

# ONDAS



**Unidad 5 : Biofísica de la percepción de**

**Señales Acústicas y Luminosas**

# Principales temas de la Unidad 5



Ondas. .

Fenómenos ondulatorios

Sonido

Biofísica de la audición.

Ultrasonido

Luz. Espectro electromagnético

Propiedades ondulatorias de la luz.

Laser .

Aplicaciones odontológicas de la luz

# ¿Por qué estudiar Ondas?



La vida cotidiana y la actividad científica-tecnológica, se desarrolla mediante ondas.

- movimiento de olas del mar; progreso de círculos concéntricos en el agua estancada y perturbada con una piedra;
- movimientos sísmicos;
- movimientos de vai ven de las hierbas provocados por la brisa y el viento;
- propagación del sonido;
- propagación de la luz, etc.

- movimientos cíclicos del músculo cardíaco;
- movimientos cíclicos al comer;
- comunicaciones inalámbricas; comunicaciones por cables;
- usos médicos del láser
- usos médicos de los rayos X
- traducción de señales acústicas y luminosas en energía eléctrica y electrónica, etc.

# ¿Qué es una Onda?



Una **onda** es una **perturbación de una propiedad física** que **viaja** a través de un medio material o del vacío transportando **energía** y cantidad de movimiento de un punto a otro.

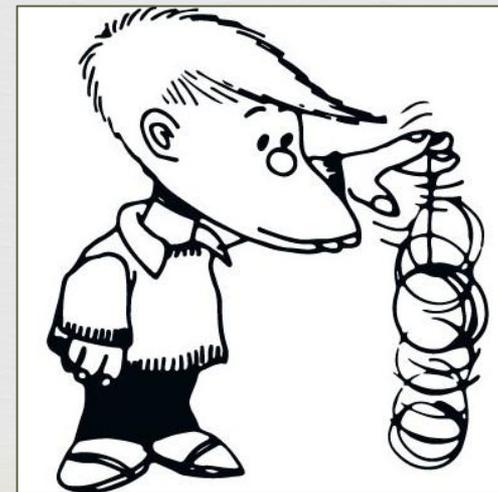
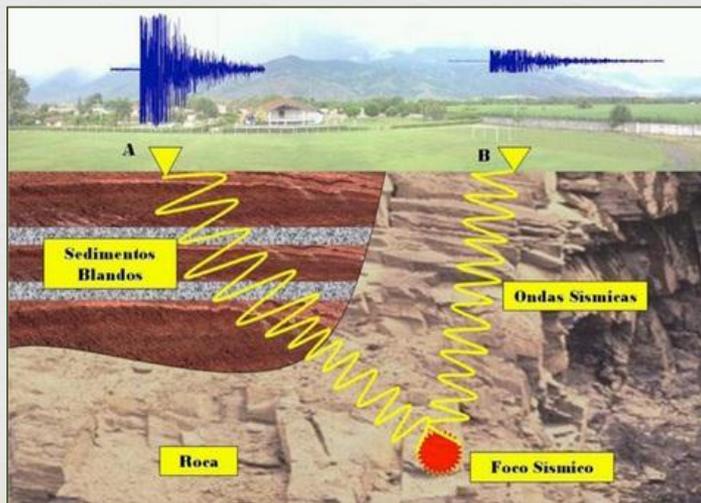
Si la onda avanza en un medio material, las partículas del medio sólo **oscilan** en su lugar.

La onda desplaza **energía, no materia.**

# Avance de una onda y **oscilaciones** de partículas del medio



Las **oscilaciones** son un tipo de movimiento. Cuando avanza una onda por un medio material, las partículas **oscilan** con respecto a su posición de equilibrio o reposo. No hay movimiento neto de partículas.



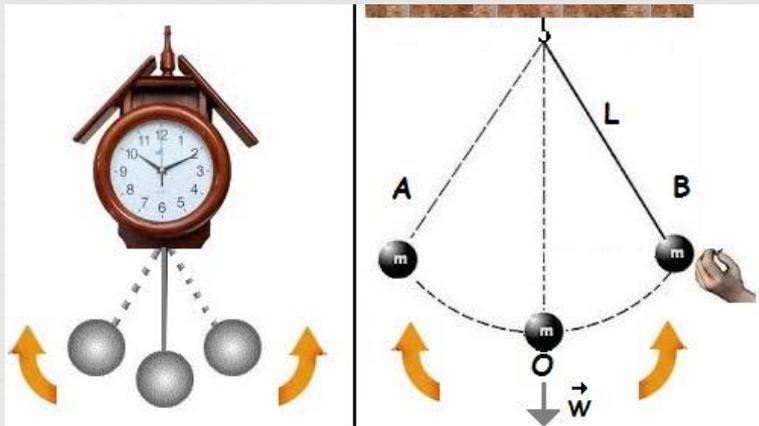
# ¿Qué tipos de movimiento conocemos?



Según la trayectoria de la partícula en movimiento:

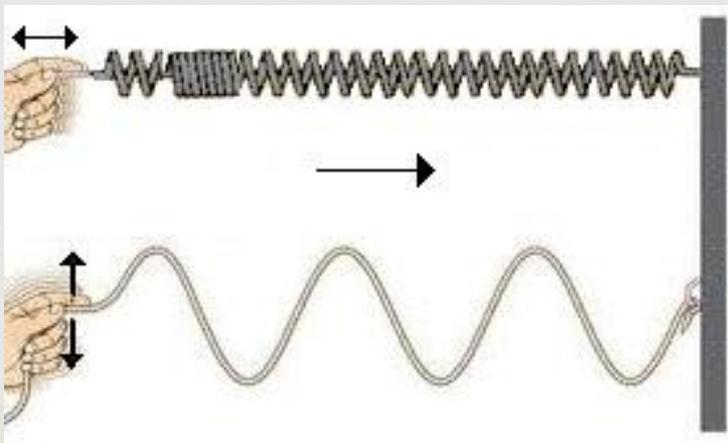
- Movimiento Rectilíneo
- Movimiento Curvilíneo
- Movimiento oscilatorio o vibratorio

