

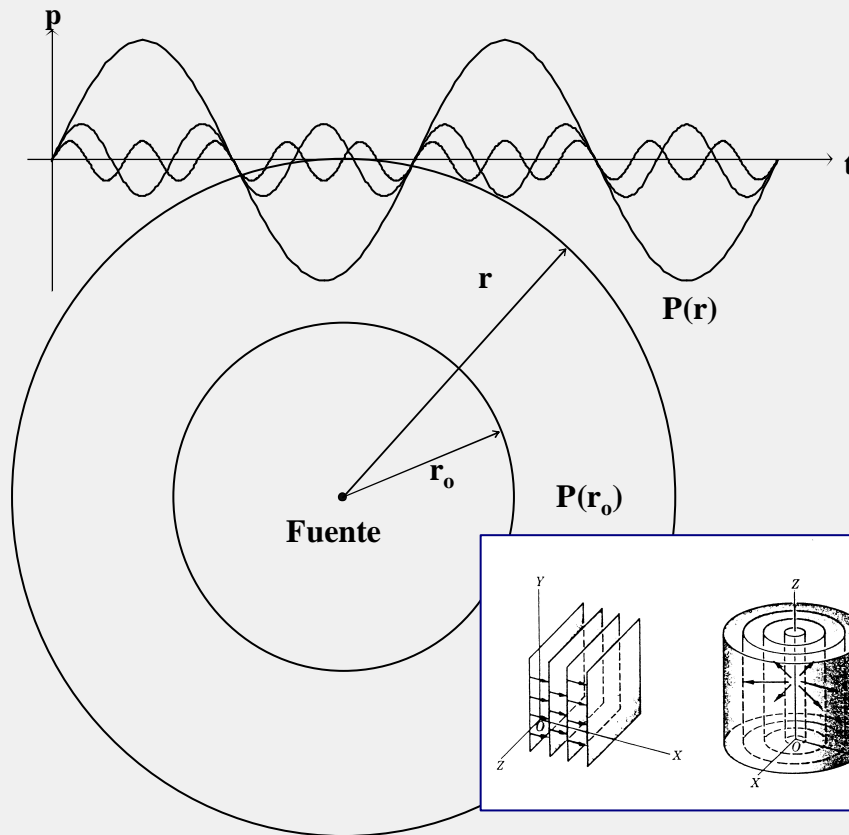


ugr

Universidad  
de Granada

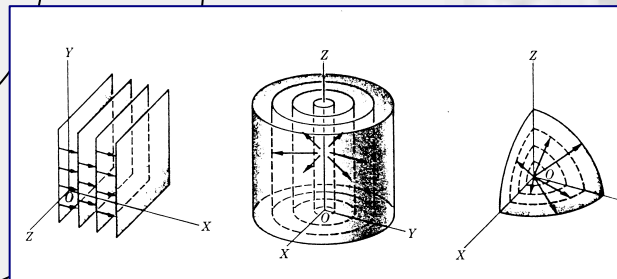
**2005-2014**

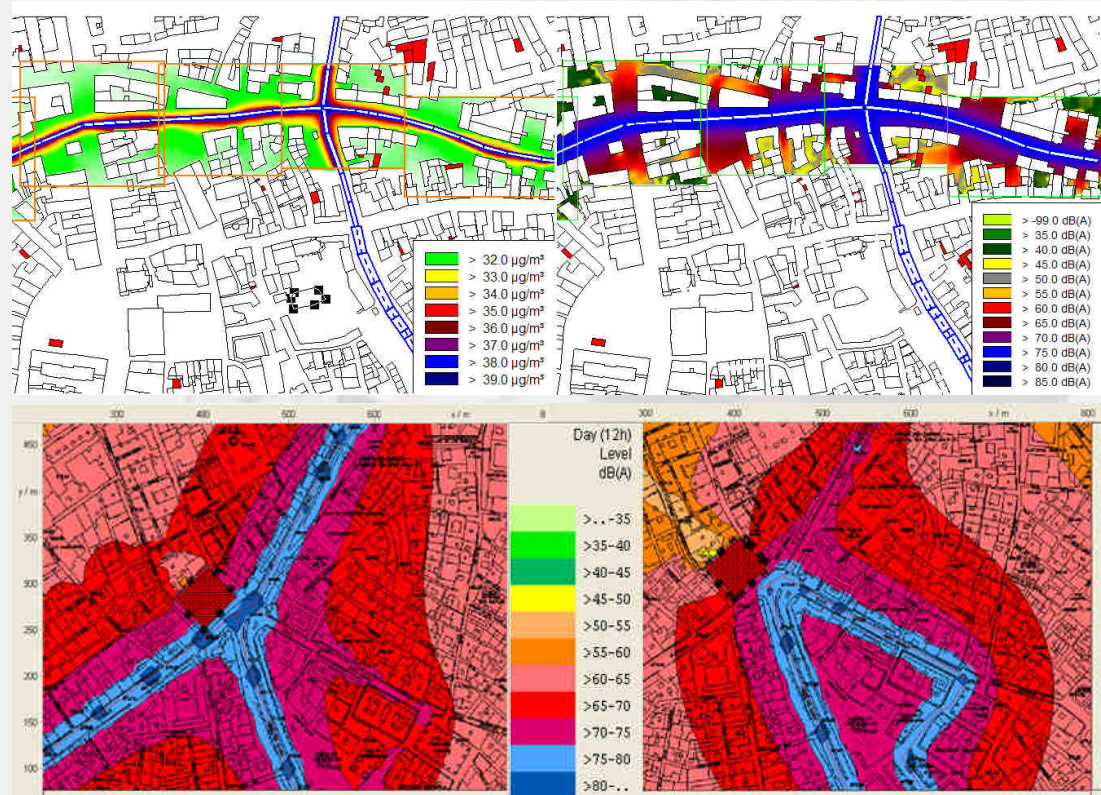
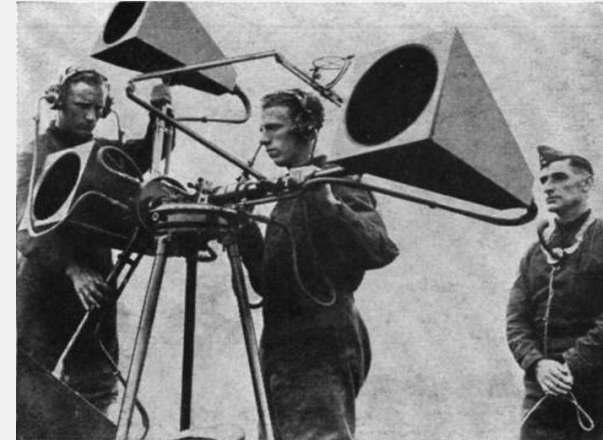
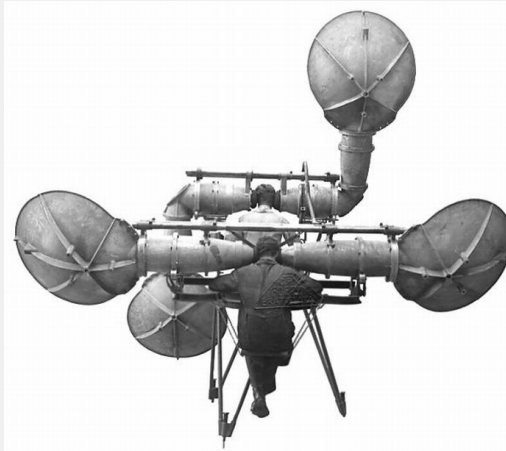
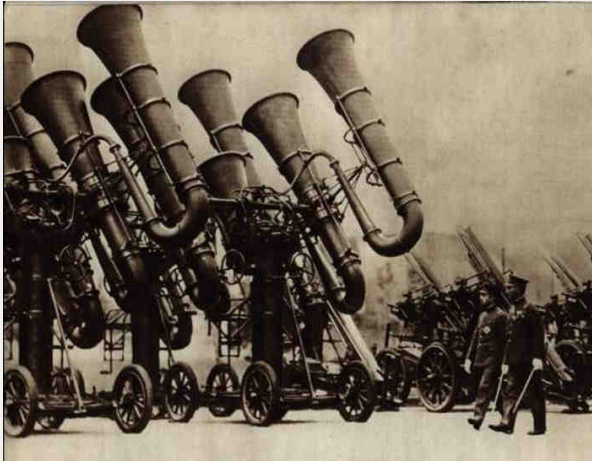
Década de la Educación para el  
Desarrollo Sostenible (UNESCO)



## Contaminación Acústica

Licenciatura en Ciencias Ambientales  
Grupos 2º B y C





## ¿Qué es el ruido y por qué nos preocupa?

**ruido:** Es el **sonido indeseado**, ya sea por sus efectos sobre los seres humanos, por sus efectos sobre la fatiga o malfuncionamiento de equipos físicos o por sus efectos sobre la percepción o detección de otros sonidos.

Esta definición implica un **juicio humano** sobre el valor del sonido, que depende del **contexto**.

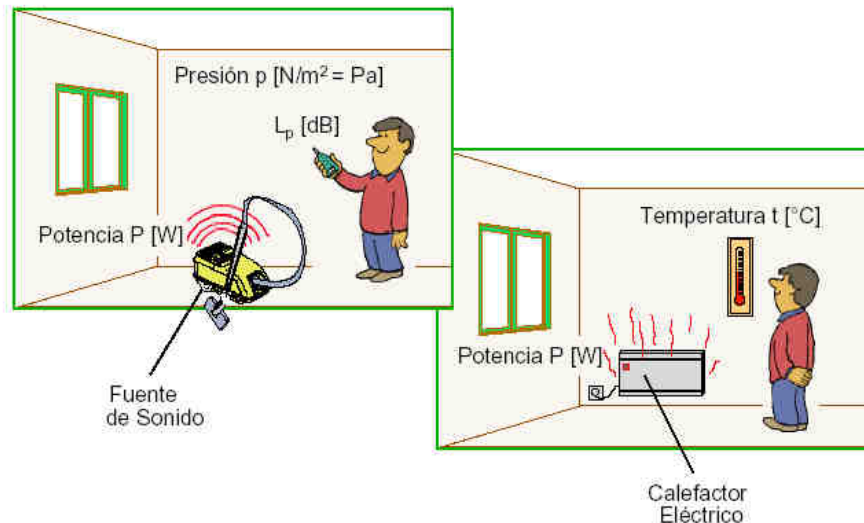
No todos los **sonidos elevados** pueden ser catalogados como ruido:

➤ *alertas y avisos, supervisión de trabajos, verificación correcto funcionamiento, etc.*

**ruido ambiental:** el sonido exterior no deseado o nocivo generado por las actividades humanas, incluido el ruido emitido por los medios de transporte, por el tráfico rodado, ferroviario y aéreo y por emplazamientos de actividades industriales como los descritos en el anexo I de la Directiva 96/61/CE del Consejo, de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación.

*Artículo 3 (definiciones), apartado a) de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental (DOCE L189 de 18.7.2002, página 13)*

**sonido:** Es una **perturbación** que se propaga a través de un medio elástico a una velocidad que depende del material, normalmente provocada por la vibración de una superficie sólida o por alteraciones en un fluido.



### Fuente de sonido:

Produce una determinada cantidad de **energía** (sonora) por unidad de tiempo.

**Potencia sonora:** medida de la cantidad de energía sonora que es capaz de producir.

El **flujo** de esta energía da lugar a **variaciones de presión que es posible MEDIR** en cualquier punto de la habitación. Magnitud: NPS

Factores que pueden influir: distancia a la fuente, capacidad de absorción/transmisión de paredes, ventanas y suelos, atenuación que pueda tener lugar en el aire, etc.

### Fuente de calor:

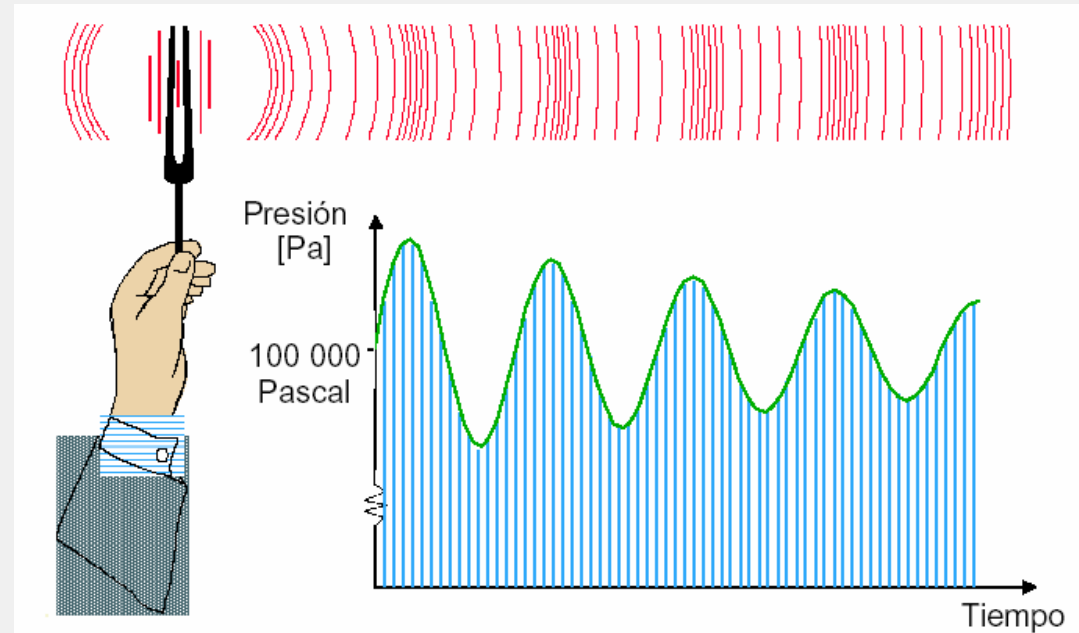
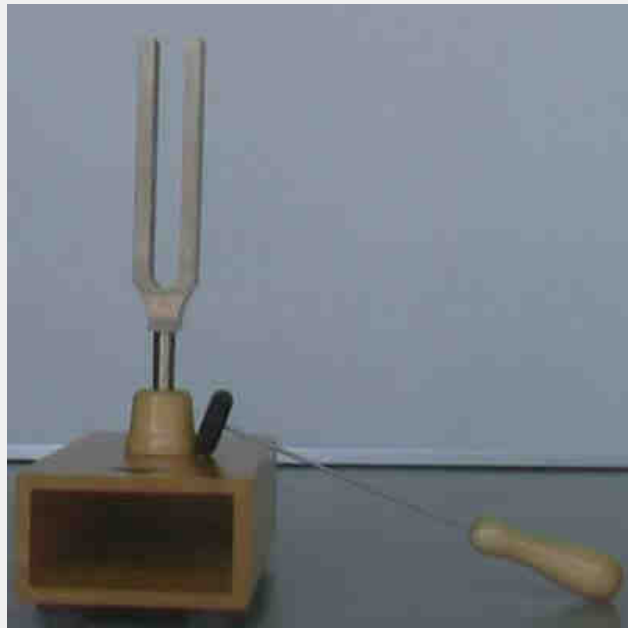
Produce una cierta cantidad de **energía** (calorífica) por unidad de tiempo.

**Potencia:** indicativo de la cantidad de CALOR que puede generar con independencia del ambiente que le rodea.

El **flujo de energía** da lugar a una cierta **temperatura MEDIBLE** en cualquier parte de la habitación en la que esté situado el calefactor.

Temperatura: depende del proceso de transferencia de calor que tenga lugar entre el radiador y entorno.

El **sonido** es una alteración física en un medio (sólido, líquido o gaseoso) que puede ser detectada por el oído humano. El medio debe poseer masa y elasticidad y las vibraciones del mismo se propagan en forma de **ondas de presión**.



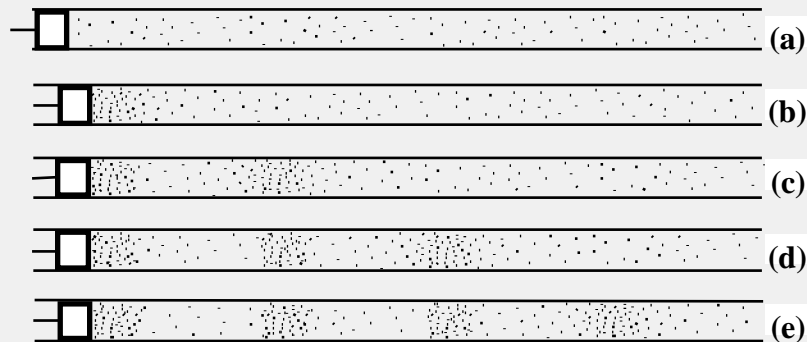
El **sonido** es un caso particular de onda acústica, en la que se propaga una vibración de las partículas del medio. Conviene por ello conocer los conceptos de **oscilación** y **onda**.

