

# Física Aplicada a Farmacia

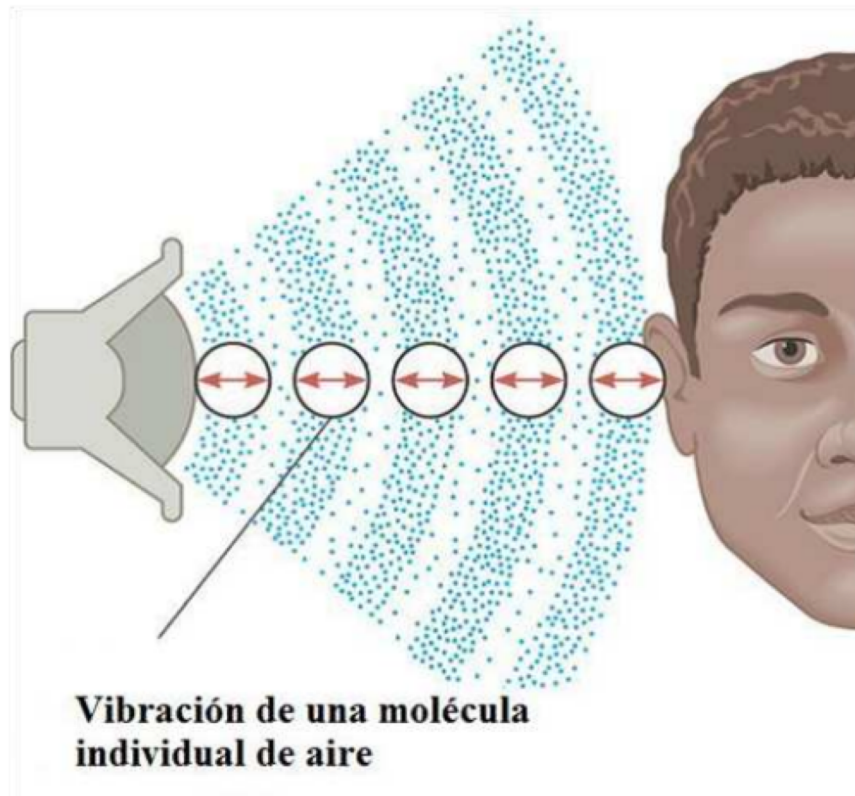
Fernando Herranz  
[fherranz@pdi.ucm.es](mailto:fherranz@pdi.ucm.es)

Tutorías L,X,V 17.30  
(avisad antes !)

# Parte 3<sup>a</sup>. ONDAS

Tema 2: El sonido. Propiedades de las ondas sonoras. Efecto Doppler.

**Las ondas sonoras viajan a través de cualquier medio material con una rapidez que depende de las propiedades del medio**