# ¿Cuándo un cuerpo o una partícula se mueve con movimiento oscilatorio o vibratorio?



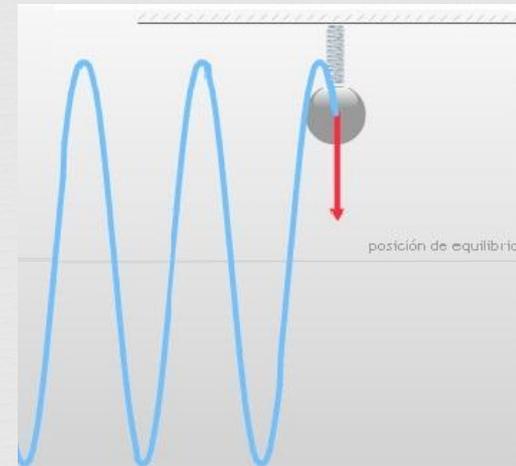
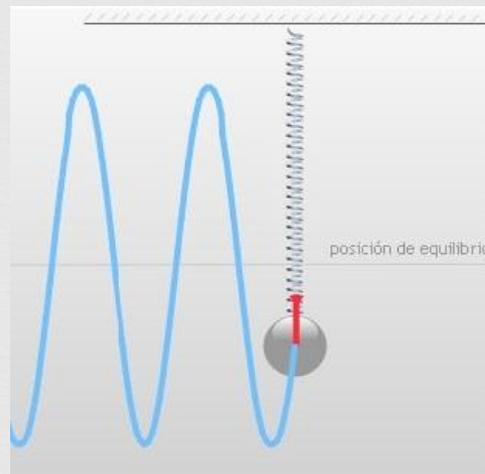
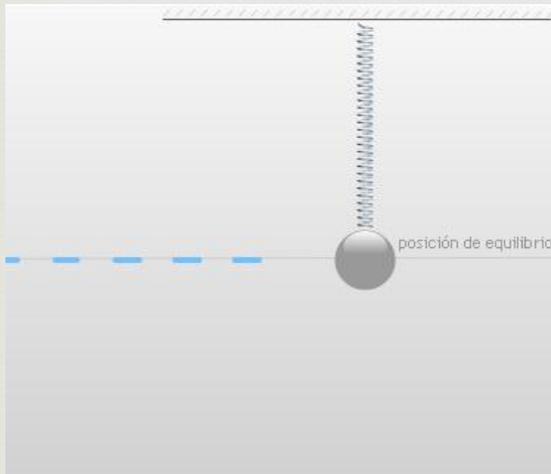
Cuando el cuerpo se mueve en **línea recta** respecto de una posición de equilibrio.

Ejemplos: el péndulo simple, un resorte horizontal o vertical, las partículas de una cuerda a medida que es alcanzada por una perturbación.



Si tarda el mismo tiempo en una oscilación completa y se aleja la misma distancia máxima de la posición de equilibrio, se llama: **Movimiento Oscilatorio Armónico (MOA)** o **Movimiento Armónico Simple (MAS)**.

# Magnitudes del MOA (MAS)

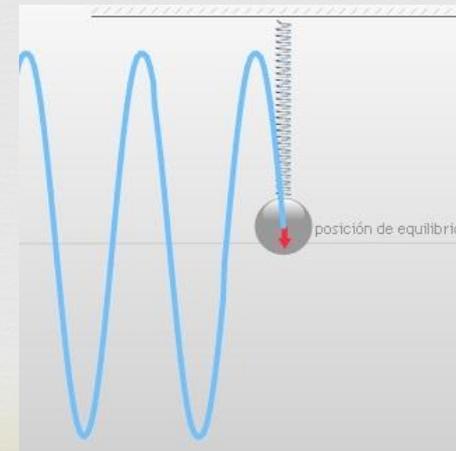


**Elongación ( $x$  o  $y$ ):** posición del cuerpo a cada instante, respecto de la posición de equilibrio.

**Amplitud ( $A$ ):** posición de máxima elongación

**Período ( $T$ ):** tiempo que tarda el cuerpo en hacer una oscilación completa.

**Frecuencia ( $f$ ):** número de vibraciones en la unidad de tiempo

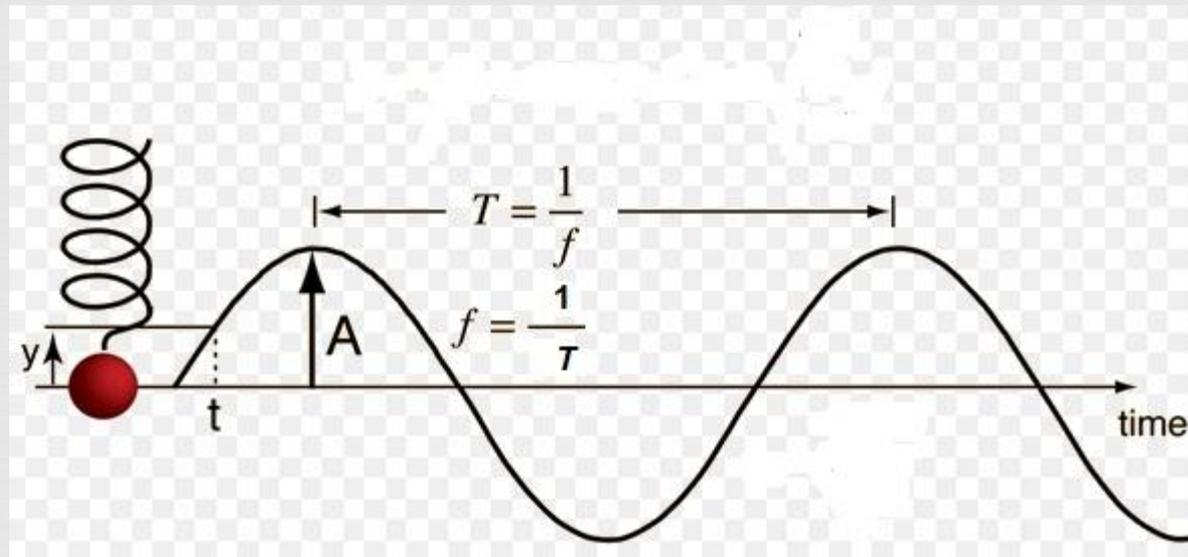


# Resumen de magnitudes y unidades del MOA



Magnitud	Símbolo	Unidad en S.I.
Elongación	$x ; y$	m
Amplitud	A	m
Período	T	s
Frecuencia	f	$1/s = \text{Hz}$ (hertz)

# Gráfico del MOA en función del tiempo



Graficando las sucesivas **posiciones** que la partícula toma a cada instante en cada oscilación completa, en función del **tiempo**, se obtiene una gráfica **senoidal**.