Los **movimientos oscilatorios** se pueden clasificar en dos grandes grupos:

**a) Periódicos**

- Simples (armónico)
- Compuestos

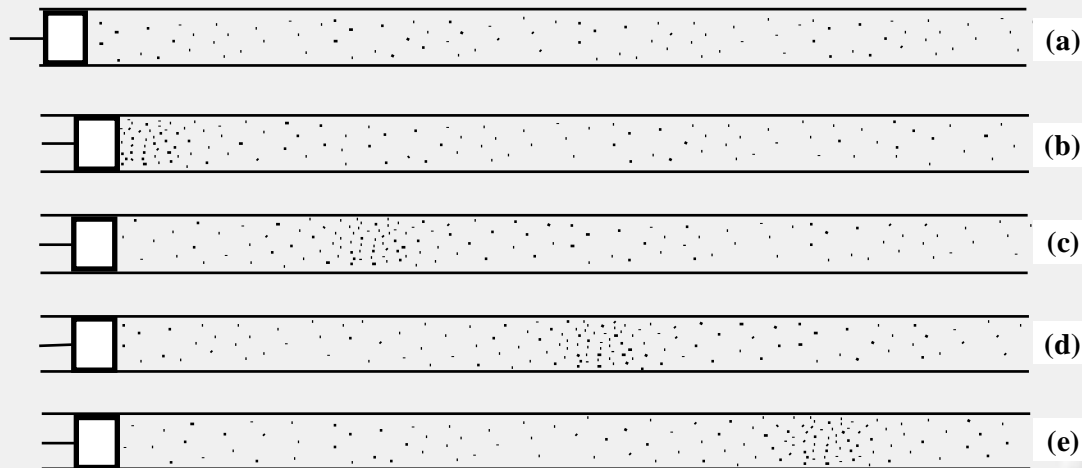
**b) No periódicos**



Si el **movimiento del pistón** es armónico, su posición y velocidad vendrán dados por:

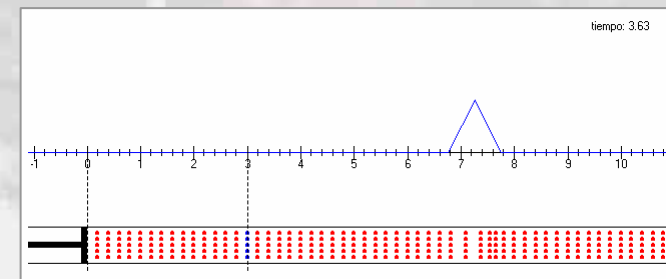
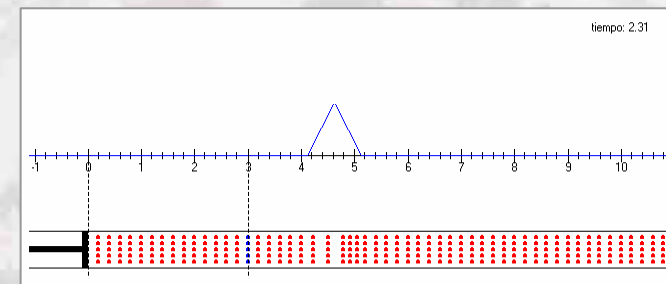
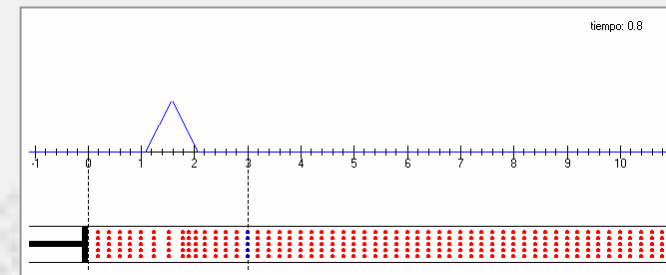
$$x(t) = A \sin(\omega t)$$

$$u(t) = \omega A \cos(\omega t)$$



El **movimiento del pistón** a una velocidad “ $u$ ” provoca la propagación de una **perturbación** (variación de densidad) a una velocidad “ $c_o$ ”.

Cuando la perturbación ha pasado, se recuperan las condiciones iniciales de presión y densidad.

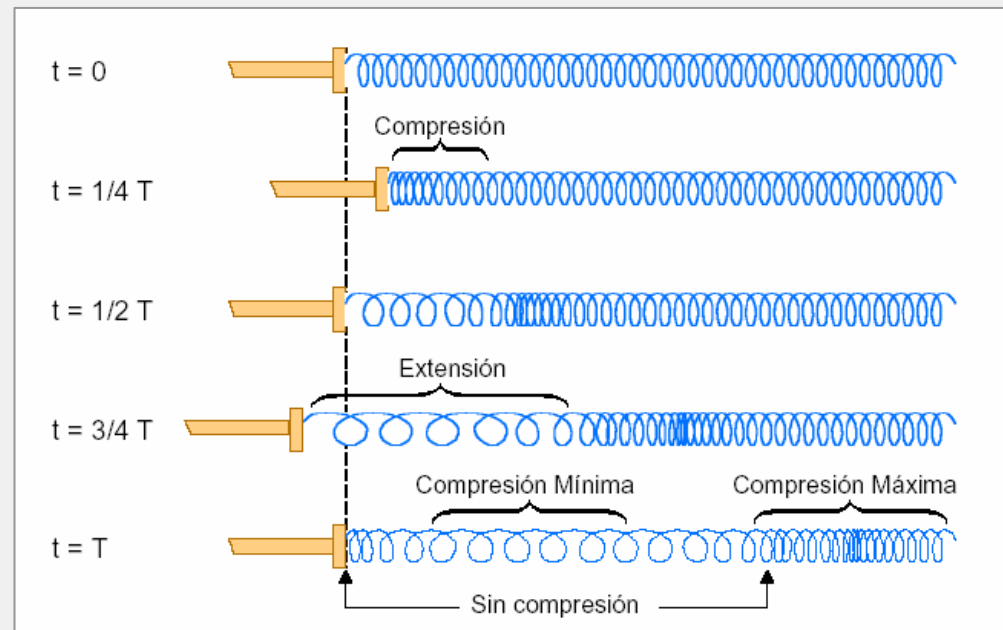


Cuando ha transcurrido un tiempo  $T$ , el pistón se encuentra de nuevo en su posición inicial.

$$T = 2\pi/\omega$$

La perturbación se propaga a una velocidad " $c_o$ "

$$\lambda = c_o T$$



**Onda** : es la **propagación** a través del espacio de una determinada perturbación producida en un punto (foco emisor).

Esta propagación se produce en virtud de las ligaduras del medio, que vincula a elementos del mismo que realizan un **movimiento vibratorio**.

Sea cual sea la magnitud física representada por la onda, ésta siempre transporta **energía**.

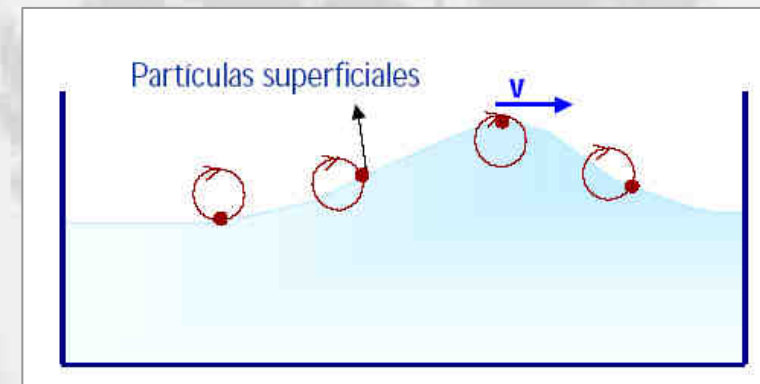
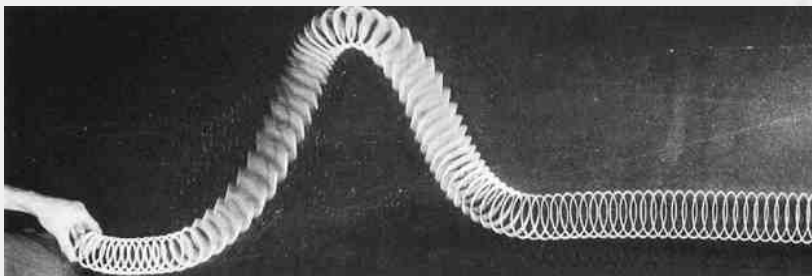
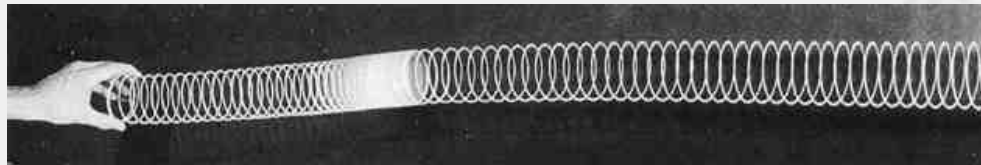
## TIPOS DE ONDAS:

- Según el MEDIO de propagación:

- **Mecánicas:** precisan de un medio material para propagarse. vg. sonido
- **Electromagnéticas:** no precisan medio de propagación. vg. Luz, ondas EMF

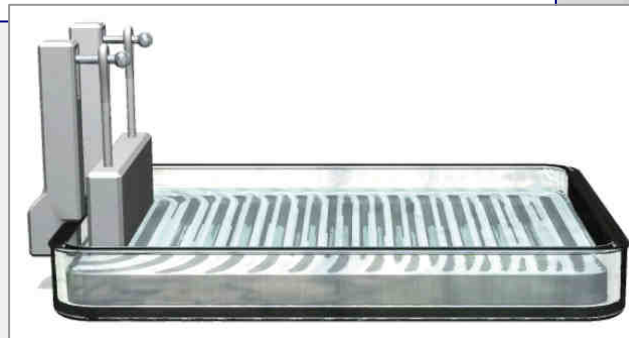
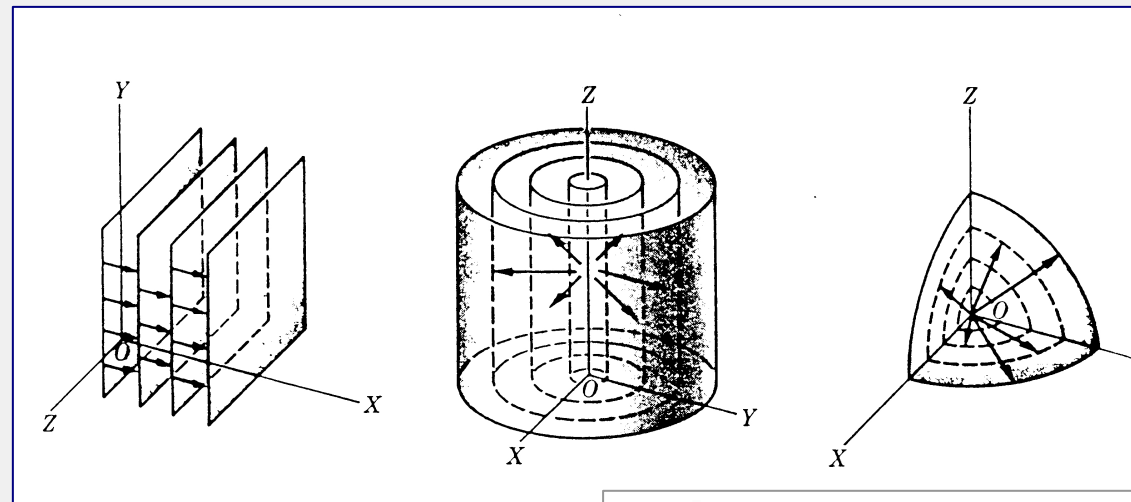
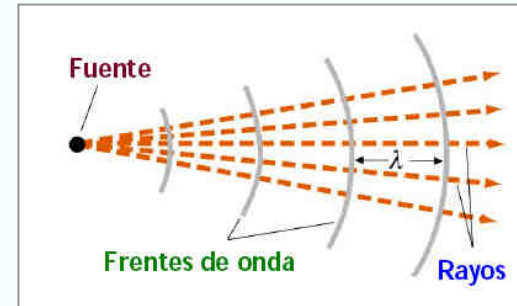
- Según la DIRECCIÓN de propagación:

- **Longitudinales:** movimiento vibratorio y sentido de propagación coinciden
- **Transversales:** vibración y propagación perpendiculares
- **Longitudinal+Transversal:** combinación de tipos



- Según su FRENTE de onda:

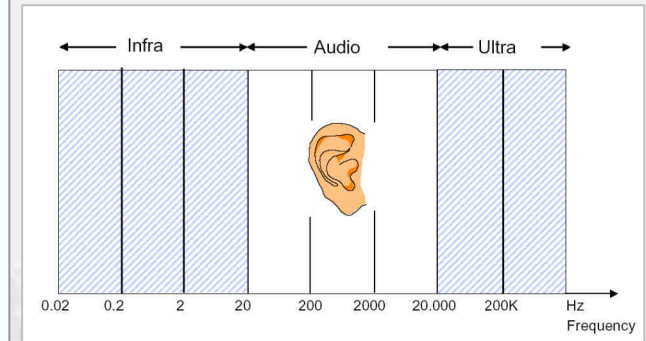
- Ondas Planas
- Ondas Cilíndricas
- Ondas Esféricas



### En resumen:

El **sonido** es una **onda acústica** consistente en la propagación de una vibración en un **medio material**, que es capaz de producir una **sensación auditiva** en los seres vivos.

Algunas ondas acústicas no son sonidos (infrasonidos y ultrasonidos) y una misma onda acústica puede ser sonido para un ser vivo (vg. perro) y no para otro (vg. ser humano) debido a una **diferente sensibilidad espectral**.

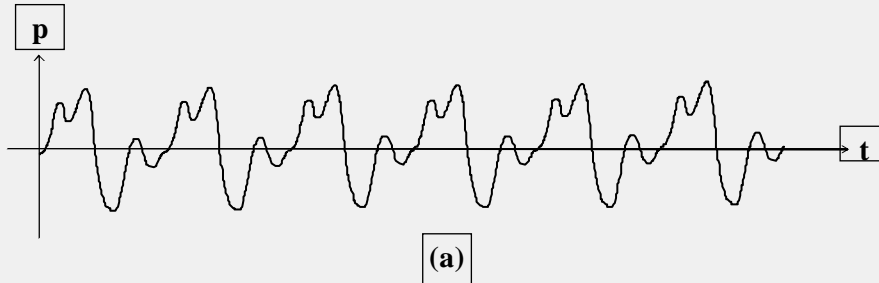


Los **movimientos ondulatorios** también se pueden clasificar en dos grandes grupos:

#### a) Periódicos

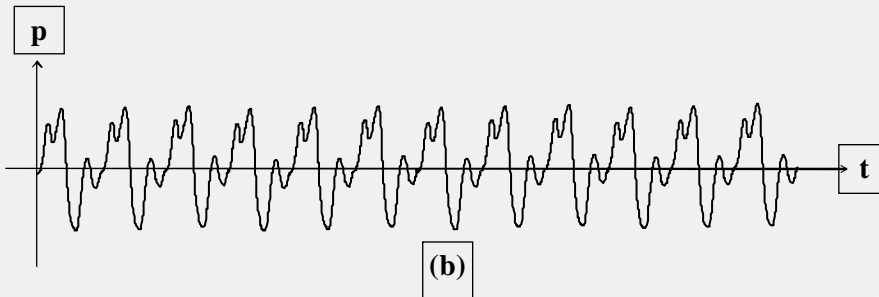
- Simples (ondas armónicas)
- Compuestos

#### b) No periódicos (ondas complejas)

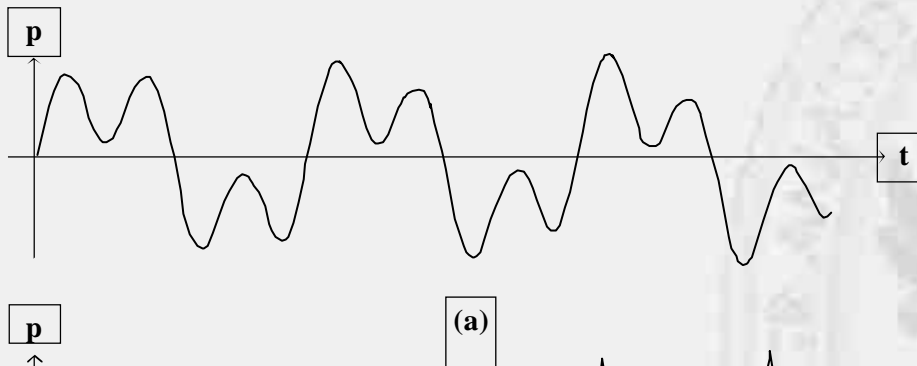


Sonidos periódicos  
compuestos:

**a) Grave**

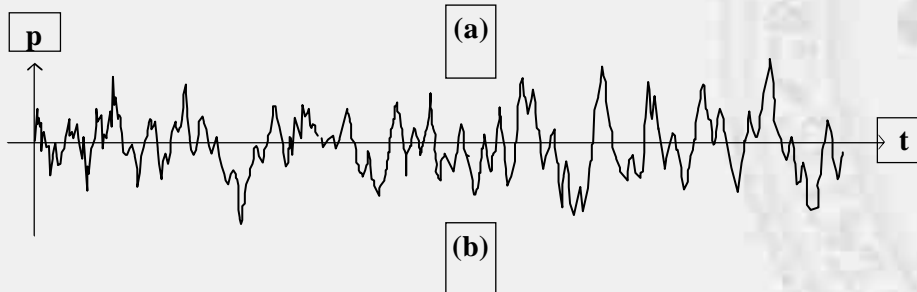


**b) Agudo**



Sonidos NO periódicos:

**a) Con tonos puros de  
frecuencias  $f$  y  $2.9f$**



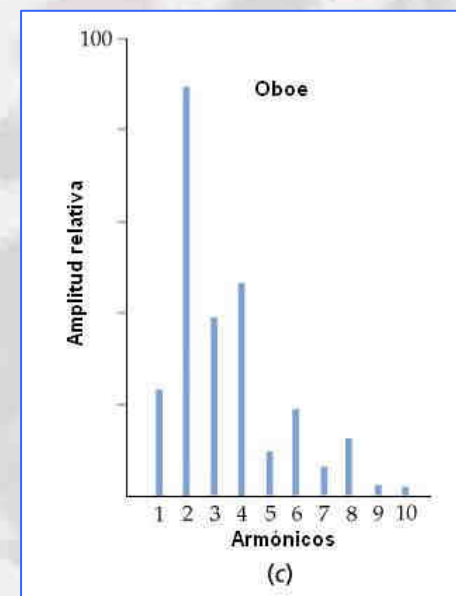
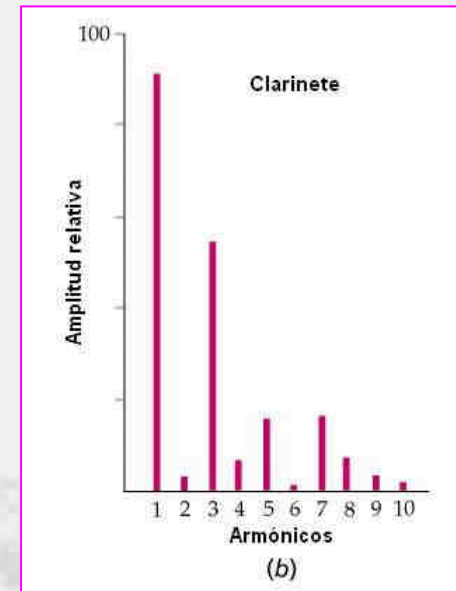
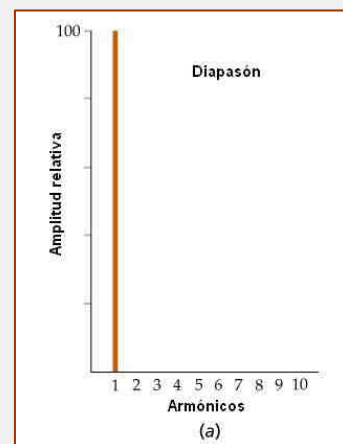
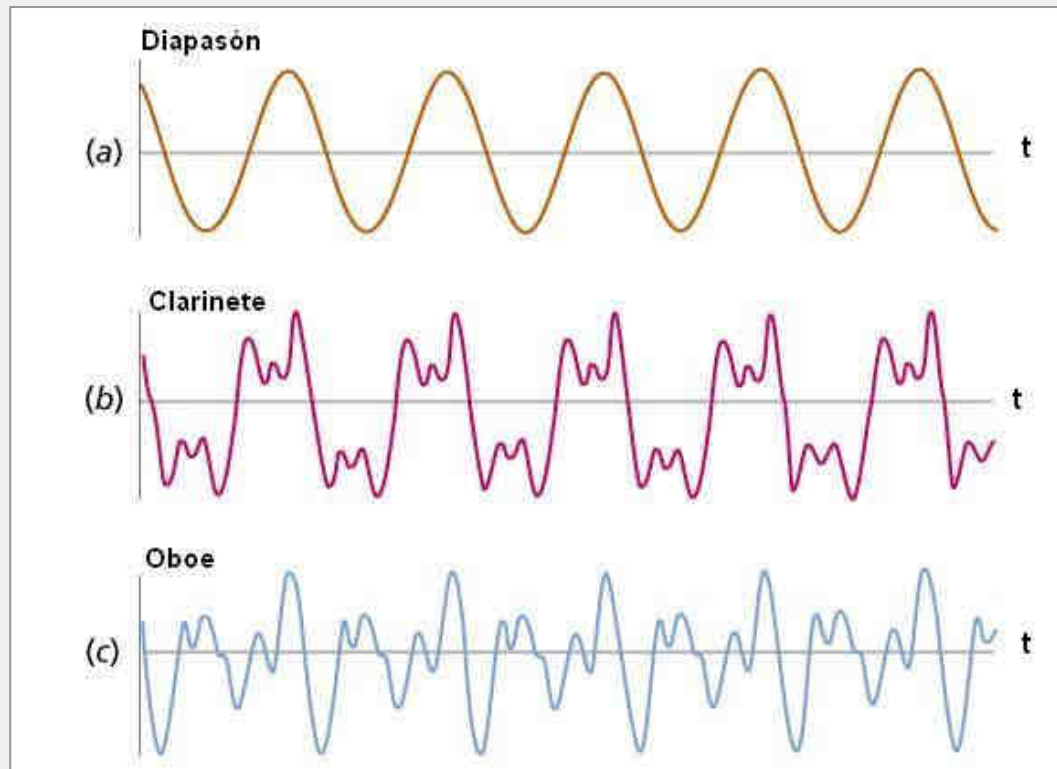
**b) Sin tonos puros  
discernibles**

Una solución especialmente importante de la ecuación de onda es aquella en que la variación de presión es una función armónica (onda plana):

$$p = p_o \text{sen}(\omega t - kx) \quad \Rightarrow \quad \textbf{TONO PURO}$$

$$\begin{aligned}\omega T &= 2\pi \\ k\lambda &= 2\pi\end{aligned}$$

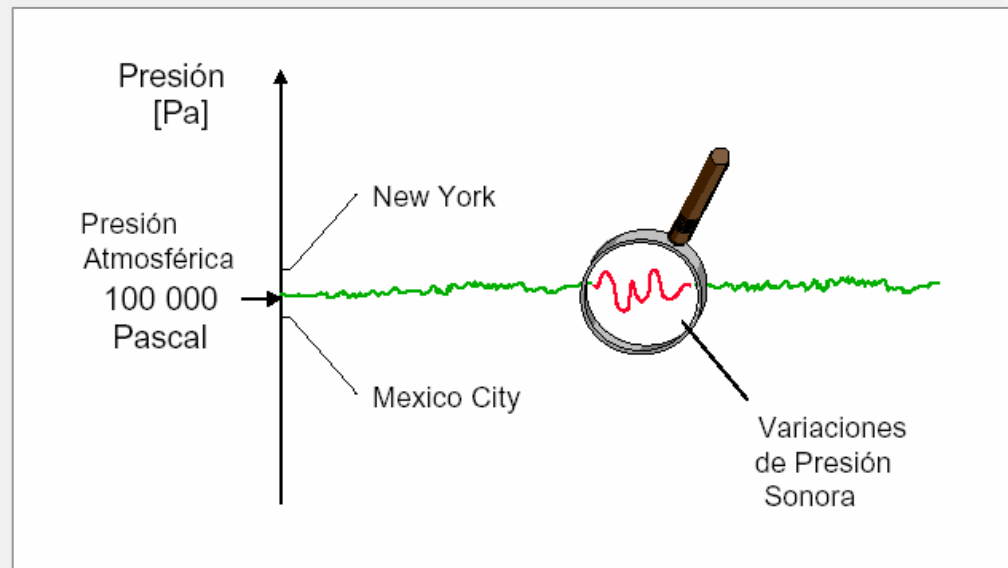
$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{2\pi / k}{2\pi / \omega} = \frac{\omega}{k}$$



Las ondas sonoras que se propagan a través del aire, son originadas por **variaciones de presión** por encima y por debajo del valor estático de la presión atmosférica.

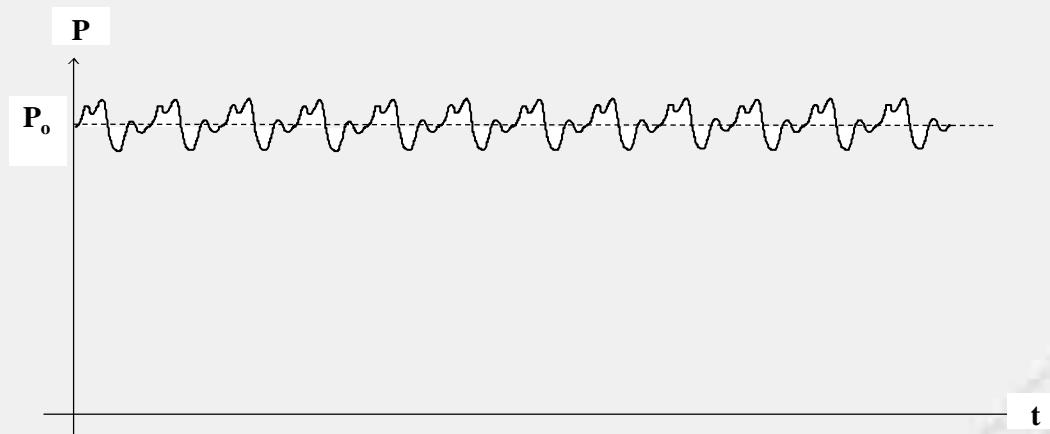
En un punto del espacio antes del paso de una onda sonora, la presión es igual a la presión atmosférica. Cuando la onda pasa por el punto de observación, la presión adicional (**presión incremental**) puede obtenerse mediante la expresión:

$$p = p_o \sin(\omega t)$$



Siendo entonces la presión total:

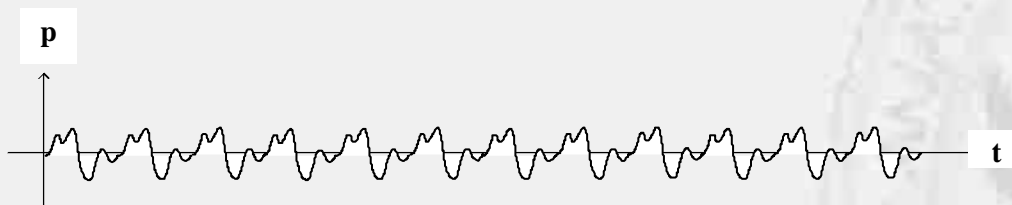
$$P = P_{\text{atm}} + p$$



(a)

El sonido es consecuencia de la aparición de una **presión incremental:**

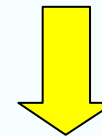
$$p = P - P_{\text{atm}}$$



(b)

$$P_{\text{atm}} \approx 10^5 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$$

$$30 \times 10^{-6} \text{ Pa} < p < 30 \text{ Pa}$$



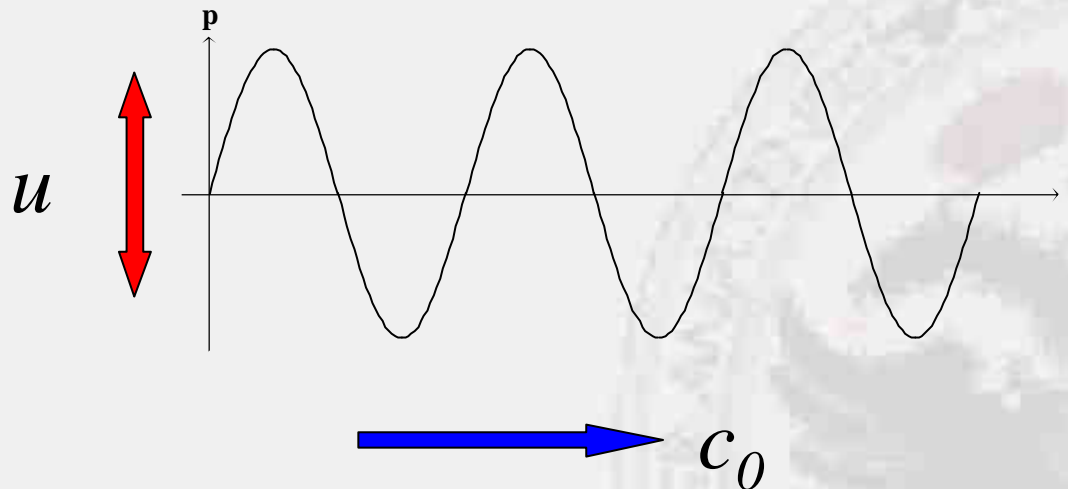
$$p \lll P_{\text{atm}}$$

## Propiedades físicas importantes de una onda (sonora):

1. Velocidad de propagación
2. Energía transportada
3. Contenido en frecuencia

***u***: velocidad del movimiento oscilatorio (de las partículas del medio)

***c***: velocidad de propagación de la perturbación (del sonido)



Una onda acústica lleva asociada una **variación de densidad** y una **variación de presión**. Por ello, se suelen considerar tres variables:

**magnitud que varía** (presión y densidad), **tiempo y posición**.

## IMPEDANCIA ACÚSTICA:

Se define, en un punto, como el cociente entre la presión acústica en ese punto y la velocidad que adquiere el elemento de fluido debida a esa presión acústica.

Proporciona una medida de la resistencia del medio al paso de la onda.

$$Z(x) = \frac{p(x)}{u(x)}$$

En el caso de  
**ONDAS PLANAS**



$$Z = \frac{\rho_0 c_0 u}{u} = \rho_0 c_0$$

$P$  = Presión de partículas [Pa]

$u$  = velocidad de partículas [m/s]

$\rho$  = densidad volumétrica del medio [Kg/m<sup>3</sup>]

$c$  = velocidad del sonido [m/s]

Aire a 20 °C :

$\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$  ;  $c_0 = 344 \text{ m/s}$

$Z_a = 413 \text{ rayls}$

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

$$\gamma = C_p/C_v ; R = 8,31 \text{ J/mol}^\circ\text{K}$$

M = masa de 1 mol en kg/mol

T = temperatura en  $^\circ\text{K}$

**Aire:**  $\gamma = 1,4$  ;  $M = 0,0288 \text{ kg/mol}$

$$c = 20,05 \sqrt{T} \text{ (m / s)}$$

Para temperaturas cercanas a la ambiente (t en  $^\circ\text{C}$ )

$$c = 332 + 0,608 t \text{ (m / s)}$$

Aire a  $20^\circ\text{C}$  :

$$\rho_o = 1.2 \text{ kg/m}^3 ; c_o = 344 \text{ m/s}$$

$$Z_a = 413 \text{ rayls}$$

# ESTUDIO ENERGÉTICO DE LAS ONDAS SONORAS

## INTENSIDAD SONORA

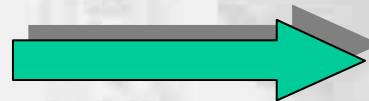
La intensidad es la energía acústica media por unidad de tiempo (potencia) que atraviesa una superficie imaginaria unitaria normal a la dirección de propagación.

$$\text{Energía acústica} = E_{\text{cinética}} + E_{\text{potencial}}$$

$$(E/V) \quad \mathcal{E} = \frac{1}{2} \rho_o u^2 + \frac{1}{2} \frac{p^2}{\rho_o c_o^2}$$

**ONDAS PLANAS**

$$p = \rho_o c_o u$$



$$\mathcal{E} = \frac{p^2}{\rho_o c_o^2}$$

## ONDA PLANA

$$i(t) = \varepsilon \ c_o = \frac{p^2(t)}{\rho_o \ c_o}$$

$$I = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} i(t) dt = \frac{1}{\rho_o c_o} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} p^2 dt$$

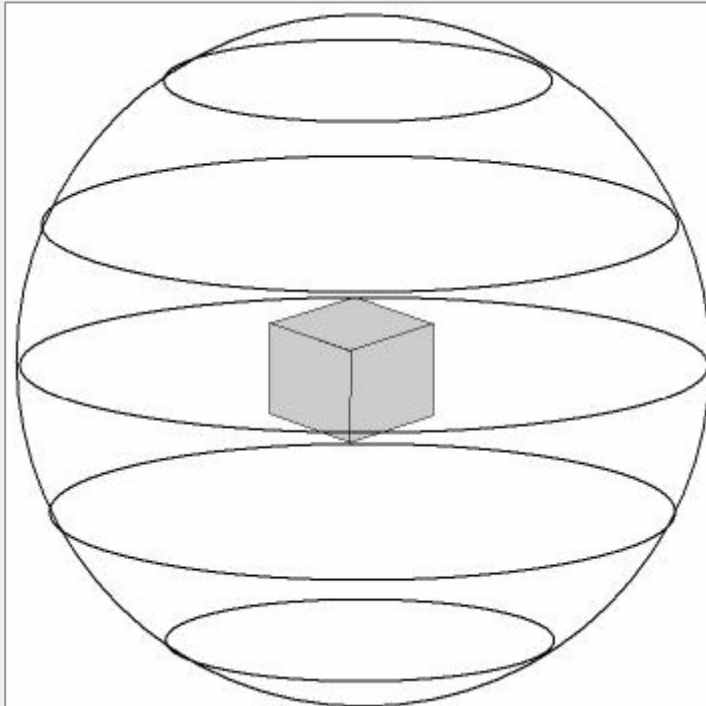
$$P_{rms}^2 = \overline{p^2(t)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} p^2(t) dt$$



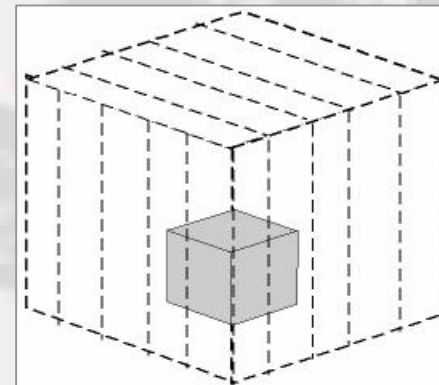
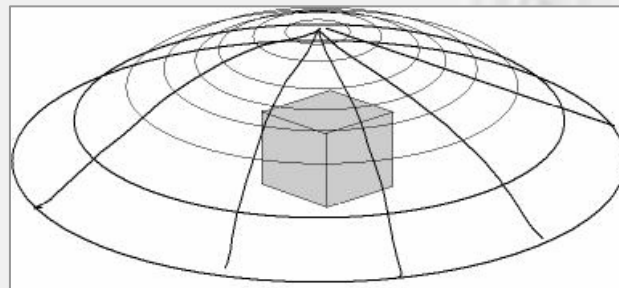
$$I = \frac{P_{rms}^2}{\rho_o c_o}$$

## POTENCIA ACÚSTICA

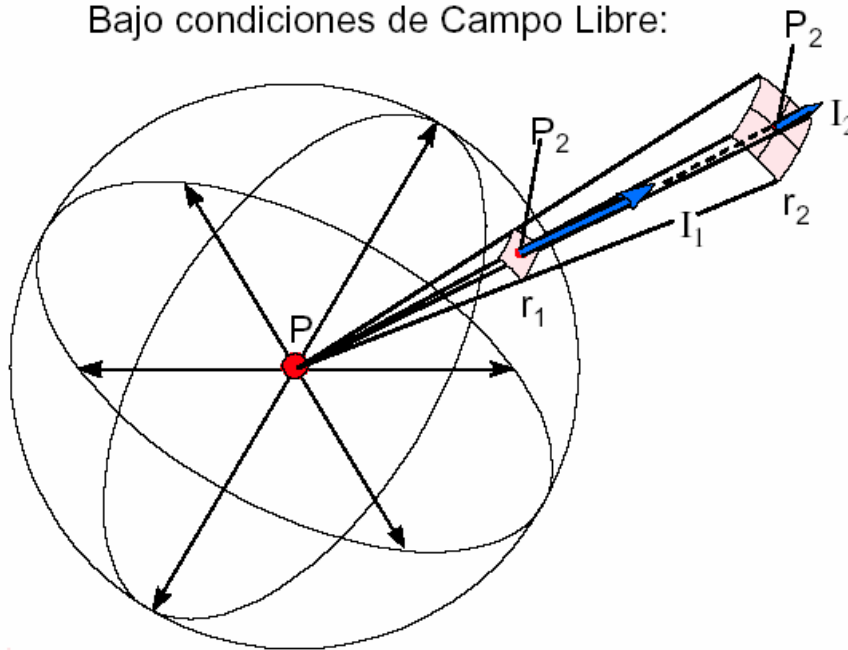
La Potencia acústica de una fuente es la cantidad de energía que atraviesa una superficie imaginaria que rodea a la fuente por unidad de tiempo.