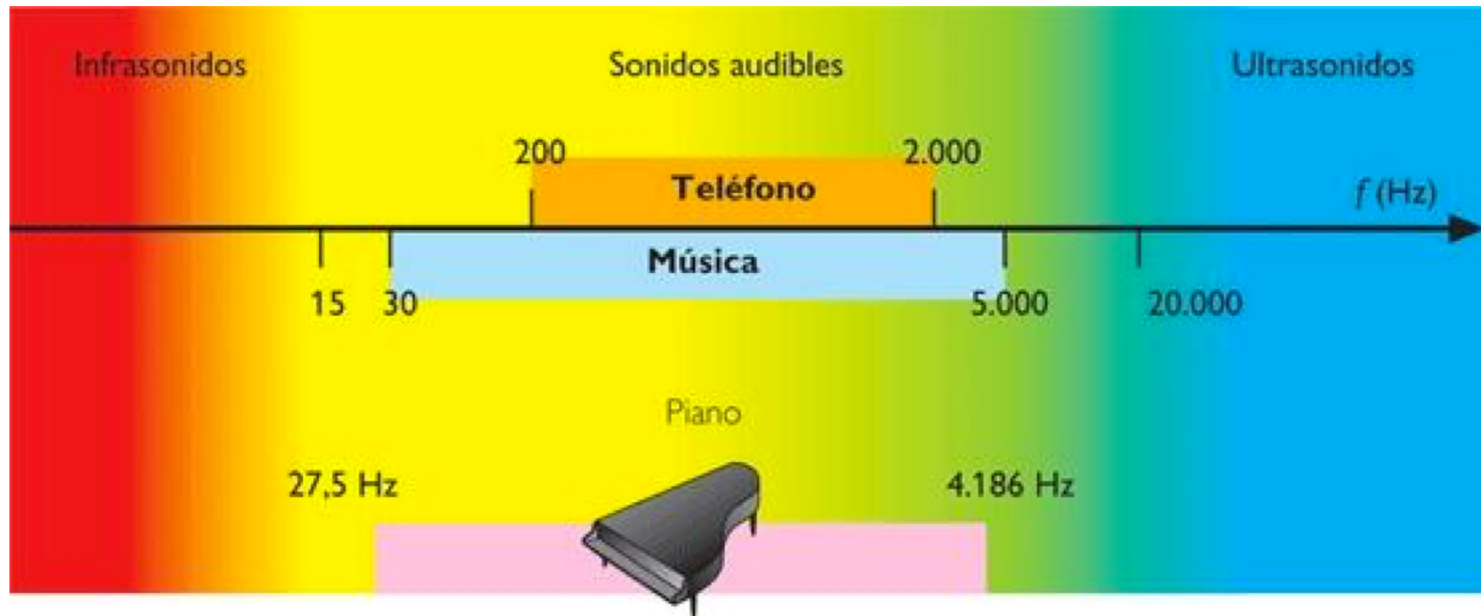


Las ondas sonoras se dividen en tres categorías que cubren diferentes intervalos de frecuencia.

1) Las *ondas audibles* se encuentran dentro del intervalo de sensibilidad del oído humano. Es posible generarlas en una variedad de formas, como de instrumentos musicales, voces humanas o bocinas.

2) Las *ondas infrasónicas* tienen frecuencias por abajo del intervalo audible. Los elefantes usan ondas infrasónicas para comunicarse mutuamente, aun cuando estén separados por varios kilómetros.

3) Las *ondas ultrasónicas* tienen frecuencias por arriba del alcance audible.





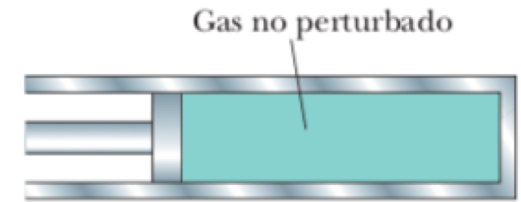
# Rapidez de ondas sonoras

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

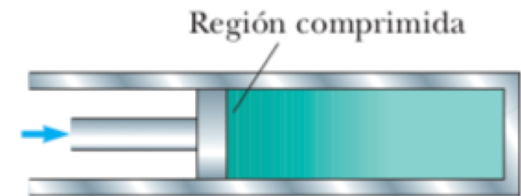
$$v = \sqrt{\frac{\text{propiedad elástica}}{\text{propiedad inercial}}}$$

La rapidez del sonido también depende de la temperatura del medio. La relación entre la rapidez de la onda y la temperatura del aire, para sonido que viaja a través del aire, es

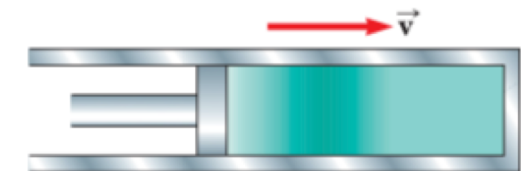
$$v = (331 \text{ m/s})\sqrt{1 + \frac{T_C}{273^\circ\text{C}}}$$



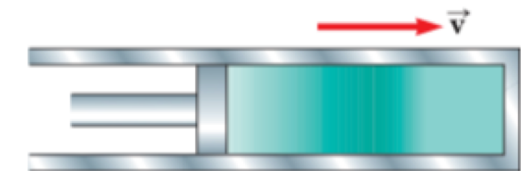
a)



b)



c)



d)

## Ondas sonoras periódicas

A medida que el pistón tiene una oscilación sinusoidal, se establecen continuamente regiones de compresión y enrarecimiento.