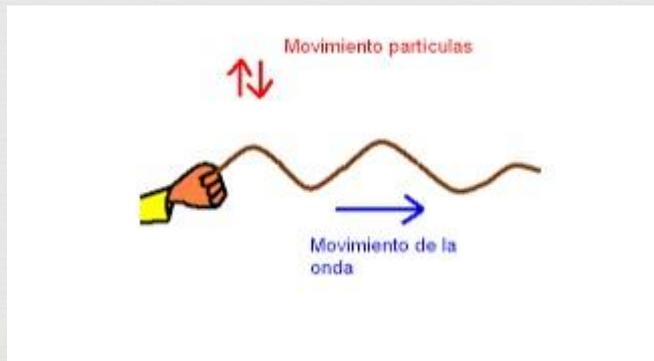
# ¿Qué relación tiene una onda con el MOA?



perturbación

oscilación de  
partículas  
(MOA)

progreso de  
oscilación =  
ONDA



# Clasificación de ondas

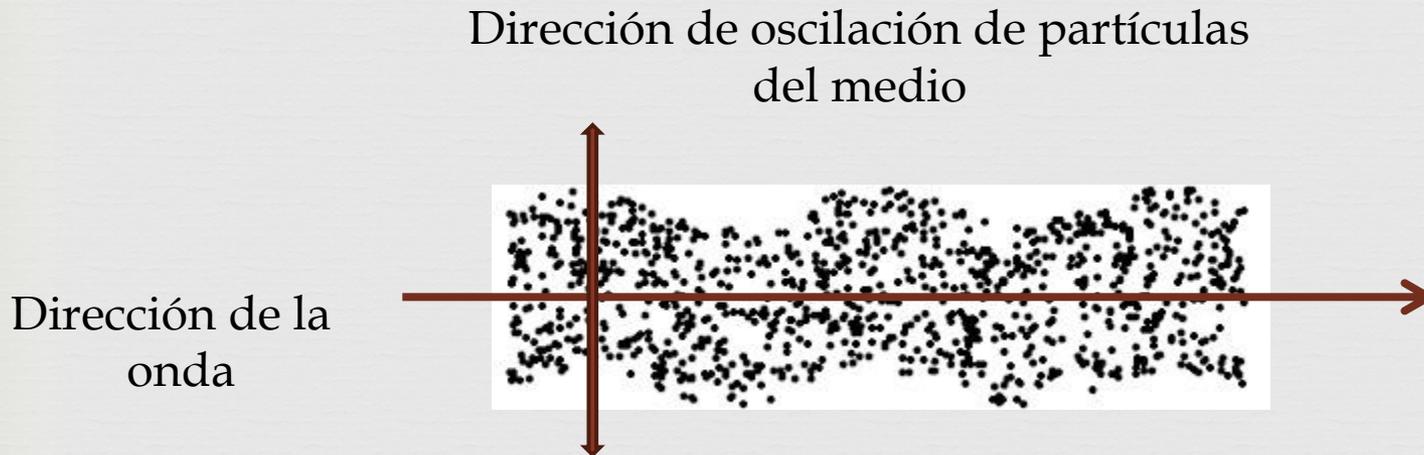


Según la dirección de propagación y de oscilación	1. Transversales
	2. Longitudinales
Según la dimensión de propagación	1. Unidimensionales
	2. Bidimensionales o superficiales
	3. Tridimensionales o esféricas
Según el medio de propagación	1. Mecánicas
	2. Electromagnéticas
Según su periodicidad	1. Periódicas
	2. No periódicas o aperiódicas

# Tipos de ondas



## ☞ Onda transversal



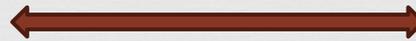
Ej.: ondas EM; onda en el agua; onda en una cuerda