- La potencia acústica es una característica de la fuente
- No varía con la distancia a diferencia de la intensidad
- Es independiente de la superficie imaginaria considerada
- Se expresa en Watts acústicos



Bajo condiciones de Campo Libre:



El vector Intensidad de Sonido,  $\vec{I}$ , describe la magnitud y dirección del flujo de energía acústica en un lugar determinado

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{P_{rms}^2}{\rho_o c_o}$$

Potencia:  $W$  [W]

Intensidad:  $I$  [J/s/m<sup>2</sup>] = W/m<sup>2</sup>

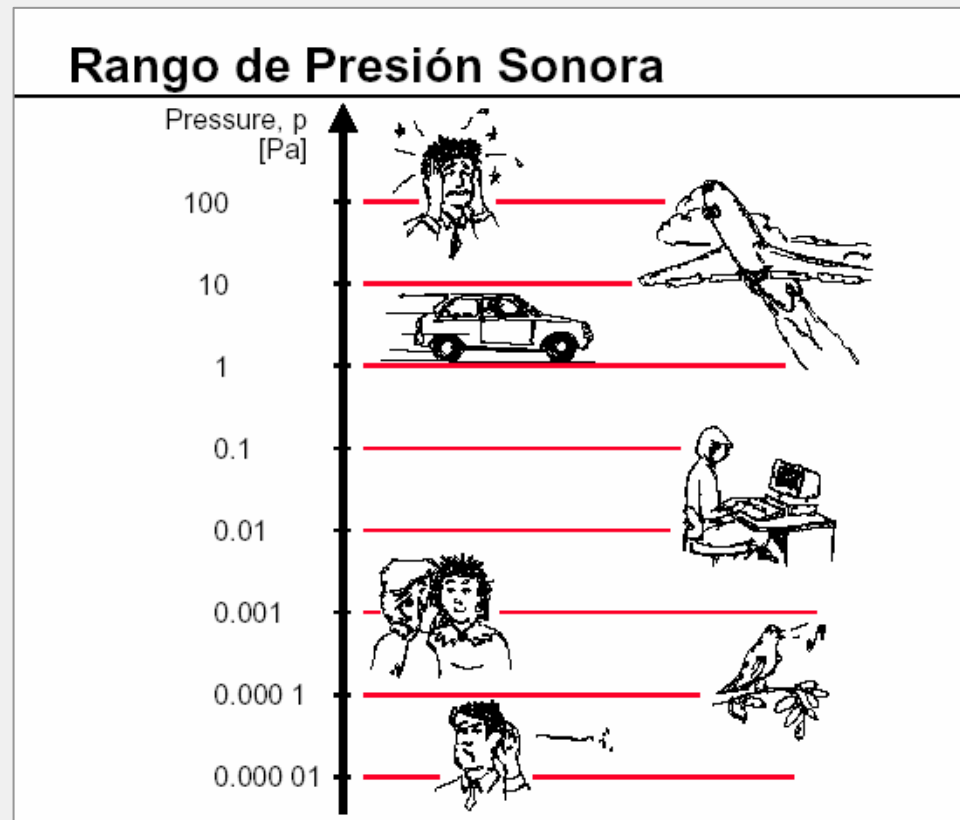
Presión:  $p_{rms}$  [Pa = N/m<sup>2</sup>]

La **intensidad** es una cantidad **vectorial**. Por el contrario, la presión y la potencia sonora son magnitudes escalares.

La potencia sonora total que emite una determinada fuente en campo libre se puede encontrar integrando sobre una superficie esférica de radio  $r$ :

$$W = \frac{4\pi r^2 P_{rms}^2}{\rho_o c_o}$$

## DESCRIPCIÓN DEL CAMPO ACÚSTICO: Nivel de presión sonora



### Ley de Weber-Fechner

$$L \propto \log I$$

$$L = K \log I$$

### NIVEL:

se define como el logaritmo de una cantidad dada con respecto de una cantidad de referencia del mismo tipo

**Nivel de presión sonora  
(dB)**

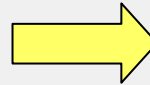
$$NPS = L_p = 10 \log \frac{p_{rms}^2}{p_{ref}^2} = 20 \log \frac{p_{rms}}{p_{ref}}$$

## Nivel de referencia?

$$\text{si } K = 1 \Rightarrow L = \log I$$

$$I = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$I = 10^5 \text{ W/m}^2$$



$$L = -12$$

$$L = 5$$

$$\text{Si } I_{\text{ref}} = 10^{-12} \text{ Watt/m}^2$$

$$L_{I \text{ inf}} = K \log \frac{10^{-12}}{10^{-12}} = 0$$

$$L_{I \text{ sup}} = K \log \frac{10^5}{10^{-12}} = 17K$$

K=1 escala de belios

K=10 escala de decibelios

(1 belio = 10 dB)

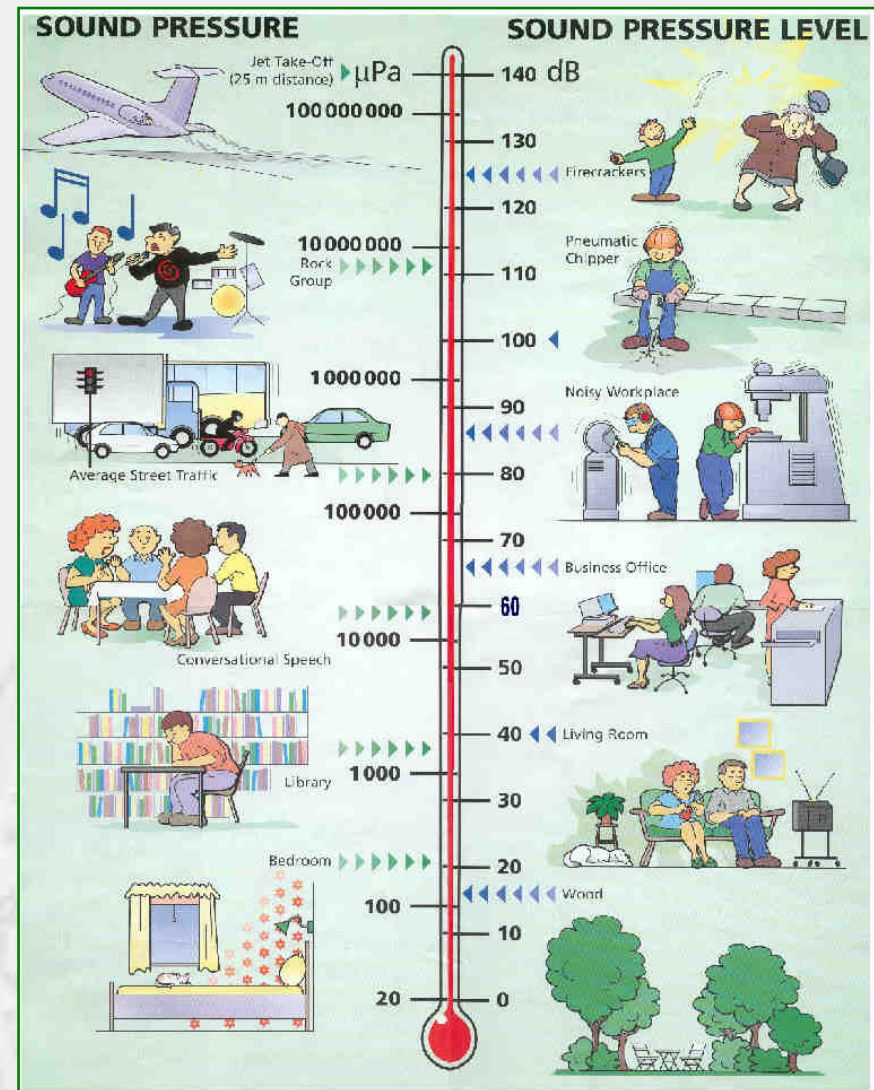
Umbral de audición a 1000 Hz

$$p_{\text{ref}} = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa} = 20 \text{ } \mu\text{Pa}$$

Umbral de dolor:  $p=20 \text{ Pa}$

$$L_{p \text{ inf}} = 20 \log \frac{20}{20} = 0$$

$$L_{p \text{ sup}} = 20 \log \frac{20 \times 10^6}{20} = 120$$



## PRESIÓN

$$L_p = 10 \log \left( \frac{p^2}{p_{ref}^2} \right) dB$$

- $p_{ref} = 20 \mu Pa$
- $p$ , presión eficaz

$$p = p_{ref} 10^{L_p/20}$$

## INTENSIDAD

$$L_I = 10 \log \left( \frac{I}{I_{ref}} \right) dB$$

- $I_{ref} = 10^{-12} \text{ w/m}^2$
- $L_p \approx L_I$

$$I = I_{ref} 10^{L_I/10}$$

## POTENCIA

$$L_W = 10 \log \left( \frac{W}{W_{ref}} \right) dB$$

- $W_{ref} = 10^{-12} \text{ w/m}^2$
- Carácter. fuente

$$W = W_{ref} 10^{L_W/10}$$

## Ejemplos

p (Pa)	I(w/m <sup>2</sup> )	L(dB)	Fuente
63.2	10	130	Umbral de dolor
20	1	120	Despegue avión
6.32	0.1	110	Máquina de remachado
2	0.01	100	Martillo neumático
0.632	0.001	90	Camión diesel a 15m
0.2	0.0001	80	Grito (a 1m)
0.0632	0.00001	70	Oficina ocupada
0.02	0.000001	60	Conversación normal a 1m
0.00632	0.0000001	50	Area urbana tranquila (día)
0.002	0.00000001	40	Area urbana tranquila (noche)
0.000632	0.000000001	30	Area suburbana tranquila (noche)
0.0002	0.0000000001	20	Campo tranquilo
0.0000632	0.00000000001	10	Susurro humano
0.00002	0.0000000000001	0	Umbral de audición

## dB – decibelios

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ dB re } 20 \mu\text{Pa}$$

$$(p_0 = 20 \mu\text{Pa} = 20 \times 10^{-6} \text{ Pa})$$

Ex. 1:  $p = 1 \text{ Pa}$

$$L_p = 20 \log \frac{1}{20 \times 10^{-6}}$$

$$= 20 \log 50\,000$$

$$= 94 \text{ dB}$$

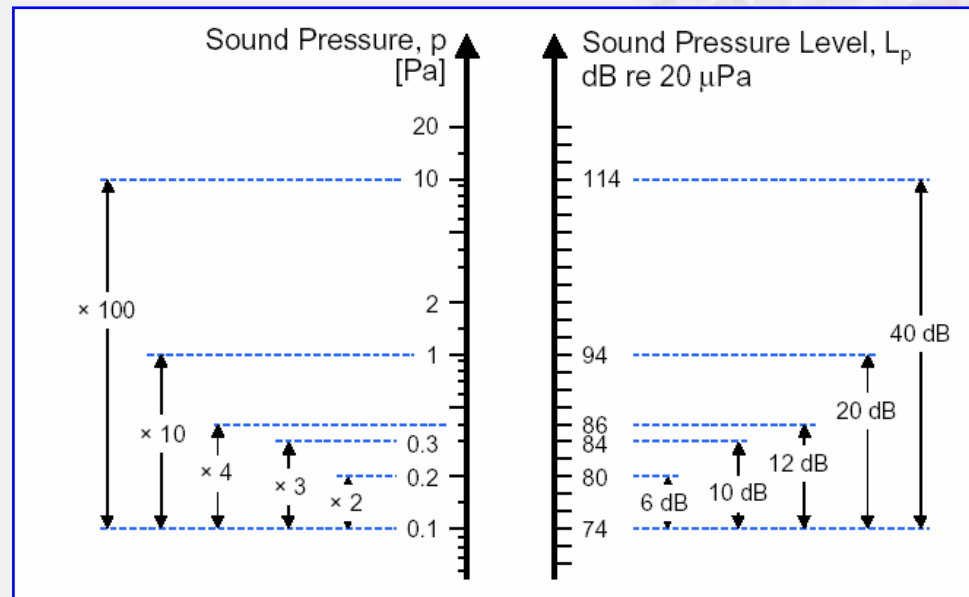
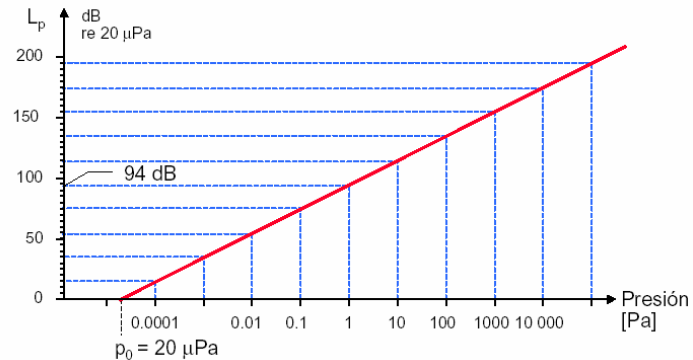
Ex. 2:  $p = 31.7 \text{ Pa}$

$$L_p = 20 \log \frac{31.7}{20 \times 10^{-6}}$$

$$= 20 \log 1.58 \times 10^6$$

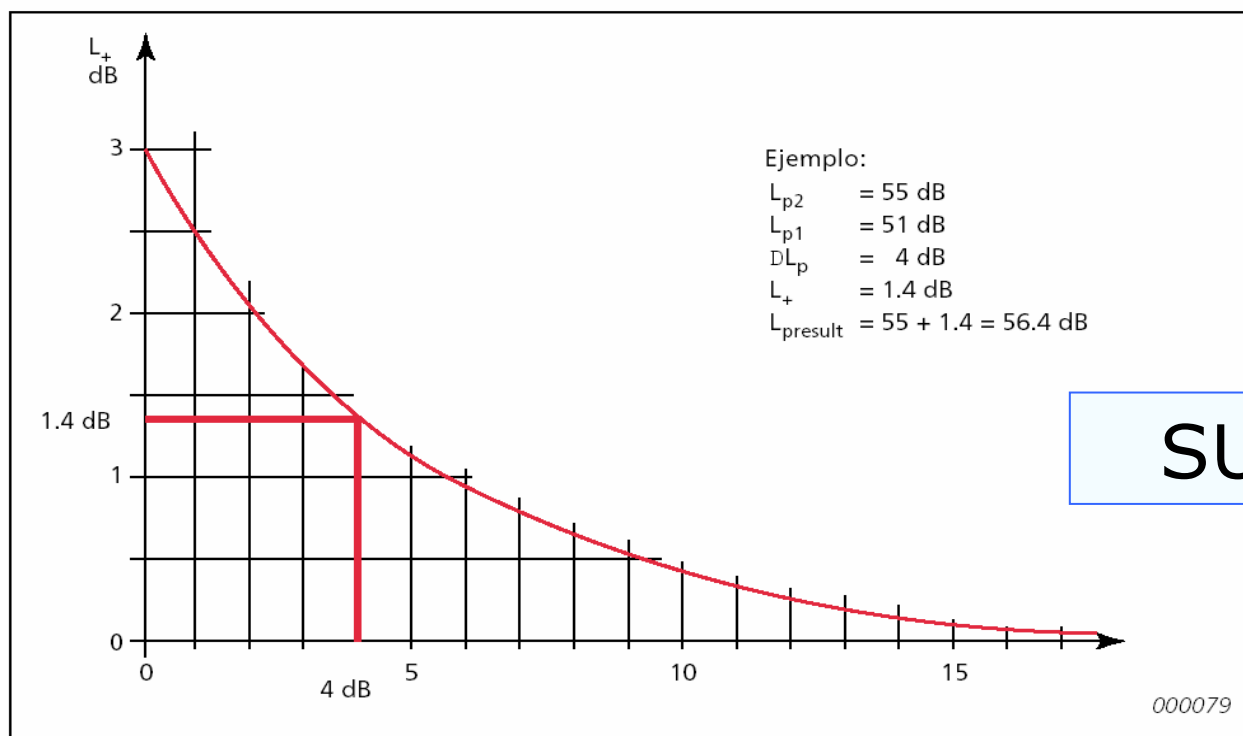
$$= 124 \text{ dB}$$

## Conversion a dB usando Cartas



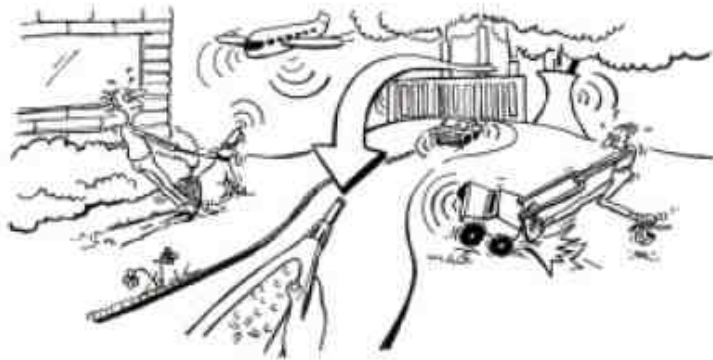
## MEDICIÓN DEL CAMPO ACÚSTICO: Suma y Resta de Niveles

$$L_{presult} = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + 10^{\frac{L_{p3}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right)$$