La distancia entre dos compresiones sucesivas (o dos enrarecimientos sucesivos) iguala la longitud de onda

$$s(x, t) = s_{\text{máx}} \cos(kx - \omega t)$$

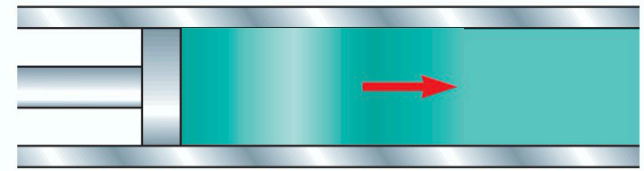
$s_{\text{máx}}$  es la posición máxima del elemento relativo al equilibrio. Con frecuencia, este parámetro se llama **amplitud de desplazamiento** de la onda. El parámetro  $k$  es el número de onda, y  $\omega$  es la frecuencia angular de la onda.

La variación en la presión del gas  $P$  observada desde el valor de equilibrio también es periódica.

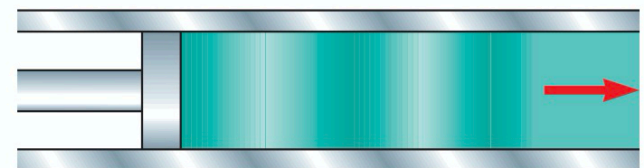
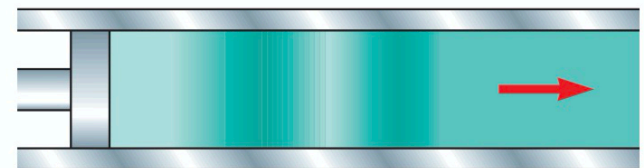
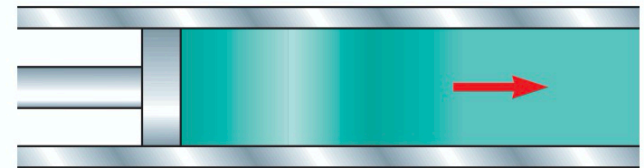
$$\Delta P = \Delta P_{\text{máx}} \text{sen}(kx - \omega t)$$

$$\Delta P_{\text{máx}} = \rho v \omega s_{\text{máx}}$$

compresión



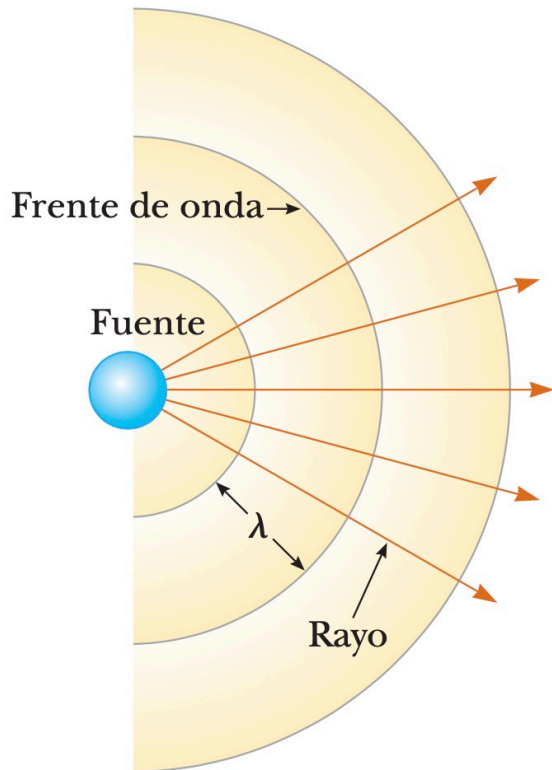
enrarecimiento



$\leftarrow \lambda \rightarrow$

La **intensidad**  $I$  de una onda, o la potencia por cada unidad de área, se define como la rapidez a la cual la energía transportada por la onda se transfiere a través de una unidad de área  $A$  perpendicular a la dirección de viaje de la onda:

$$I \equiv \frac{\mathcal{P}}{A}$$



Cuando una fuente emite sonido por igual en todas direcciones, el resultado es una **onda esférica**

Cada arco representa una superficie sobre la cual es constante la fase de la onda. A tal superficie de fase constante se le llama frente de onda. La distancia entre frentes de onda adyacentes que tienen la misma fase es la longitud de onda

$$I = \frac{\mathcal{P}_{\text{prom}}}{A} = \frac{\mathcal{P}_{\text{prom}}}{4\pi r^2}$$

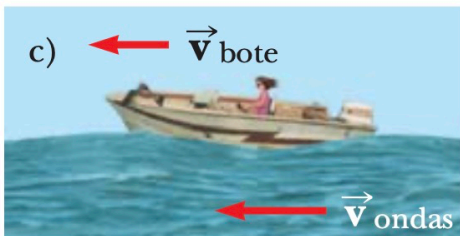
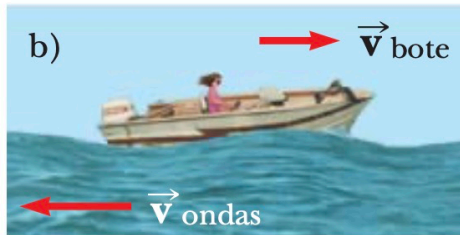
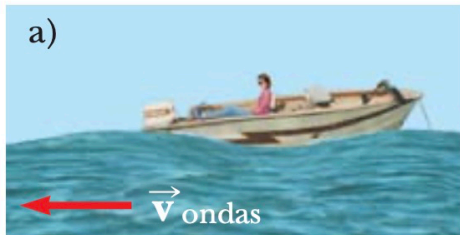
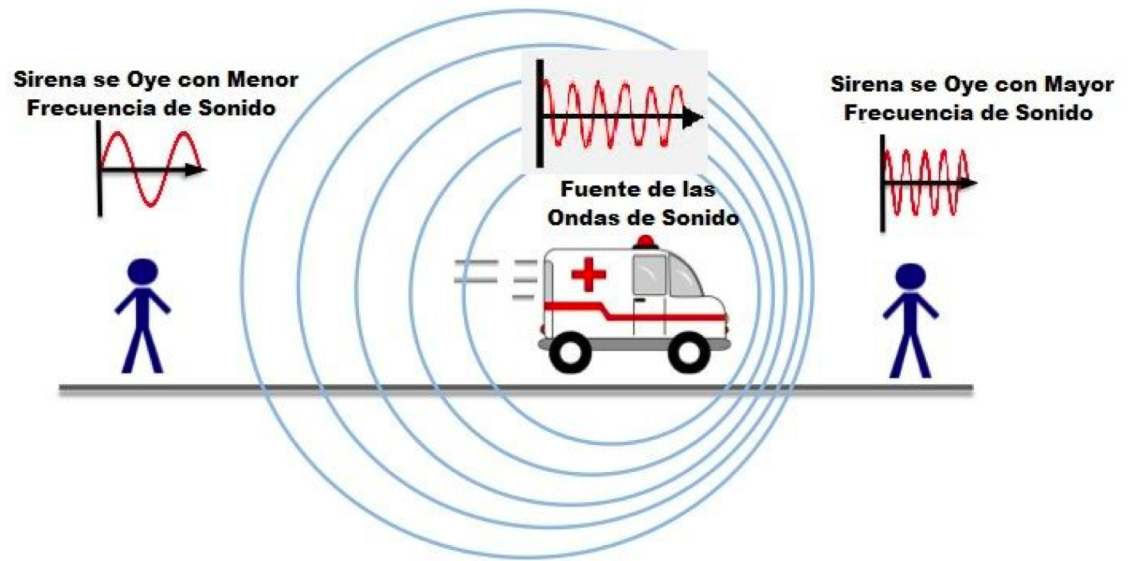
## Niveles sonoros en decibelios