# Tipos de ondas

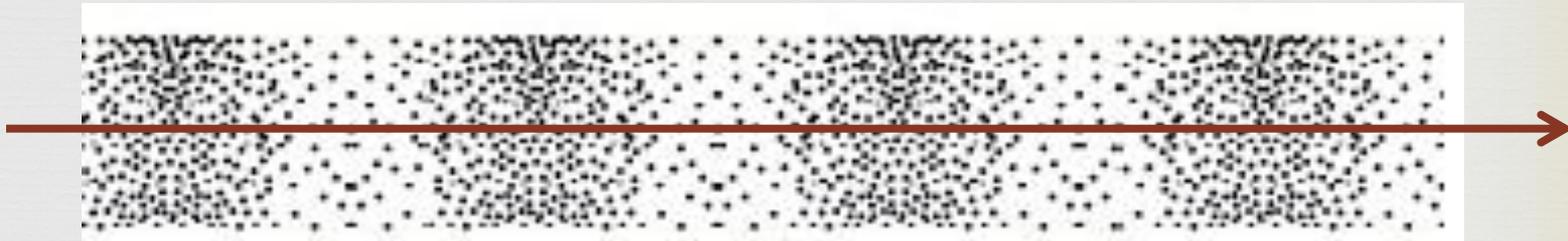


## ∞ Onda longitudinal

Dirección de oscilación de partículas del medio



Dirección de la onda

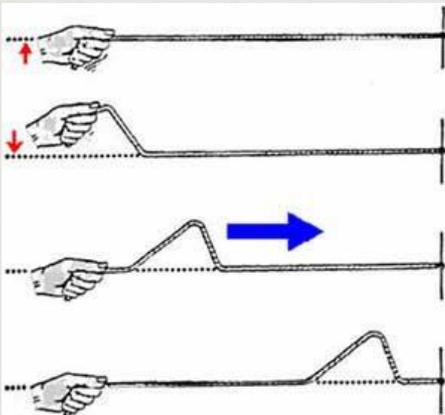


Ej. Ondas sonoras; onda en un muelle o resorte

# Tipos de ondas



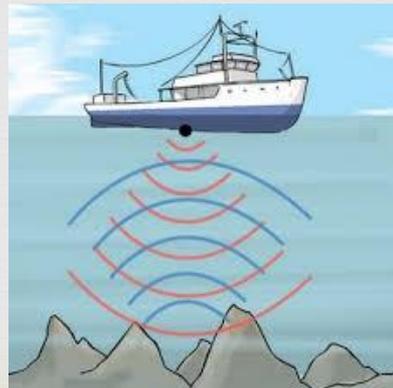
Onda  
Unidimensional



Onda Bidimensional



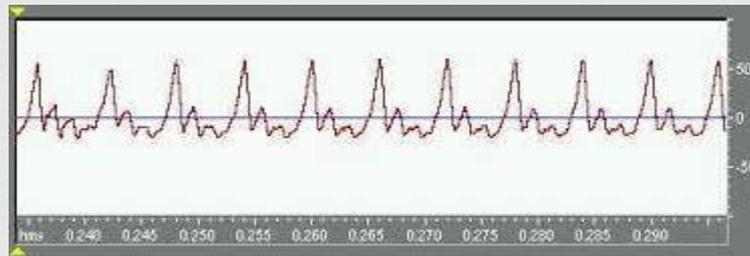
Onda Tridimensional



# Tipos de Onda

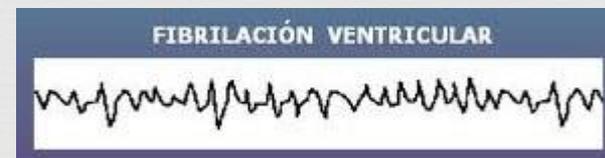
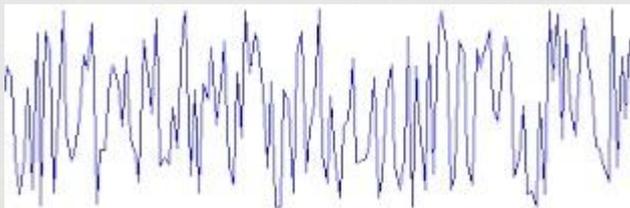


- ∞ Onda periódica: reitera su forma en intervalos sucesivos de tiempo. Ej. Tonos como las vocales



Toda onda periódica se puede transformar en una onda senoidal (teorema de Fourier)

- ∞ Onda aperiódica: no repite su forma a través del tiempo. Ej. Los ruidos, tales como los consonánticos.



# Tipos de onda



- ☞ Armónica o senoidal: Onda periódica generada por un MAS (movimiento armónico simple) que responde a una función senoidal. Posee un período (T) constante.



# Tipos de Ondas



∞ Ondas simples: son las asociadas a ondas senoidales. Ej. El sonido obtenido con un diapasón.



∞ Ondas complejas: son las que resultan de la combinación o superposición de ondas de frecuencias y amplitudes variadas. Ej.: la mayoría de los ruidos de la Naturaleza



# ¿Cómo se genera una onda?



☞ 1º Necesita de una **perturbación** (sacar del equilibrio). Por ej. Una gota que cae sobre un espejo de agua; vibración de cuerdas vocales....



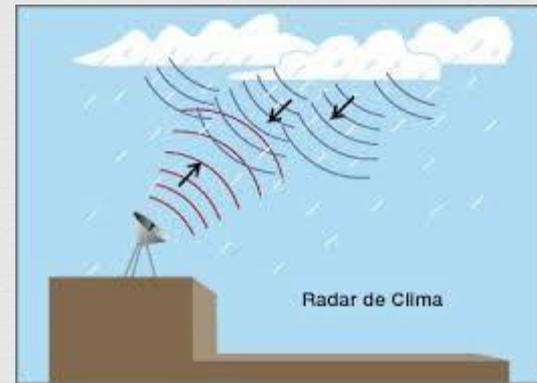
# ¿Cómo se genera una onda?



2º Necesita de un **medio** para «viajar» o propagarse: material elástico si es onda mecánica (OM); medio material o **vacío**, si es onda electromagnética (EM).



Onda Mecánica



Onda Electro Magnética

# Componentes físicos de una onda

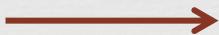
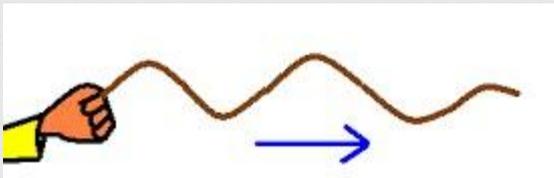


- Dirección de propagación
  - Longitud de onda
  - Altura o amplitud

# Dirección de una onda



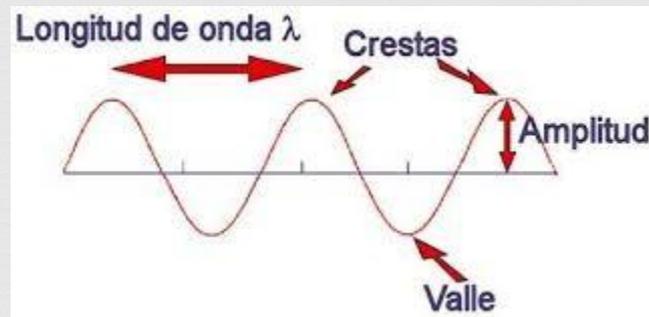
☞ Dirección de propagación: línea que sigue la propagación de energía de una onda unidimensional. Si es bidimensional, sigue un área. Si es tridimensional, se propaga en un espacio.