SUMA

## Suma de Fuentes Sonoras = Suma de dB



$$L_{\text{Total}} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}}$$

Ejemplo: Dos focos originan cada uno por separado los niveles  $L_1$  y  $L_2$

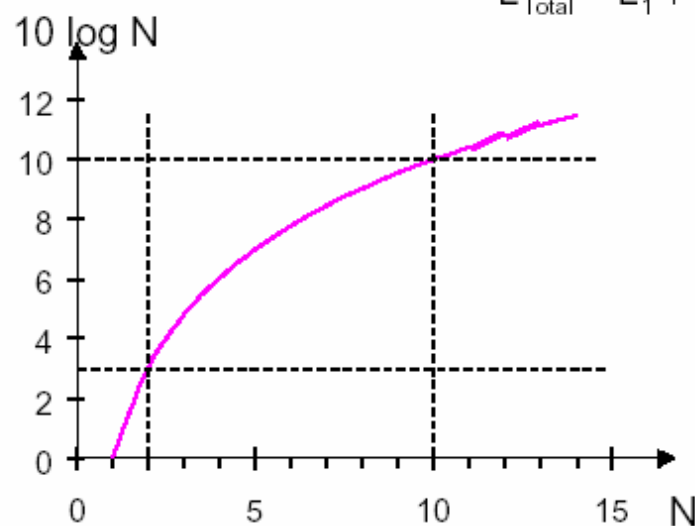
$$L_{\text{Total}} = 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} \right) = 10 \log \left( 10^{\frac{55}{10}} + 10^{\frac{51}{10}} \right) = 56'4 \text{ dB}$$

## Suma de muchos niveles iguales

$$L_1 + L_2 + \dots + L_N = ?$$

$$\text{Si } L_1 = L_2 = L_3 + \dots = L_N$$

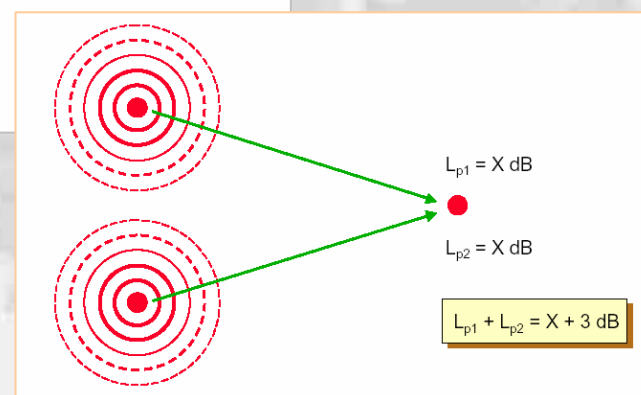
$$L_{\text{Total}} = L_1 + 10 \log N$$



### Ejemplos:

$$N = 2: L_{\text{Total}} = L_1 + 3 \text{ dB}$$

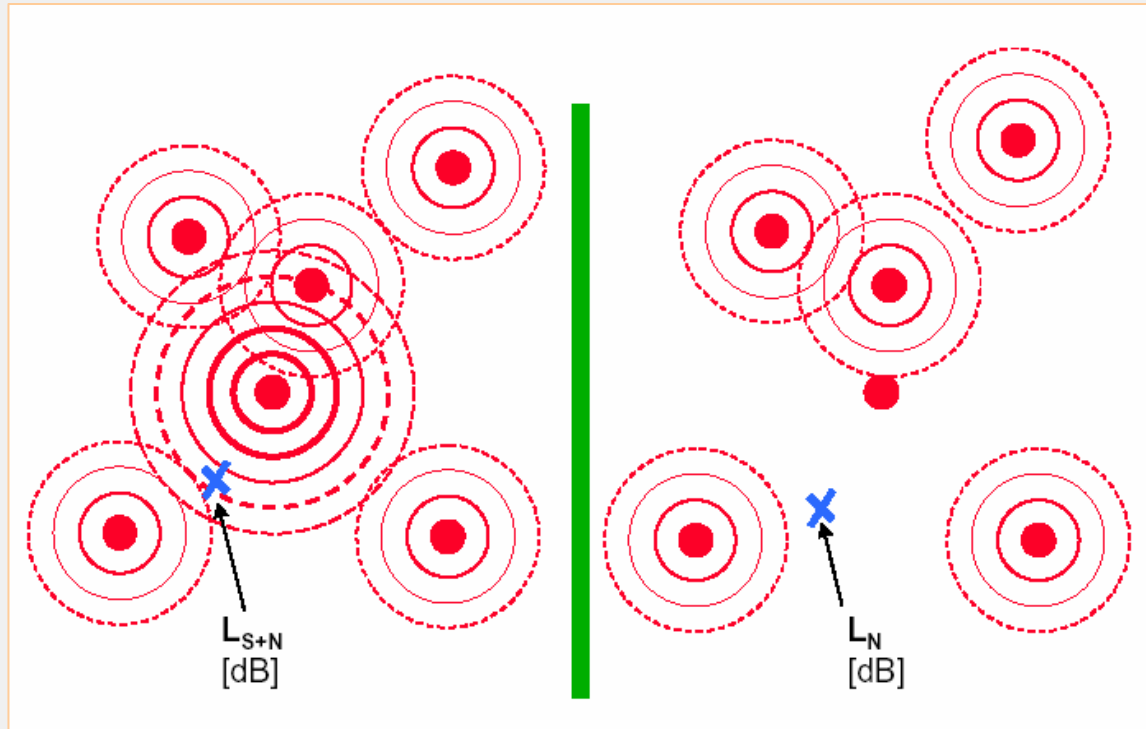
$$N = 10: L_{\text{Total}} = L_1 + 10 \text{ dB}$$



$L_{S+N}$  : Efecto combinado  
fuente + ruido de fondo

$L_N$  : Sólo ruido de fondo  
(fuente apagada)

$$\Delta L = L_{S+N} - L_N = ?$$

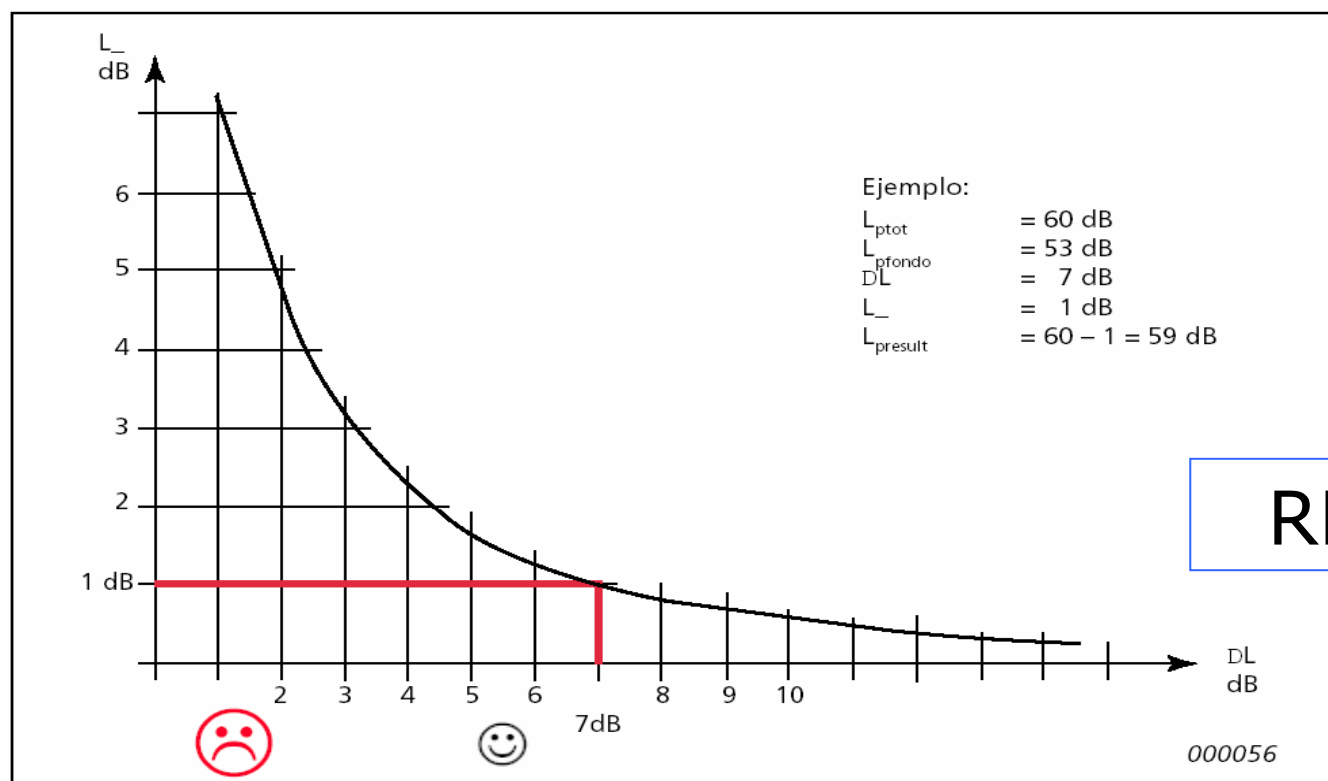


$\Delta L < 3$  dB, el ruido de fondo es demasiado alto para una correcta medición

$3 \text{ dB} < \Delta L < 10 \text{ dB}$ , la medida puede ser corregida del ruido de fondo

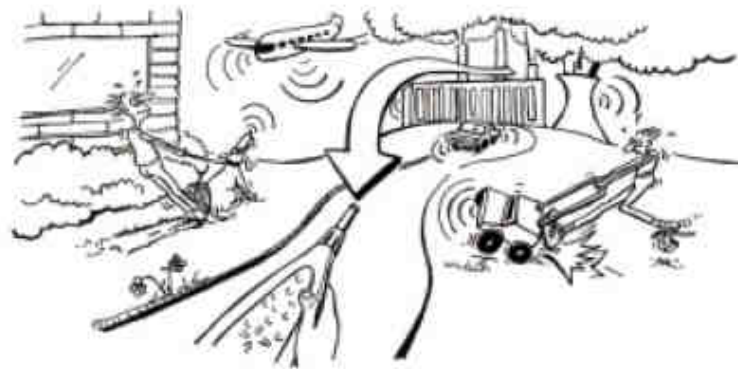
Si  $\Delta L$  es superior a 10 dB, puede ignorarse el ruido de fondo

$$L_{presult} = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{L_{ptot}}{10}} - 10^{\frac{L_{pbackground}}{10}} \right)$$



RESTA

## Resta de Niveles



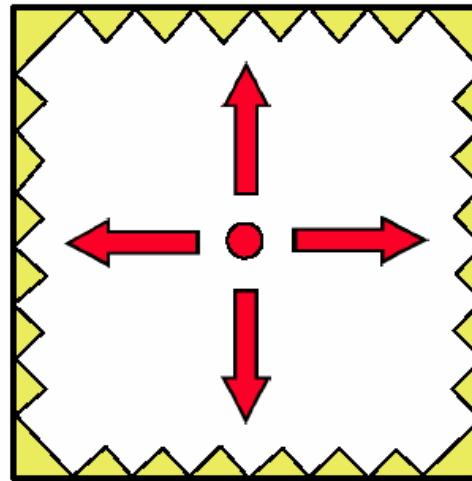
$$L_S = 10 \log \left[ 10^{\frac{L_{S+N}}{10}} - 10^{\frac{L_N}{10}} \right]$$

Ejemplo: El Ruido Total  $L_{S+N}$  y el Ruido de Fondo  $L_N$

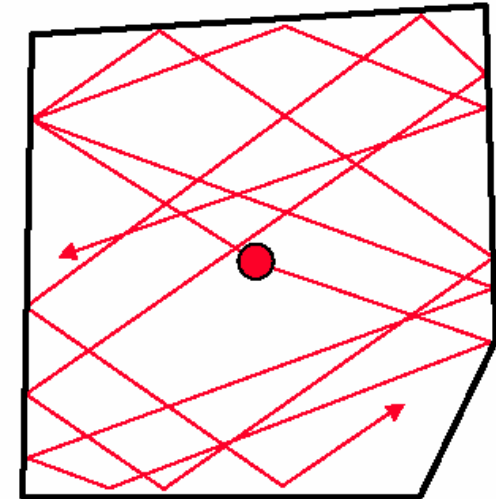
$$L_{\text{Total}} = 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{60}{10}} - 10^{\frac{53}{10}} \right) = 59 \text{ dB}$$

## ENTORNOS SONOROS

La energía sonora no siempre es radiada libremente desde la fuente, como ocurre en la propagación por **CAMPO LIBRE**. Los obstáculos que puedan estar presentes, propagación por **CAMPO DIFUSO**, reflejan y absorben parte de esta energía.



**CÁMARA ANECOICA**



**CÁMARA REVERBERANTE**

**CÁMARA ANECOICA**: Habitación con paredes que absorben toda la energía de la fuente sonora y producen el mismo efecto que la propagación en campo libre.

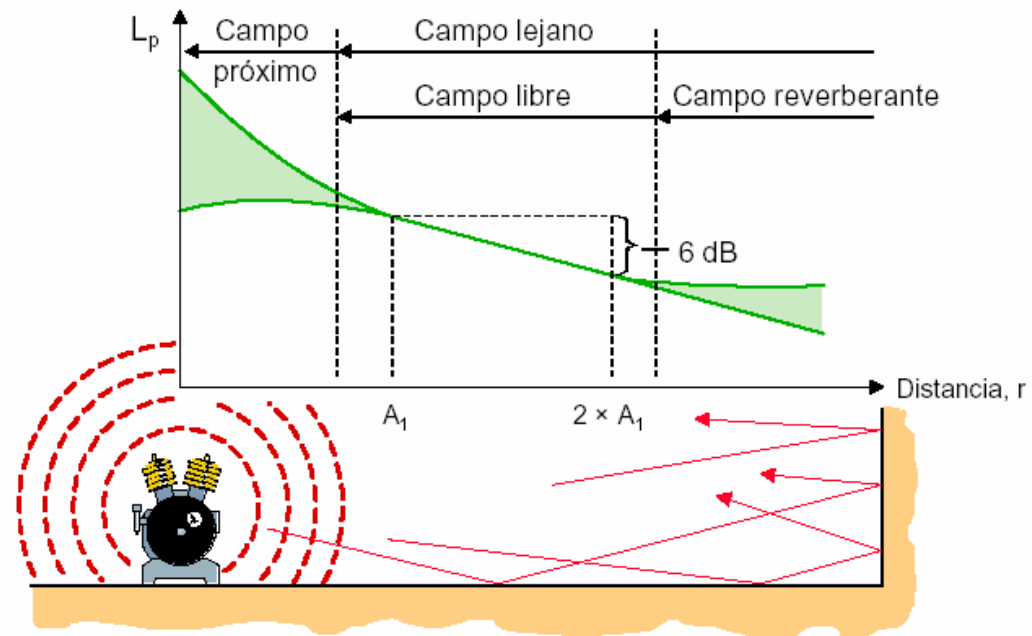
**CÁMARA REVERBERANTE**: Habitación con paredes que reflejan toda la energía de la fuente sonora y producen el mismo efecto que la propagación en campo difuso. La energía se distribuye uniformemente por toda la habitación.

**CAMPO PRÓXIMO**: Zona cercana a la fuente donde los niveles de presión sonora pueden cambiar significativamente con una pequeña variación de la posición. Suele abarcar una distancia inferior a la  $\lambda$  de la frecuencia más pequeña emitida por la fuente o dos veces la mayor dimensión de la fuente. Deben evitarse las mediciones acústicas en esta zona.

**CAMPO LEJANO**: Compuesto a su vez por dos zonas,

Campo libre: en donde el sonido se comporta como en campo abierto.

Campo Reverberante, en donde las reflexiones pueden llegar a ser tan importantes como el sonido directamente procedente de la fuente.



## RELACIÓN ENTRE NIVELES

### CAMPO LIBRE

$$I = \frac{P_{rms}^2}{\rho_o c_o}$$

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_{ref}}$$

$$I_{ref} = 10^{-12} \text{ Watts/m}^2$$

$$L_p = 10 \log \frac{P_{rms}^2}{P_{ref}^2} =$$

$$= 10 \log \left( \frac{I \rho_o c_o}{P_{ref}^2} \frac{I_{ref}}{I_{ref}} \right) = L_I + 10 \log \left( \frac{\rho_o c_o}{P_{ref}^2} I_{ref} \right)$$

$$L_p = L_I + 0,14$$

## CAMPO LIBRE

$$\begin{aligned} L_p &= 10 \log \frac{P_{rms}^2}{P_{ref}^2} = \\ &= 10 \log \left( \frac{\rho_o c_o}{P_{ref}^2} \frac{W}{4\pi R^2} \frac{W_{ref}}{W_{ref}} \right) = \\ &= 10 \log \left( \frac{\rho_o c_o}{P_{ref}^2} W_{ref} \right) - 10 \log(4\pi R^2) + 10 \log \frac{W}{W_{ref}} \end{aligned}$$

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_{ref}}$$
$$W_{ref} = 10^{-12} \text{ Watts}$$

## FUENTE PUNTUAL

$$L_p = L_W - 10 \log(4\pi R^2) + 0,14$$

$$(L_p = L_W - 20 \log(R) - 11)$$

## TIPOS DE FUENTES SONORAS

Cuando las dimensiones de una fuente de ruido son pequeñas comparadas con la distancia al oyente, tenemos una **FUENTE PUNTUAL**. La energía sonora se propaga de forma **ESFÉRICA**.