Debido al amplio intervalo de intensidades que puede detectar el oído humano es conveniente usar una escala logarítmica, donde el **nivel sonoro** ( $\beta$ ) se define mediante la ecuación

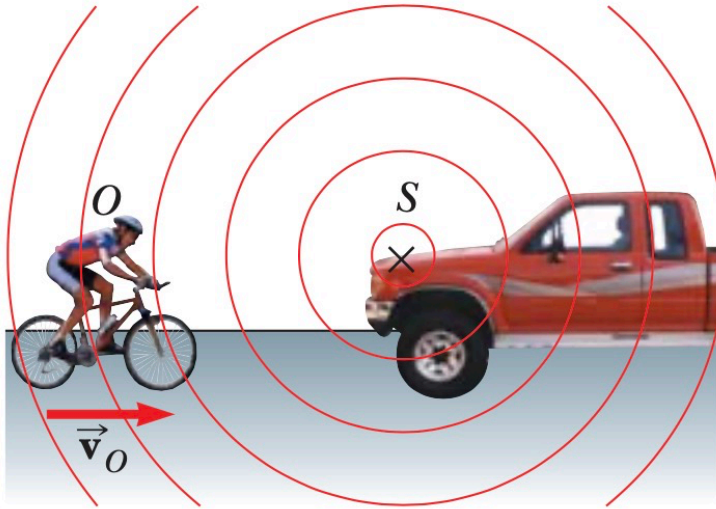
$$\beta \equiv 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

La constante  $I_0$  es la *intensidad de referencia*, considerada como el umbral de audición ( $I_0 = 1.00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$ ) e  $I$  es la intensidad en watts por cada metro cuadrado a la que corresponde el nivel de sonido  $\beta$ , donde  $\beta$  se mide<sup>2</sup> en **decibeles** (dB). En esta escala, el umbral de dolor ( $I = 1.00 \text{ W/m}^2$ ) corresponde a un nivel sonoro de  $\beta = 10 \log [(1 \text{ W/m}^2)/(10^{-12} \text{ W/m}^2)] = 10 \log (10^{12}) = 120 \text{ dB}$ , y el umbral de audición corresponde a  $\beta = 10 \log [(10^{-12} \text{ W/m}^2)/(10^{-12} \text{ W/m}^2)] = 0 \text{ dB}$ .

# El efecto Doppler



Diferente rapidez relativa, distinta frecuencia aparente



las ondas se mueven con la misma rapidez en todas direcciones, se alejan radialmente de la fuente; el resultado es una onda esférica.

La distancia entre frentes de onda adyacentes es igual a la longitud de onda  $\lambda$

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v + v_o}{\lambda}$$

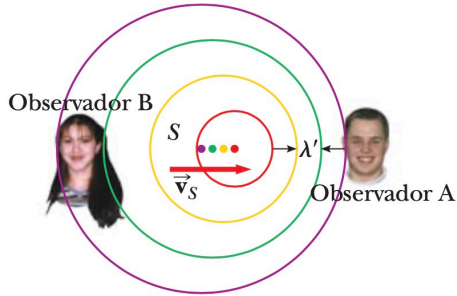
Ya que  $\lambda = v/f$ ,  $f'$  se puede expresar como

$$f' = \left( \frac{v + v_o}{v} \right) f \quad (\text{observador en movimiento hacia la fuente})$$

$$f' = \left( \frac{v - v_o}{v} \right) f \quad (\text{observador alejándose de la fuente})$$



## Con la fuente en movimiento



$$\lambda' = \lambda - \Delta\lambda = \lambda - \frac{v_s}{f}$$

Como  $\lambda = v/f$ , la frecuencia  $f'$  que escucha el observador A es

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda - (v_s/f)} = \frac{v}{(v/f) - (v_s/f)}$$

$$f' = \left( \frac{v}{v - v_s} \right) f \quad (\text{fuente móvil hacia el observador})$$

Es decir: la frecuencia observada *aumenta* siempre que la fuente se mueva hacia el observador.