# Longitud de onda. Altura



- ∞ Longitud de onda ( $\lambda$ ): distancia entre dos crestas o dos valles sucesivos de una onda. Se mide en (m).
- ∞ Altura o amplitud: distancia máxima desde el eje de equilibrio a una cresta o a un valle. Se mide en (m).



# Magnitudes físicas de las ondas.

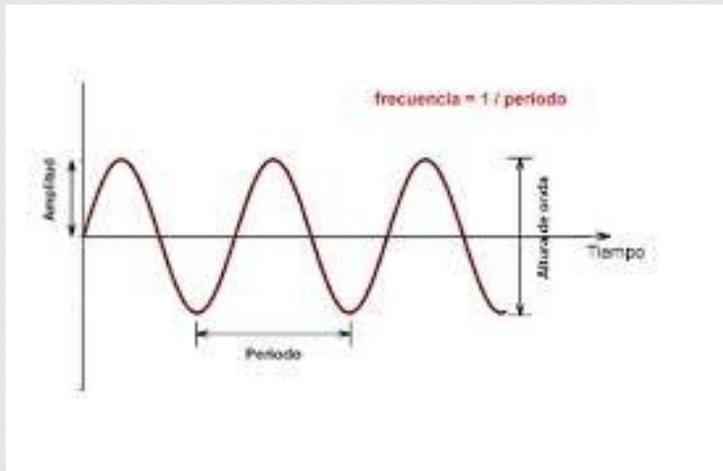


- Período
- Frecuencia
- Rapidez

# Período. Frecuencia



- Período de una onda senoidal (T): tiempo que demora en propagarse un ciclo completo de la onda. Se mide en (s)
- Frecuencia (f): número de ciclos que se propaga en la unidad de tiempo. Se mide en (s<sup>-1</sup>) o hertz (Hz)



Relación entre T y f:

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

# Rapidez de una onda



∞ Rapidez de ondas mecánicas: depende del medio en el que se propagan. **Fijando el medio**, se puede considerar que una onda mecánica tiene rapidez constante e igual a:

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

(La rapidez de una **onda electromecánica en el vacío** es de *300.000 km/s*)

# Ejemplo



La nota musical La tiene una frecuencia, de 440 Hz. Si en el aire se propaga con una velocidad de 340 m/s y en el agua lo hace a 1400m/s, calcula su longitud de onda en esos medios.

## Solución

La frecuencia de un sonido depende de la fuente emisora; la frecuencia es la misma en ambos sentidos.

A partir de la ecuación:  $v = f \cdot \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f}$

$$\text{En el aire: } \lambda = \frac{340 \text{ m/s}}{440 \text{ Hz}} = \underline{0,773 \text{ m}}$$

$$\text{En el agua: } \lambda = \frac{1400 \text{ m/s}}{440 \text{ Hz}} = \underline{3,18 \text{ m}}$$

# SONIDO



¿Qué es el sonido?

**Es una onda mecánica, longitudinal, que sólo se propaga por medios materiales y que es percibida por el oído humano a frecuencias entre 20 Hz y 20 kHz**

# Propiedades del sonido



☞ Rapidez y temperatura absoluta.

Responde a la relación:

$$v = \sqrt{T}$$

*La rapidez del sonido aumenta 0,61 m/s por cada 1°C de aumento de la temperatura.*

Rapidez y medio.

*$v$  (medio sólido) >  $v$  (medio líquido) >  $v$  (medio gaseoso)*

*Ej:  $v$  en el aire a 20 °C es de 344 m/s.*

# Propiedades del sonido



∞ Intensidad del sonido. Se mide a través de la **Intensidad sonora: energía que se propaga por unidad de área transversal y unidad de tiempo.**

∞  $I = 2 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot \delta \cdot v \cdot A$

Donde  $f$  es la frecuencia en  $s^{-1}$

$\delta$  es la densidad del medio en  $Kg/m^3$

$v$  es la velocidad de la onda en  $m/s$

$a$  es la amplitud máxima en  $m$

La intensidad  $I$  se mide en  $W/m^2$



# Propiedades del sonido



*La posición de la manos disminuye la dispersión lateral de la onda conservando la  $I$  en una dirección.*

Principales factores modificantes de  $I$ :

- $f$  (frecuencia)
- $A$  (amplitud)
- Distancia a la fuente: ley del inverso al cuadrado si la propagación es **en todas direcciones.**

$I$  proporcional a  $1/r^2$

- Características del medio

# Propiedades del sonido



∞ Nivel de Intensidad. Medida relativa de la intensidad sonora, que se calcula como:

∞ Nivel de Intensidad  $\beta = 10 \log I / I_0$   
donde  $I$

$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  es la intensidad de referencia.

∞ Se mide en **decibel** (db)

∞ Escala decibèlica

# Propiedades del sonido



*Tabla 1. Intensidades y niveles de intensidad sonora de diversas fuentes*

<i>Sonido</i>	<i>I (W/m<sup>2</sup>)</i>	<i>B (dB)</i>	<i>Descripción</i>
	10 <sup>-12</sup>	0	Umbral de audición
Respiración normal	10 <sup>-11</sup>	10	Sonido apenas perceptible
Rumor de hojas; cuchicheo (a 1 m)	10 <sup>-10</sup>	20	Sonido muy suave
Casa tranquila	10 <sup>-9</sup>	30	
Biblioteca; oficina tranquila	10 <sup>-8</sup>	40	
Oficina normal	10 <sup>-7</sup>	50	Sonido suave
Conversación normal (a 1 m)	10 <sup>-6</sup>	60	
Tráfico denso	10 <sup>-5</sup>	70	
Oficina ruidosa con máquinas; fábrica	10 <sup>-4</sup>	80	Sonido fuerte
Camión pesado (a 15 m)	10 <sup>-3</sup>	90	Sonido muy fuerte. La exposición constante daña
Taller de maquinaria; discoteca	10 <sup>-2</sup>	100	
Ruido de construcción (a 3 m)	10 <sup>-1</sup>	110	Excesivamente fuerte.
Concierto de rock (a 2 m); despegue de un avión (a 60 m)	1	120	Umbral de dolor
Remachadora neumática; ametralladora	10	130	
Despegue de un reactor (cercano)	10 <sup>3</sup>	150	Sonido doloroso
Motor de cohete grande (cercano)	10 <sup>6</sup>	180	