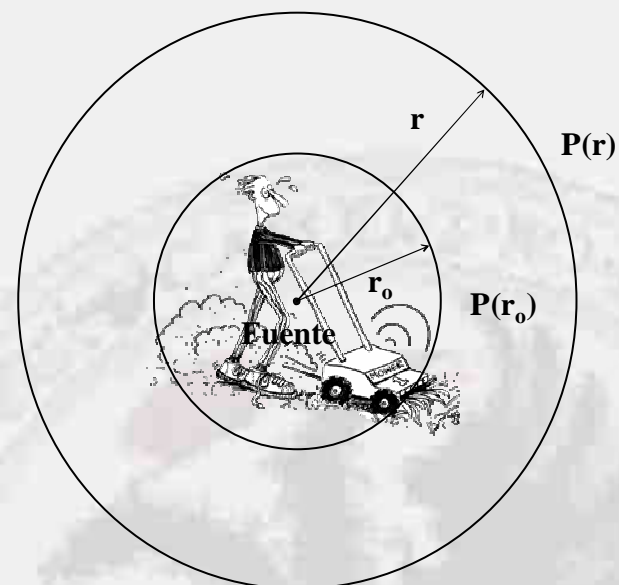
La intensidad de una onda esférica es igual a la de una onda plana en el campo lejano.

$$I = \frac{P_{rms}^2}{\rho c} = \frac{W}{4\pi r^2}$$

$$I(r) = \left(\frac{r_o}{r}\right)^2 I(r_o)$$

$$P_{rms}(r) = \frac{r_o}{r} P_{rms}(r_o)$$

### FUENTE ESFÉRICA y FUENTE PUNTUAL



$$\text{Si } r = 2r_o \Rightarrow I(r) = \frac{1}{4} I(r_o) ; P_{rms}(r) = \frac{1}{2} P_{rms}(r_o)$$

$$L_{I(r)} = L_{I(r_o)} - 6dB$$

$$L_{P(r)} = L_{P(r_o)} - 6dB$$

Cuando una fuente de ruido es estrecha en una dirección y larga en la otra comparada con la distancia al oyente, tenemos una **FUENTE LINEAL**. La energía sonora se propaga de forma **CILÍNDRICA**.

$$I(r) = \frac{r_o}{r} I(r_o)$$

$$P_{rms}(r) = \sqrt{\frac{r_o}{r}} P_{rms}(r_o)$$

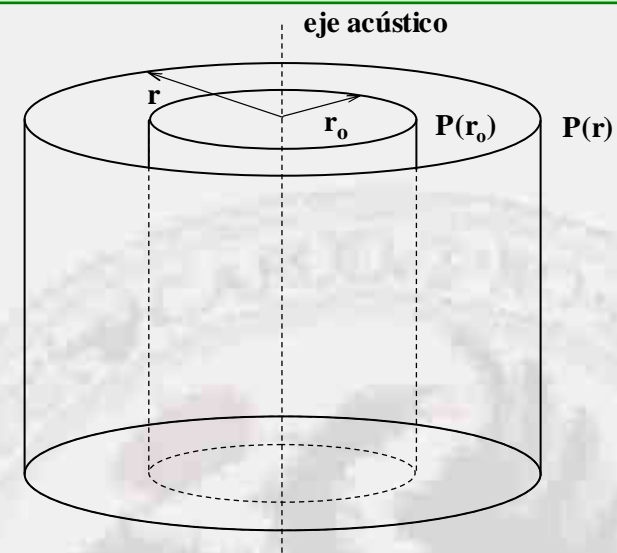
$$\text{Si } r = 2r_o$$

$$I(r) = \frac{1}{2} I(r_o) ; P_{rms}(r) = \frac{1}{\sqrt{2}} P_{rms}(r_o)$$

$$L_{I(r)} = L_{I(r_o)} - 3dB$$

$$L_{P(r)} = L_{P(r_o)} - 3dB$$

## FUENTE CILINDRICA y FUENTE LINEAL

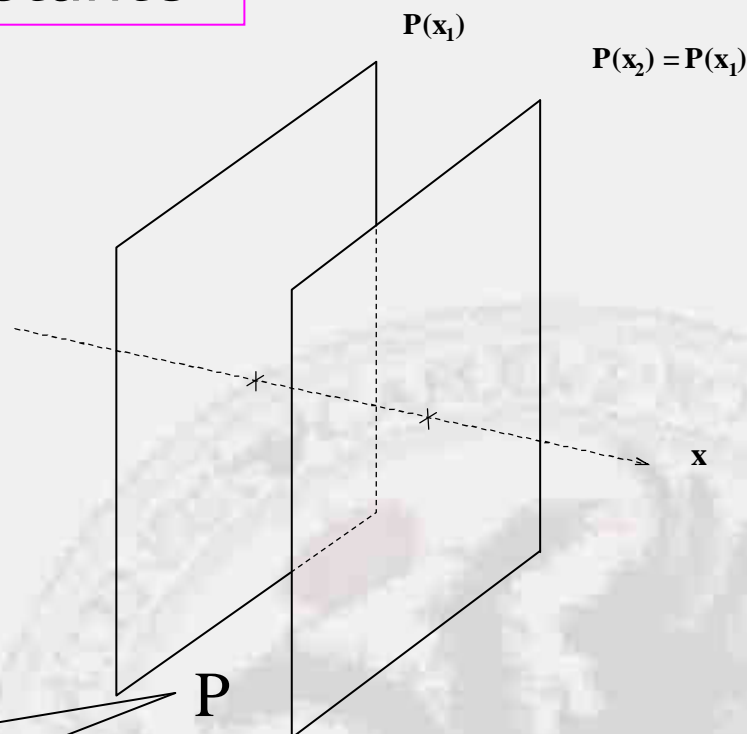


## FUENTE PLANA

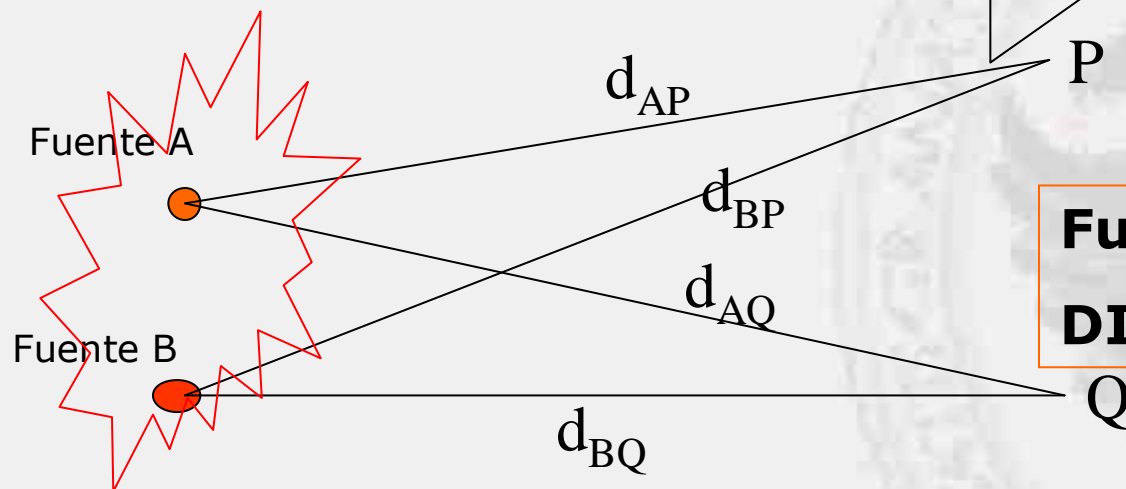
$$P(x) = \text{constante}$$

Las fuentes planas generan el tipo de onda más sencillo: onda plana

Extensión idealmente infinita. Una buena aproximación sería una onda esférica o cilíndrica a gran distancia del centro o eje de la fuente

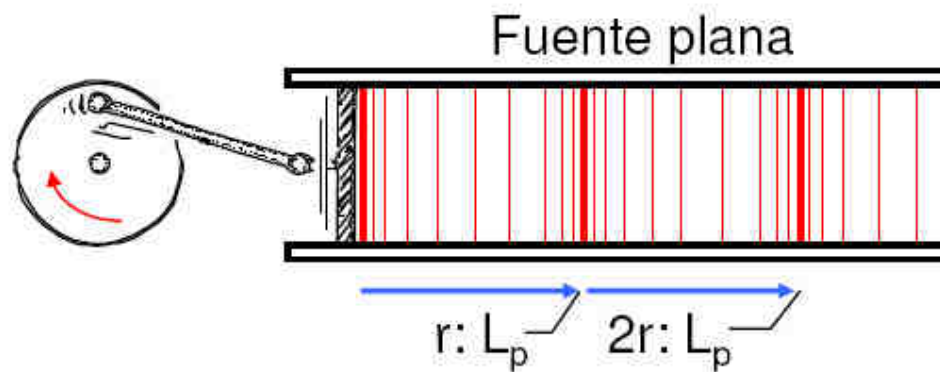
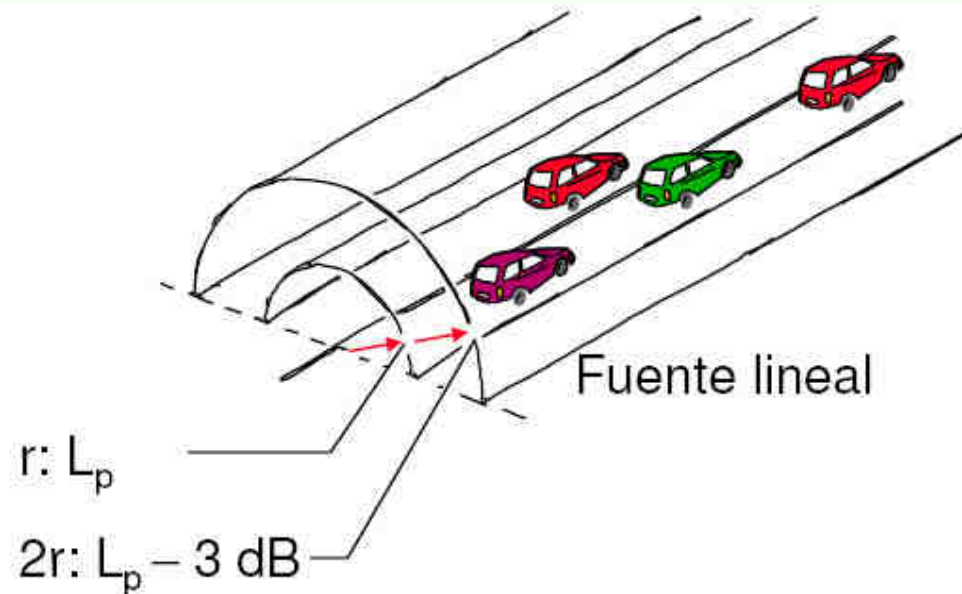
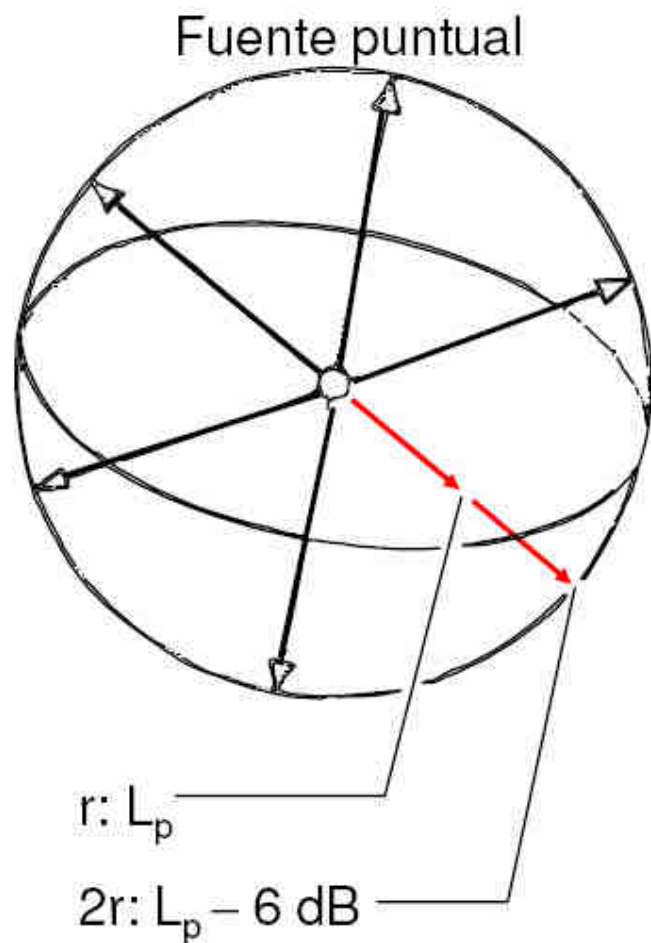


## FUENTES MÚLTIPLES



**Fuentes múltiples:  
DIRECCIONALIDAD**

# Tipos de Fuentes Sonoras



$$L_p = L_W - 20 \log R - 11 + DI$$

Radiación hemisférica, **DI=3 dB**

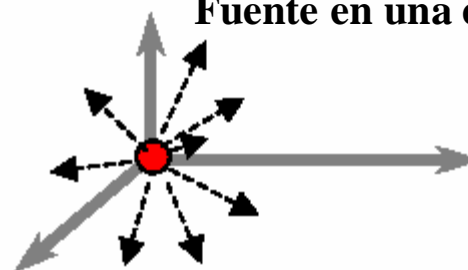


$$L_p = L_W - 20 \log r - 8$$

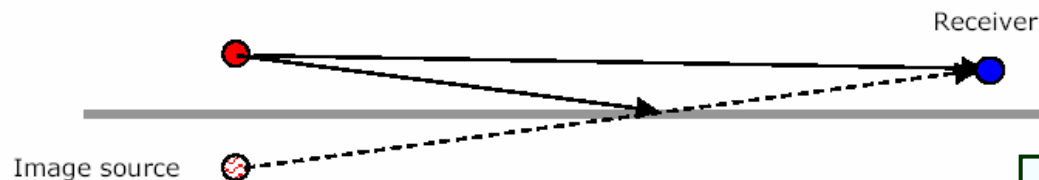
Fuente en la intersección de dos planos, **DI=6 dB**



Fuente en una esquina, **DI=9 dB**



Fuente sobre un plano perfectamente reflectante, **DI=6 dB**

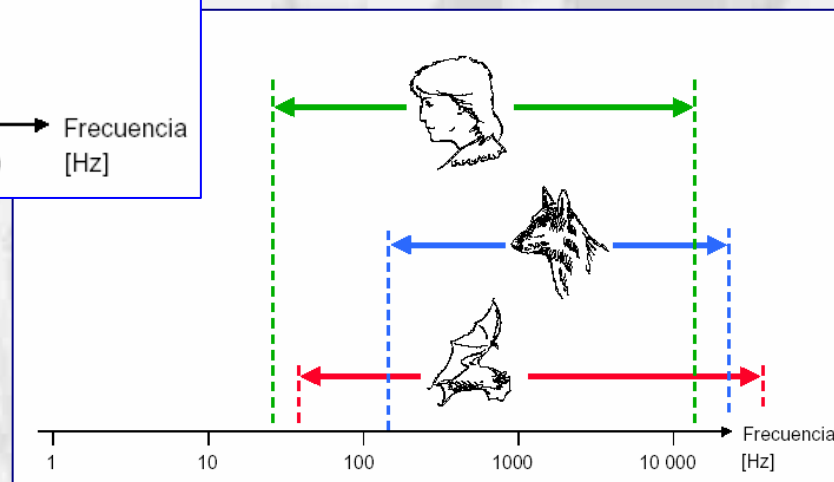
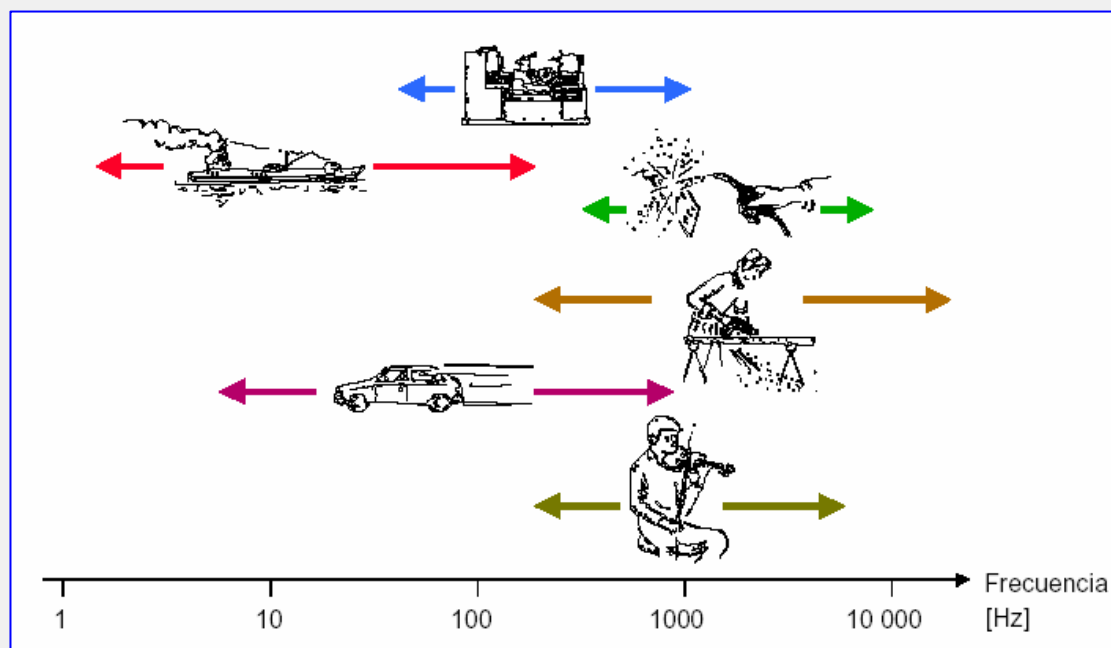


$$L_p = L_W - 20 \log r - 5$$

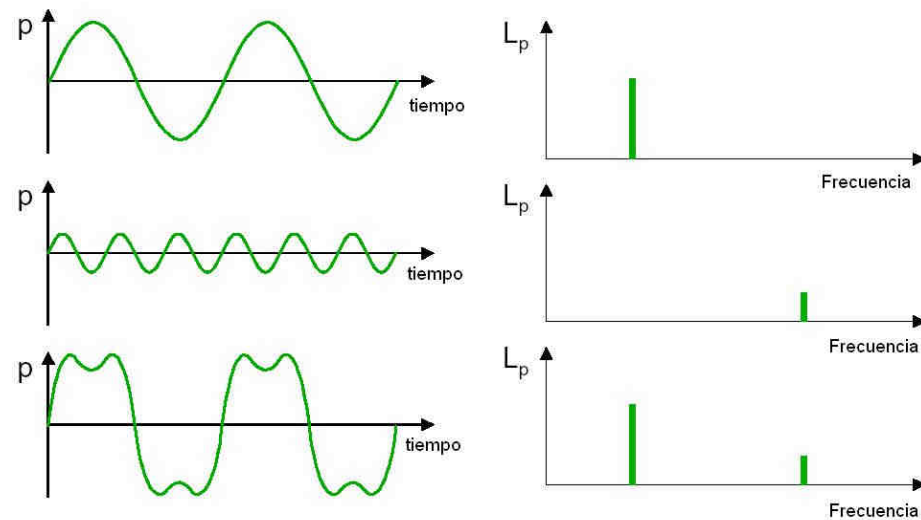
# ANÁLISIS FRECUENCIAL o ESPECTRAL DEL SONIDO

## Espectro de los sonidos:

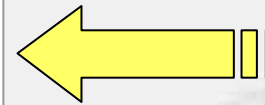
*información sobre las frecuencias y amplitudes que lo constituyen*