Cuando la fuente se aleja de un observador estacionario, como es el caso del observador B en la figura 17.9a, el observador mide una longitud de onda  $\lambda'$  que es *mayor* que  $\lambda$  y escucha una frecuencia *reducida*:

$$f' = \left( \frac{v}{v + v_s} \right) f \quad (\text{fuente que se aleja del observador})$$

## Expresión general efecto Doppler

$$f' = \left( \frac{v + v_o}{v - v_s} \right) f$$

En esta expresión los signos para los valores sustituidos para  $v_o$  y  $v_s$  dependen de la dirección de la velocidad. Un valor positivo se usa para movimiento del observador o la fuente *hacia* el otro (asociado con un *aumento* en la frecuencia observada), y un valor negativo se usa para movimiento de uno *alejándose* del otro (asociado con una *disminución* en la frecuencia observada).



## DEFINICIONES

La **intensidad** de una onda sonora periódica, que es la potencia por cada unidad de área, es

$$I \equiv \frac{\mathcal{P}}{A} = \frac{(\Delta P_{\text{máx}})^2}{2\rho v} \quad (17.5, 17.6)$$

El **nivel sonoro** de una onda sonora en decibeles es

$$\beta \equiv 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad (17.8)$$

La constante  $I_0$  es una intensidad de referencia, que usualmente se considera como el umbral de audición ( $1.00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$ ), e  $I$  es la intensidad de la onda sonora en watts por metro cuadrado.

## CONCEPTOS Y PRINCIPIOS

Las ondas sonoras son longitudinales y viajan a través de un medio comprimible con una rapidez que depende de las propiedades elásticas e inerciales de dicho medio. La rapidez del sonido en un líquido o gas que tenga un módulo volumétrico  $B$  y densidad  $\rho$  es

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (17.1)$$

Para ondas sonoras sinusoidales, la variación en la posición de un elemento del medio es

$$s(x, t) = s_{\text{máx}} \cos(kx - \omega t) \quad (17.2)$$

y la variación en presión a partir del valor de equilibrio es

$$\Delta P = \Delta P_{\text{máx}} \sin(kx - \omega t) \quad (17.3)$$

donde  $\Delta P_{\text{máx}}$  es la **amplitud de presión**. La onda de presión está  $90^\circ$  fuera de fase con la onda de desplazamiento. La correspondencia entre  $s_{\text{máx}}$  y  $\Delta P_{\text{máx}}$  es

$$\Delta P_{\text{máx}} = \rho v \omega s_{\text{máx}} \quad (17.4)$$

El cambio en la frecuencia que escucha un observador siempre que hay movimiento relativo entre una fuente de ondas sonoras y el observador se llama **efecto Doppler**. La frecuencia observada es

$$f' = \left( \frac{v + v_o}{v - v_s} \right) f \quad (17.13)$$

En esta expresión, los signos para los valores sustituidos para  $v_o$  y  $v_s$  dependen de la dirección de la velocidad. Un valor positivo para la velocidad del observador o fuente se sustituye si la velocidad de uno es hacia el otro, mientras que un valor negativo representa una velocidad de uno alejándose del otro.

En la grabación digital de sonido, la forma de onda sonora se muestrea 44 100 veces por segundo. La presión de la onda por cada muestreo se mide y convierte en número binario. En la reproducción estos números binarios se leen y usan para construir la forma de onda original.