# Propiedades *psicofísicas* del sonido



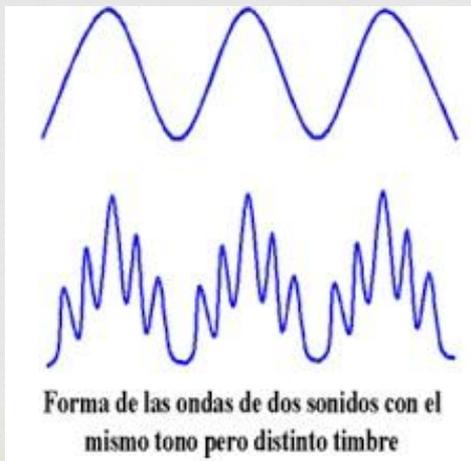
☞ Tono o altura. Propiedad psicofísica que permite diferenciar el sonido **grave** del **agudo**. Propiedad dependiente de la frecuencia ( $f$ ) de la onda sonora.



# Propiedades *psicofísicas* del sonido



- ∞ Timbre o calidad sonora. Propiedad psicofísica que permite diferenciar dos fuentes sonoras aunque emitan en la misma frecuencia e intensidad. Objetivamente, depende de la «forma» de la onda.  
Ej. Permite diferenciar una soprano de una contralto cuando cantan la misma nota musical.



# Fenómenos ondulatorios



- ☞ Reflexión
- ☞ Refracción
- ☞ Difracción
- ☞ Resonancia
- ☞ Interferencia
- ☞ Efecto Doppler

# Reflexión del sonido

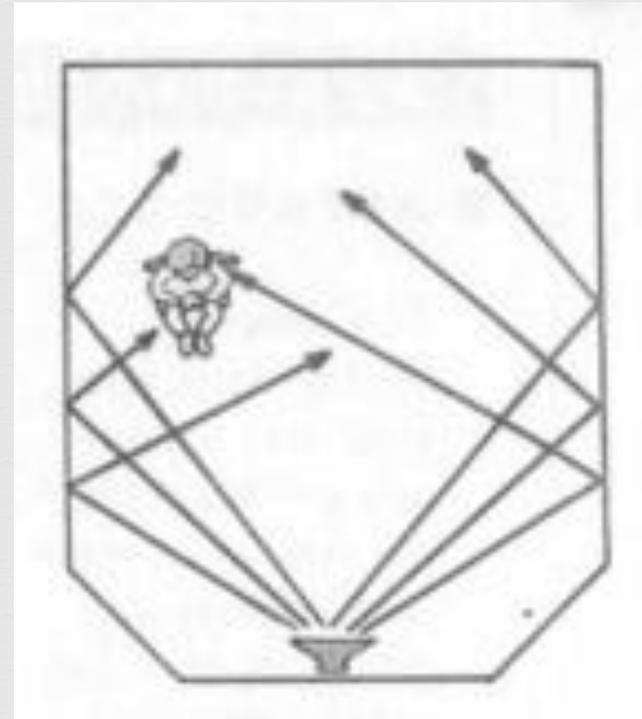


El ángulo de incidencia ( $i$ ) de la onda sonora es igual al ángulo de reflexión de la onda reflejada.

$$i = r$$

Onda reflejada o «eco».

Superficie lisa:  
mayor reflexión



*La reflexión reiterada produce «reverberación» y deformación del sonido.*

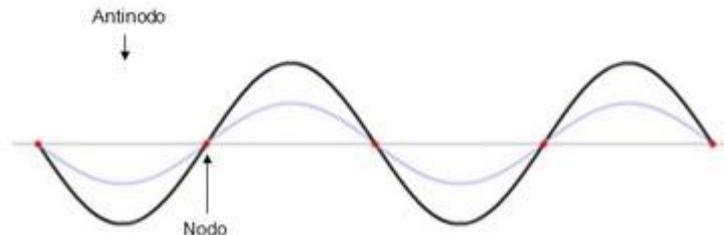
# Reflexión de una onda en un tubo



Una onda sonora que viaja por un fluido confinado en un tubo con un extremo cerrado, se refleja y superpone, generando una **onda estacionaria**

## Ondas estacionarias

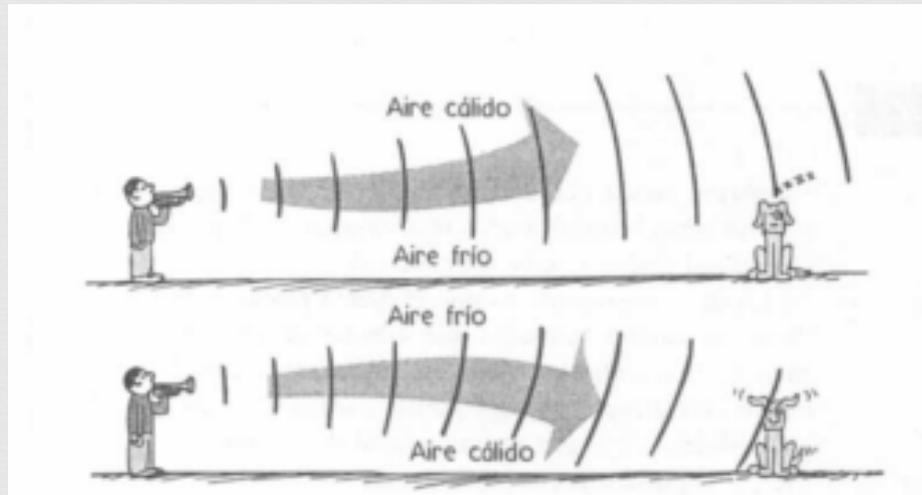
- Una onda estacionaria consiste de dos ondas de la misma amplitud, frecuencia y longitud de onda que viajan en el mismo medio en direcciones opuestas e interfieren
- Esta onda estacionaria presenta un patrón de nodos y antinodos.
- Los nodos son puntos fijos donde la amplitud del movimiento de un elemento de medio en ese lugar es cero.
- Los antinodos son puntos fijos donde la amplitud del movimiento de un elemento de medio en ese lugar tiene amplitud máxima