## Formas de Onda y Frecuencias

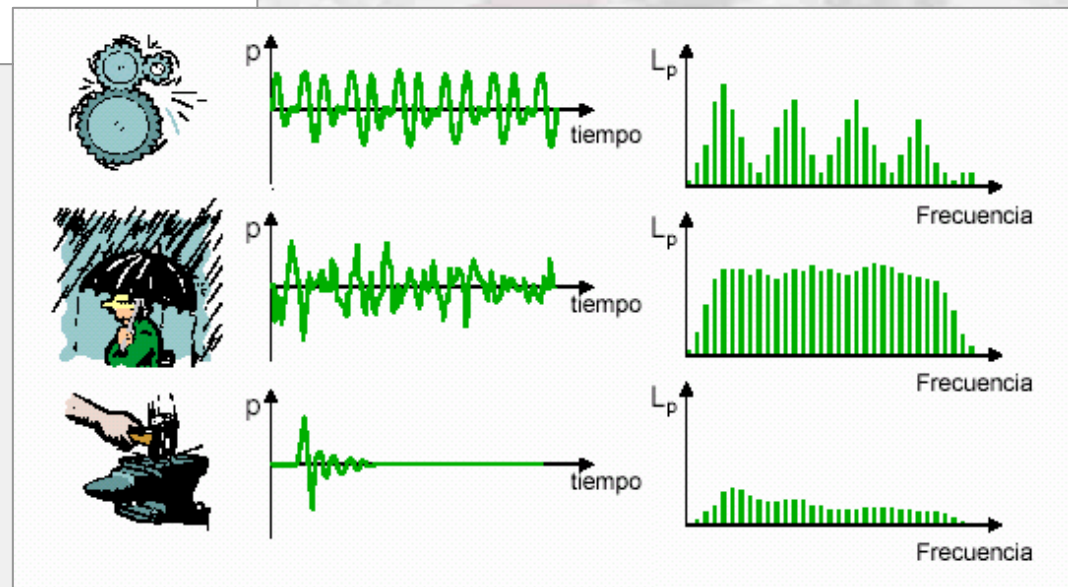


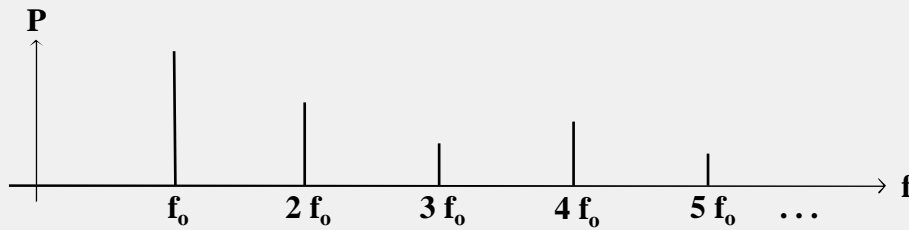
**Ejemplos** de relación entre la forma de una onda sonora en el dominio del tiempo y su espectro en el dominio de la frecuencia.



La mayor parte de los sonidos tienen **formas complejas**.

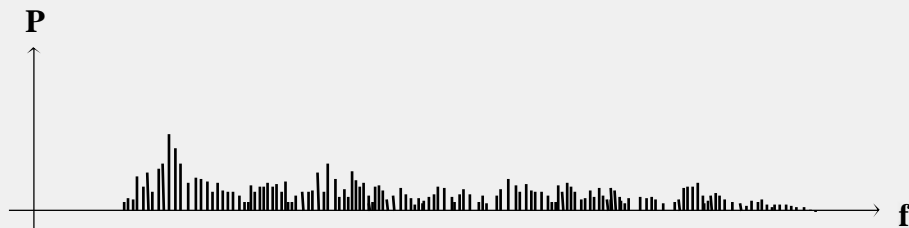
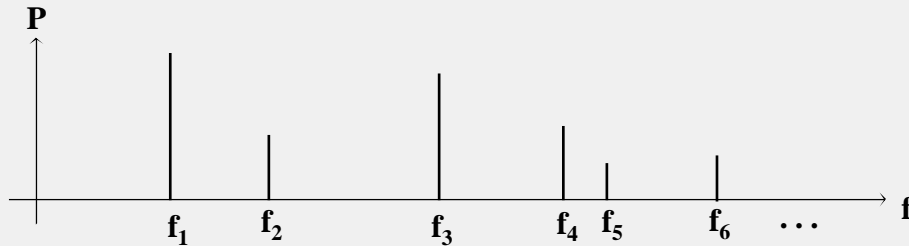
Un **análisis en frecuencias** muestra sus componentes individuales, presentes de forma simultánea y a niveles diferentes.





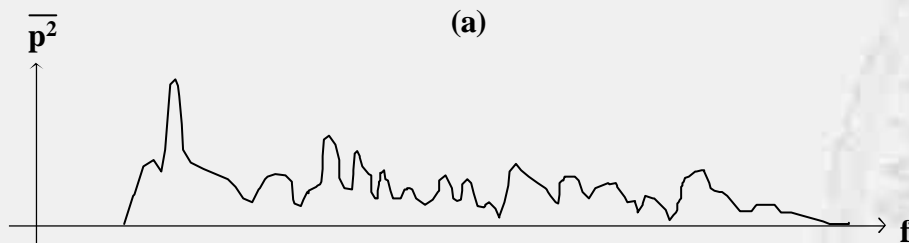
## Espectro discreto:

- sonido periódico
- sonido No periódico

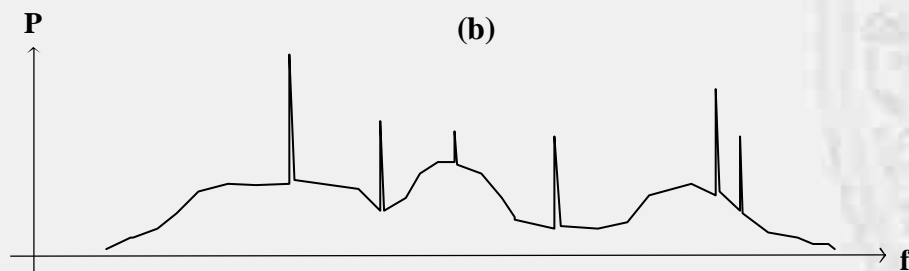


## Espectro continuo:

- Sonido No periódico
- Densidad espectral

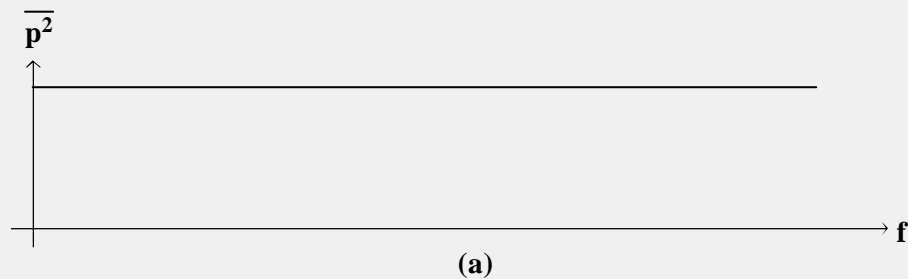


$$p_{rms}^2 = \int_{f_1}^{f_2} \overline{p^2(f)} df$$



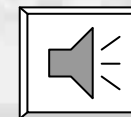
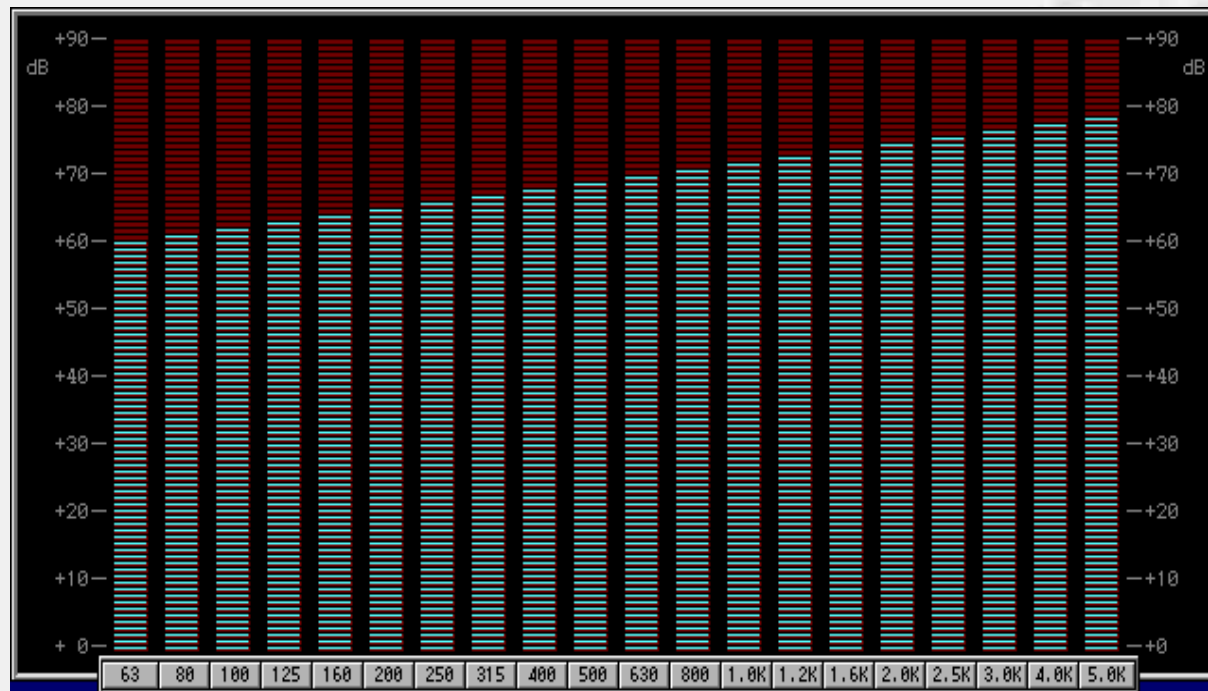
## Espectro mixto:

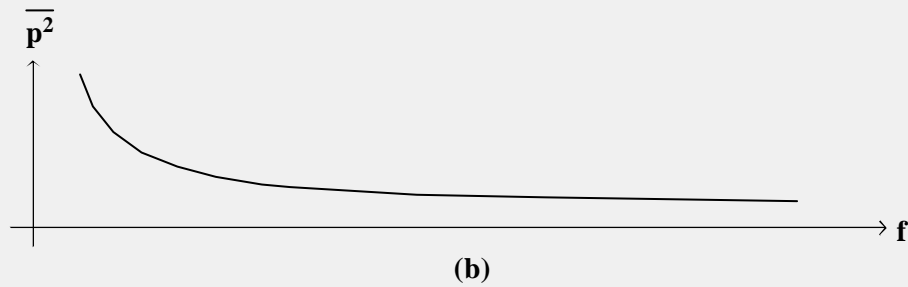
sonido de espectro continuo +  
uno o más de espectro discreto



## Ruido blanco

(luz blanca: todos los colores con igual intensidad)

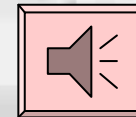
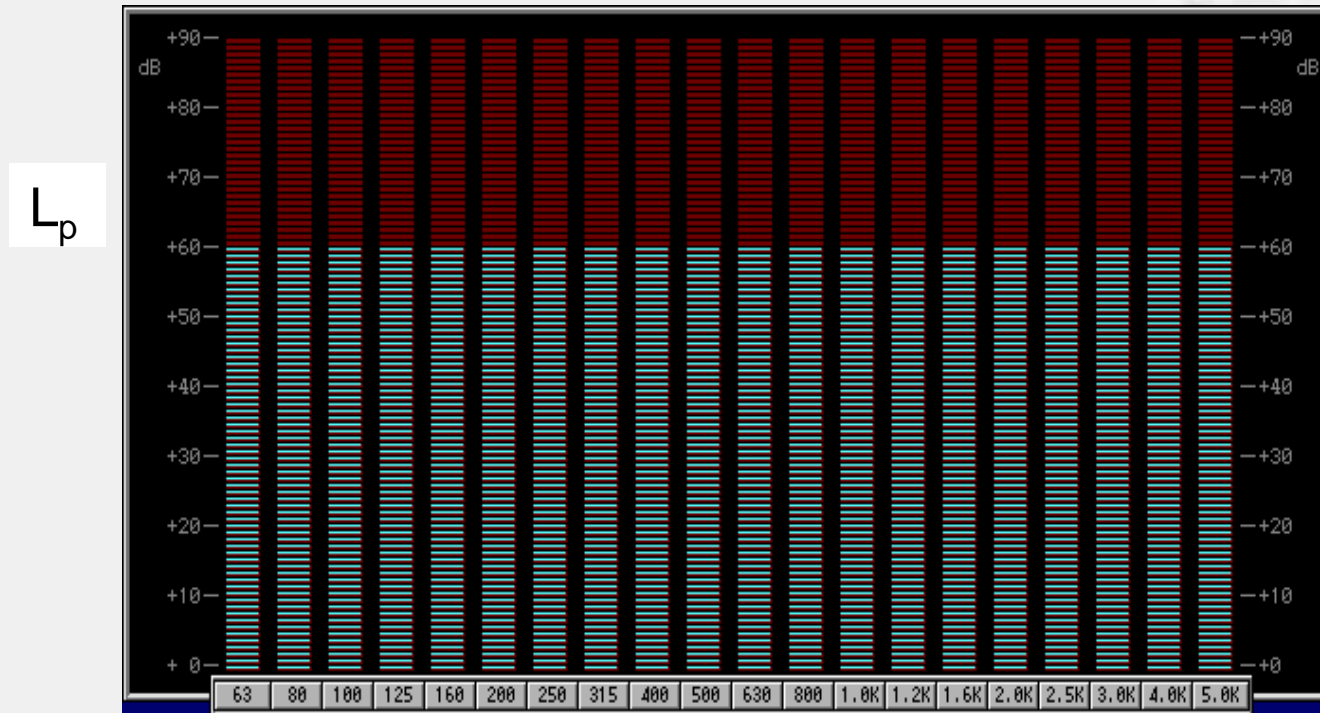




## Ruido rosa

$$\text{energía} \propto 1/f$$

(luz rosa: mayor contenido en rojo)

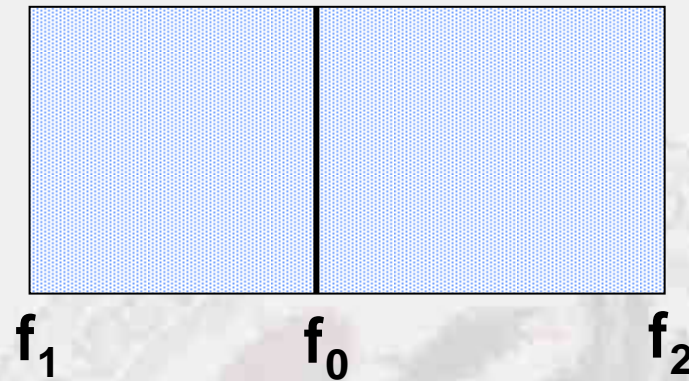


## Bandas de Frecuencia: Octavas y Tercios de Octava

El comportamiento acústico de los materiales depende de la composición espectral del sonido que incide sobre ellos.

### BANDA DE FRECUENCIA

Zona del espectro caracterizada por unos límites ( $f_1$  y  $f_2$ ) y por una frecuencia central ( $f_0$ )



### ANCHO DE BANDA (ABSOLUTO)

Es la diferencia entre las dos frecuencias límite ( $f_2 - f_1$ ).

