencia y 73,7 m de longitud de onda.