# Refracción del sonido



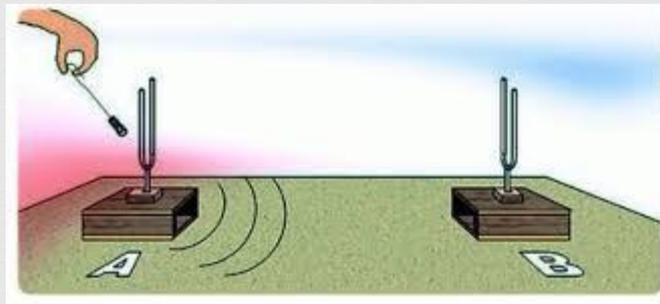
La onda sonora se refracta cuando el medio de propagación cambia. Ej. Cambios de temperatura en el aire: cambia la dirección y rapidez de la onda porque cambia la densidad del medio



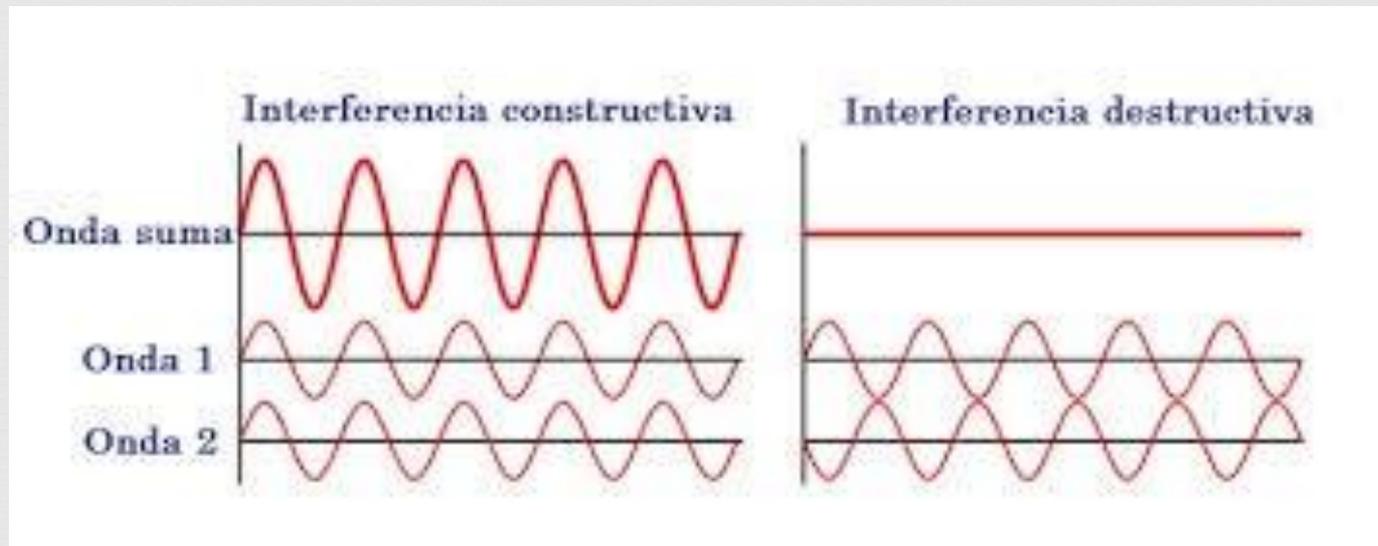
# Resonancia



- ☞ Tenemos dos diapasones (A y B). Damos un golpe a un brazo del A y la vibración (vibración natural) se transmite por la superficie de apoyo. El sonido se hace más intenso. La mesa ha sido forzada a vibrar (vibración forzada). Cuando la vibración llega hasta el diapasón B comenzará a vibrar. Si es de **material idéntico** al A y vibran con igual frecuencia y están en **RESONANCIA** (vibración por resonancia)



# Superposición de ondas sonoras o Interferencia



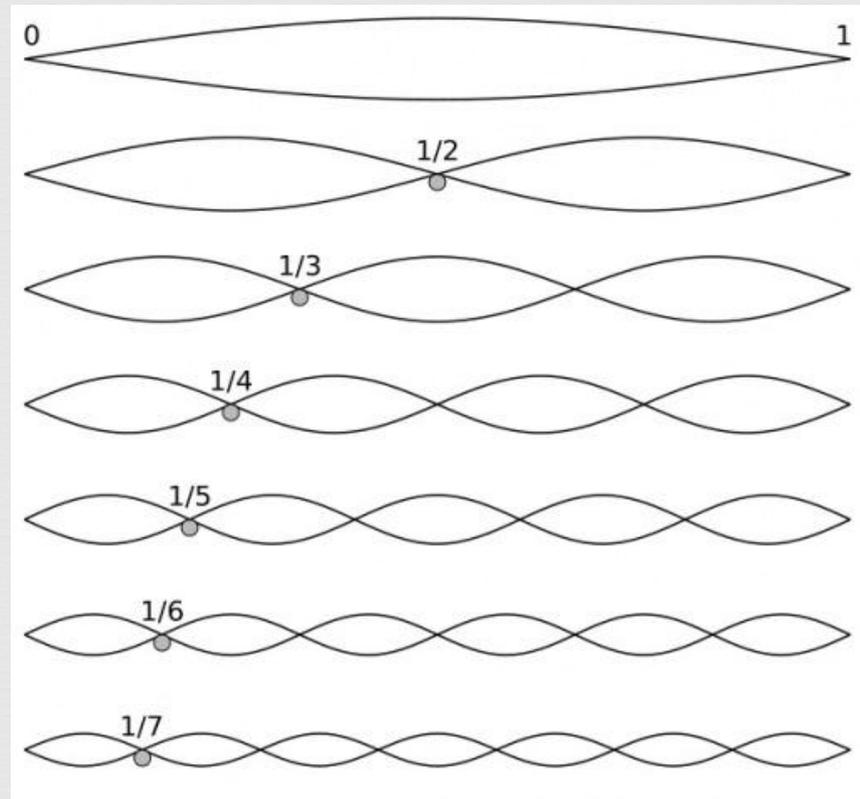
Onda sonora 1 en fase  
con la 2. Onda  
resultante de mayor A

Onda sonora 1 desfasada y en  
oposición con la 2

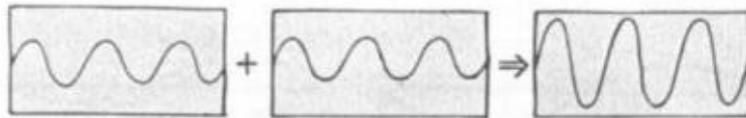
# Superposición de ondas sonoras o Interferencia



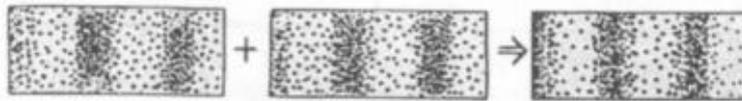
Onda 01 y onda reflejada 10.  
Vibra con frecuencia  
fundamental. Se refleja  
sucesivamente y produce una  
onda superpuesta constructiva  
(máxima A o antinodo) y  
destruktiva (nodo o punto sin  
vibración). La onda resultante  
se llama estacionaria.  
Ej ondas sonoras en  
instrumentos musicales de  
cuerda y de viento



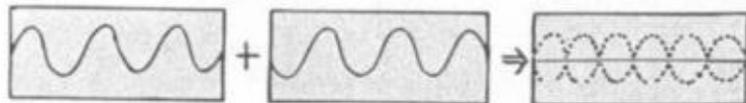
# Superposición de ondas sonoras o Interferencia



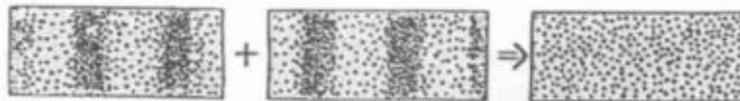
La superposición de dos ondas idénticas transversales y en fase produce una onda de mayor amplitud.



La superposición de dos ondas longitudinales idénticas y en fase produce una onda de mayor intensidad.



Dos ondas transversales idénticas desfasadas se destruyen entre sí cuando se superponen.



Dos ondas longitudinales idénticas desfasadas se destruyen entre sí cuando se superponen.

Dos altavoces alimentados por el mismo amplificador. Hay interferencia constructiva en el punto  $P$ , e interferencia destructiva en el punto  $Q$ .



Dos altavoces emiten ondas en fase

Amplificador

$d_2 + \frac{\lambda}{2}$

$d_1$

$d_2$

$d_1$

$P$

$Q$

La longitud de camino a los altavoces es la misma; los sonidos de ambos altavoces llegan a  $P$  en fase.

La longitud de camino a los altavoces difiere en  $\frac{\lambda}{2}$ ; los sonidos de ambos altavoces llegan a  $Q$  desfasados medio ciclo.

# Difracción del sonido



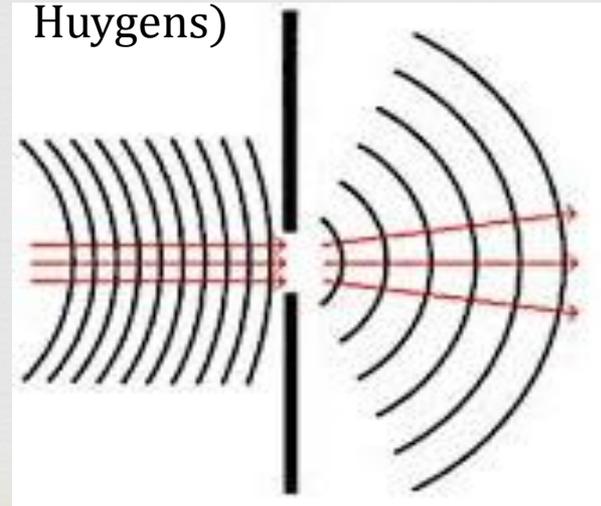
## DIFRACCIÓN DEL SONIDO

Si el sonido encuentra un obstáculo en su dirección de propagación, es capaz de rodearlo y seguir propagándose.

La persona B puede escuchar a la persona A, en virtud de que las ondas sonoras emitidas por A rodean el muro y llegan al oído de B.



Si una onda sonora pasa por una abertura u orificio de tamaño igual o cercano a su  $\lambda$ , la abertura se transforma en una fuente de ondas de menor  $\lambda$ . (principio de Huygens)



# Ejemplo de las «ventajas» de la difracción sonora



Origen del sonido

Ondas sonoras

$\lambda$

Difracción alrededor de una columna

Difracción pasada una pequeña abertura.

Si estuvieras afuera de una puerta abierta, aún lo podrías oír porque el sonido se esparce desde una pequeña abertura como si fuera una fuente de sonido localizada.

Si estuvieras varias longitudes de onda más allá de la columna, no serías capaz de detectar la presencia de ésta a partir de la naturaleza del sonido.

Supóngase que has comprado la entrada para un concierto sin mirar el plano de los asientos, y te ha tocado sentarte detrás de una gran columna. Podrás oír el concierto bastante bien, porque las longitudes de onda del sonido son lo suficientemente largas para curvarse alrededor de la columna.