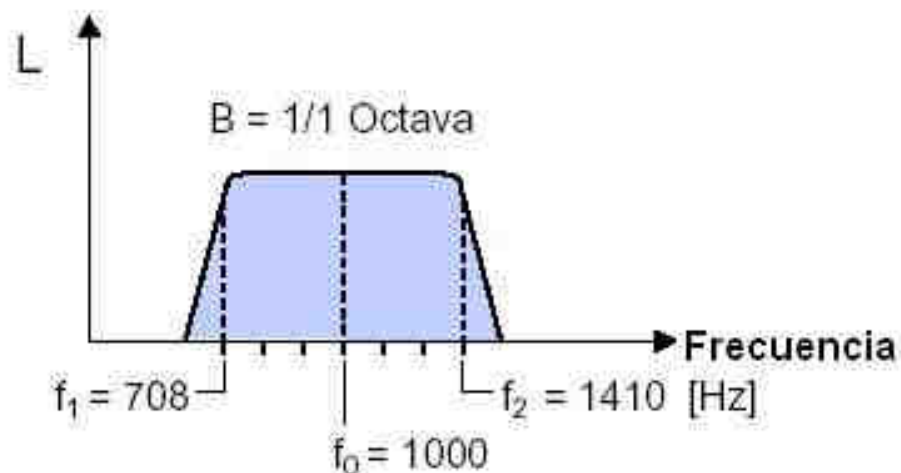
Normalmente se designa B

$$B = f_2 - f_1 \quad (f_2 > f_1)$$

$$\log f_0 = \frac{\log f_1 + \log f_2}{2}$$

En Acústica Arquitectónica, se suele dividir el rango audible del sonido (20-20000 Hz) en bandas mediante el empleo de **filtros**:  
**bandas de octava y de tercio de octava.**

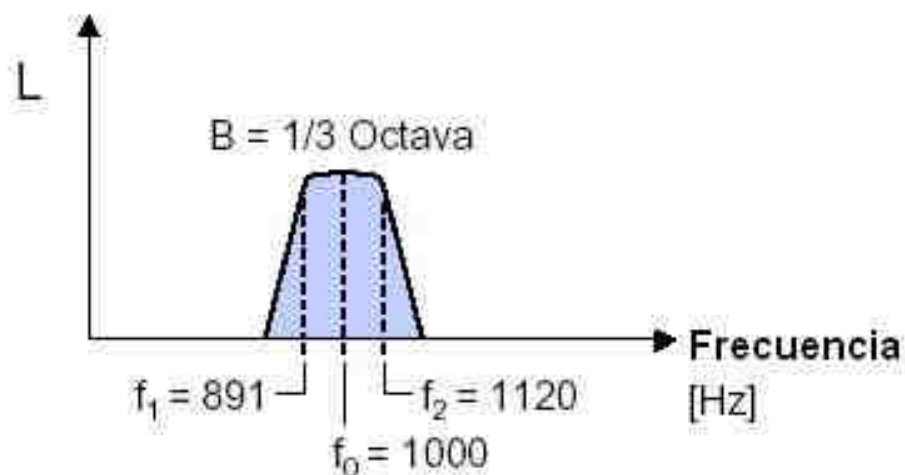
## Filtros de 1/1 y 1/3 Octava



**1/1 Octava**

$$f_2 = 2 \times f_1$$

$$B = 0.7 \times f_0 \approx 70\%$$



**1/3 Octava**

$$f_2 = \sqrt[3]{2} \times f_1 = 1.25 \times f_1$$

$$B = 0.23 \times f_0 \approx 23\%$$

OCTAVA			TERCIO OCTAVA		
Frecuencia inferior	Frecuencia central	Frecuencia superior	Frecuencia inferior	Frecuencia central	Frecuencia superior
			17,8	20	22,4
			22,4	25	28,2
22	31,5	44	28,2	31,5	35,5
			35,5	40	44,7
			44,7	50	56,2
44	63	88	56,2	63	70,8
			70,8	80	89,1
			89,1	100	112
88	125	177	112	125	141
			141	160	178
			178	200	224
177	250	355	224	250	282
			282	315	355
			355	400	447
355	500	710	447	500	562
			562	630	708
			708	800	891
710	1.000	1.420	891	1.000	1.122
			1.122	1.250	1.413
			1.413	1.600	1.778
1.420	2.000	2.840	1.778	2.000	2.239
			2.239	2.500	2.818
			2.818	3.150	3.548
2.840	4.000	5.680	3.548	4.000	4.467
			4.467	5.000	5.623
			5.623	6.300	7.089
5.680	8.000	11.360	7.079	8.000	8.913
			8.913	10.000	11.220
			11.220	12.500	14.130
11.360	16.000	22.720	14.130	16.000	17.780
			17.780	20000	22.390

### **Filtros de 1/1 Octava:**

$$f_2/f_1 = 2^{1/1}$$

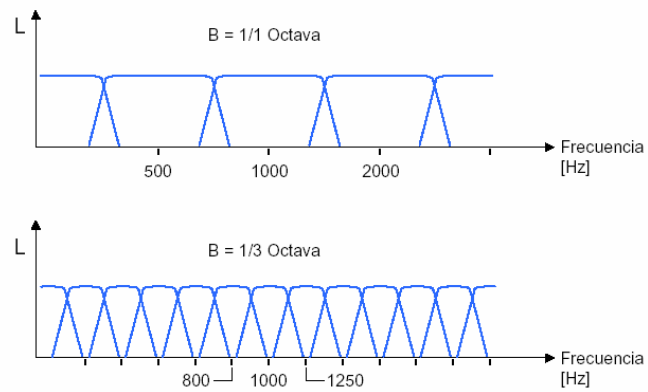
Ancho de banda  $\approx 70\%$  de  $f_o$

### **Filtros de 1/3 Octava:**

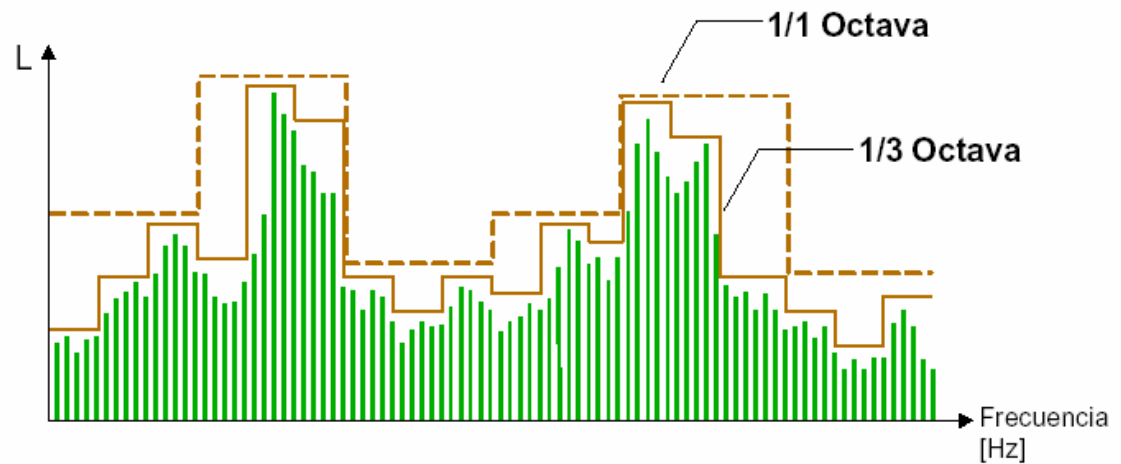
$$f_2/f_1 = 2^{1/3}$$

Ancho de banda  $\approx 23\%$  de  $f_o$

$$3 \times 1/3 \text{ Oct.} = 1/1 \text{ Oct.}$$



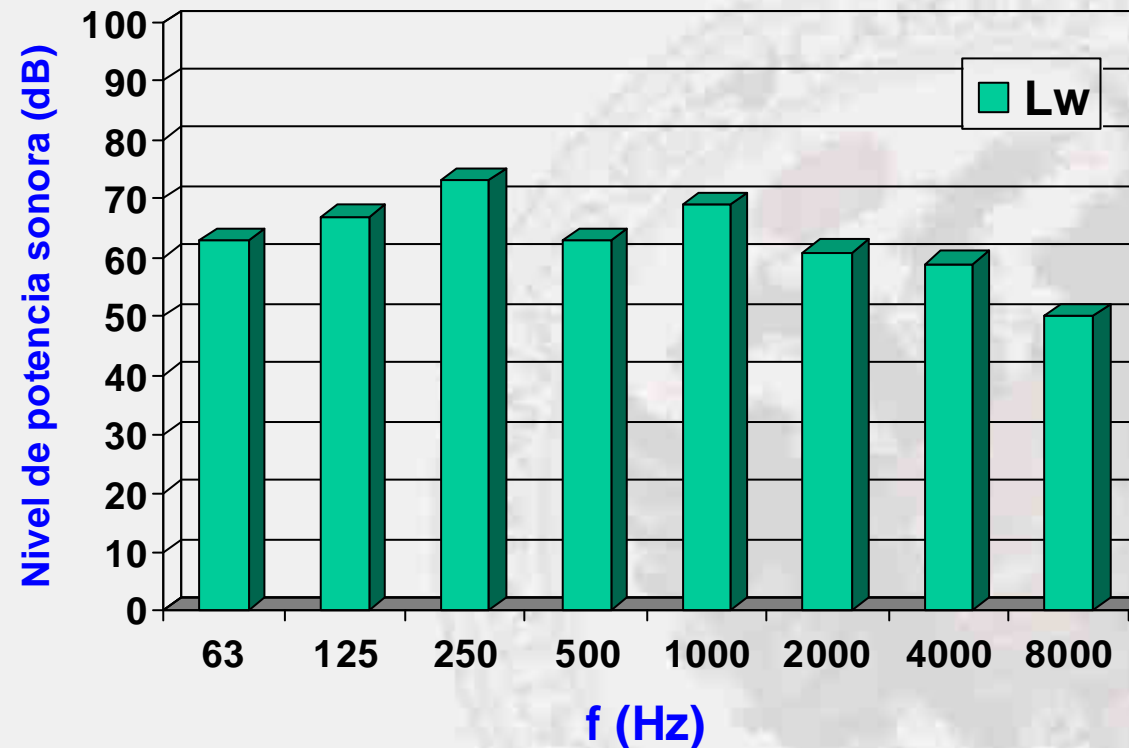
## Espectrograma



## INTEGRACIÓN DE NIVELES ESPECTRALES. Ejemplo

f (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L <sub>w</sub> (dB)	63	67	73	63	69	61	59	50

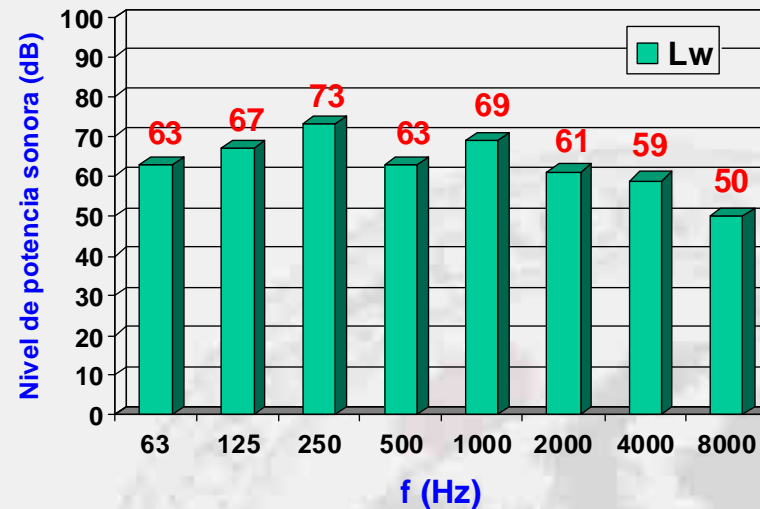
Dentro de cada octava, el nivel de potencia se considera la misma



$$L_W = L_{63} \oplus L_{125} \oplus L_{250} \oplus L_{500} \oplus L_{1000} \oplus L_{2000} \oplus L_{4000} \oplus L_{8000} \\ \oplus \text{ suma energética}$$

$$L_W = 10 \log \left( \frac{W}{W_{ref}} \right)$$

$$\frac{W}{W_{ref}} = 10^{\frac{L_W}{10}}$$



$$L_W = 10 \log \left( 10^{\frac{63}{10}} + 10^{\frac{67}{10}} + 10^{\frac{73}{10}} + 10^{\frac{63}{10}} + 10^{\frac{69}{10}} + 10^{\frac{61}{10}} + 10^{\frac{59}{10}} + 10^{\frac{50}{10}} \right)$$

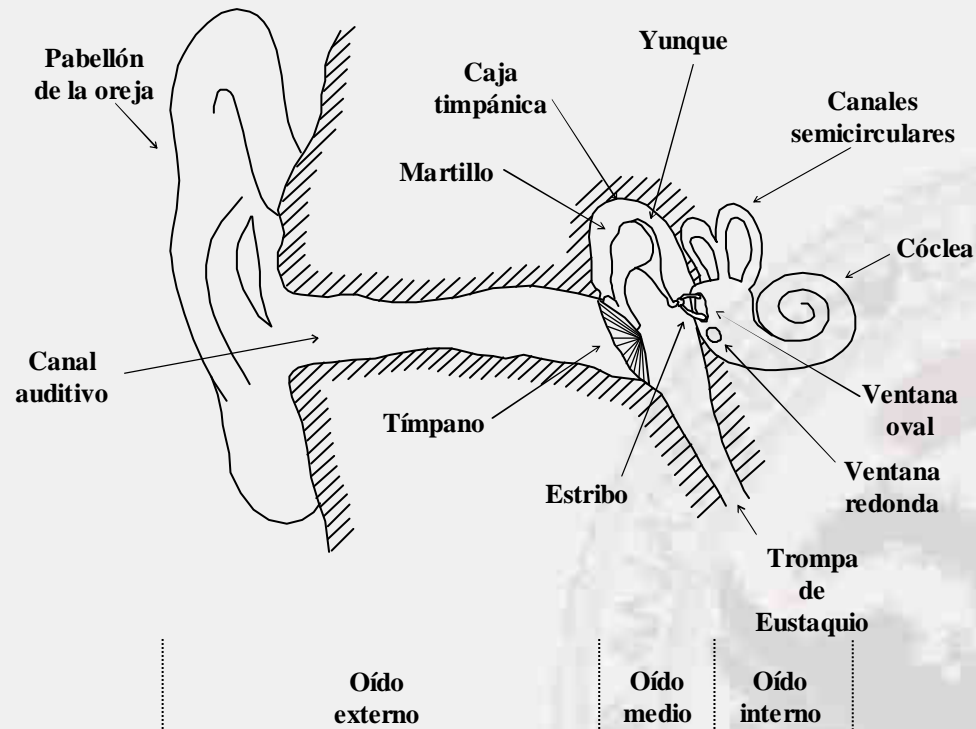
$$L_W = 75,916 \text{ dB}$$

# PSICOACÚSTICA: percepción sonora y efectos del ruido



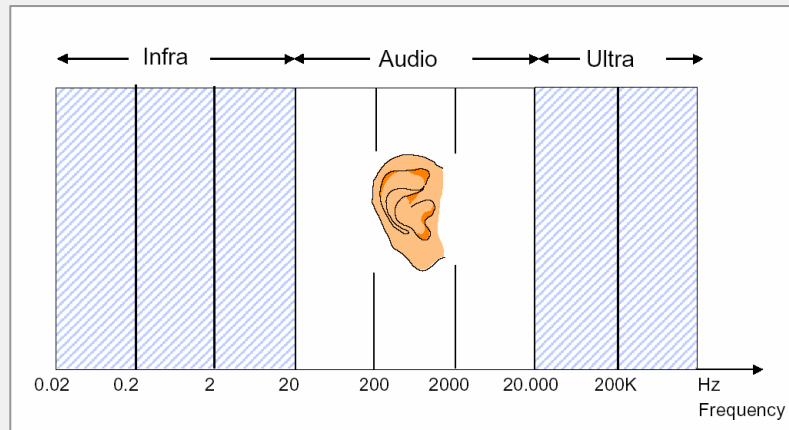
# Percepción del sonido

Onda sonora  $\Rightarrow$  variaciones de presión  $\Rightarrow$  sensación de sonido



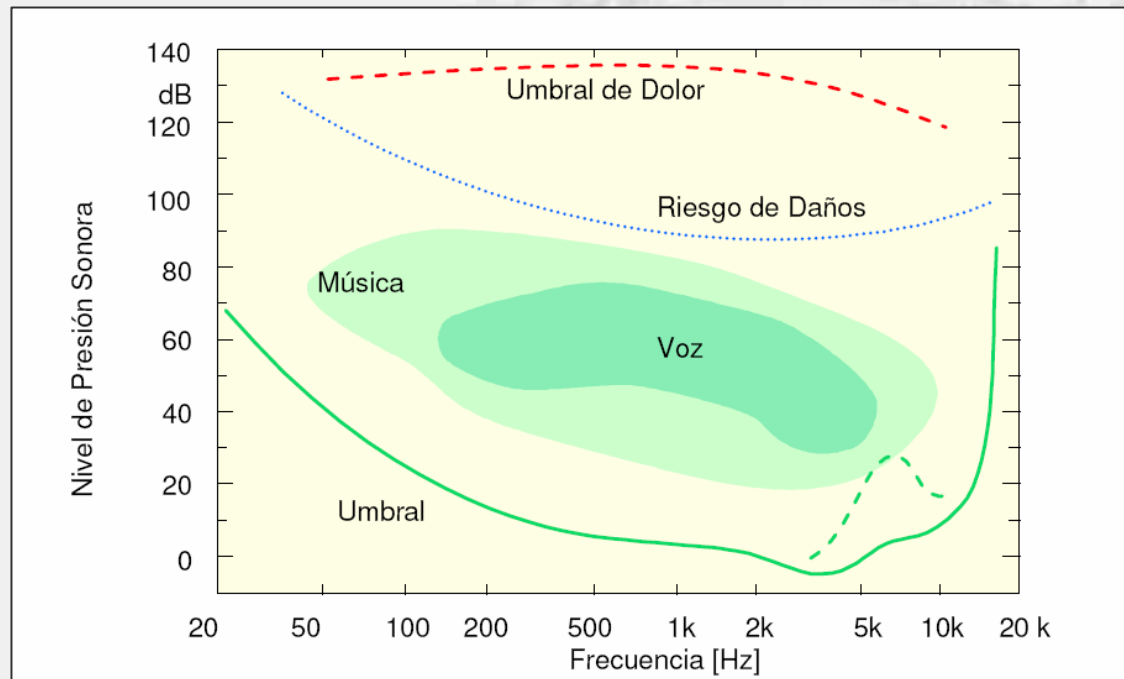
**SONORIDAD** : *sensación de intensidad*  $\Rightarrow$  **AMPLITUD**

**TONO** : *sensación de agudeza*  $\Rightarrow$  **FRECUENCIA**



Sólo los sonidos incluidos en el rango de frecuencias de 20 a 20.000 Hz pueden ser percibidos por el sistema auditivo humano.

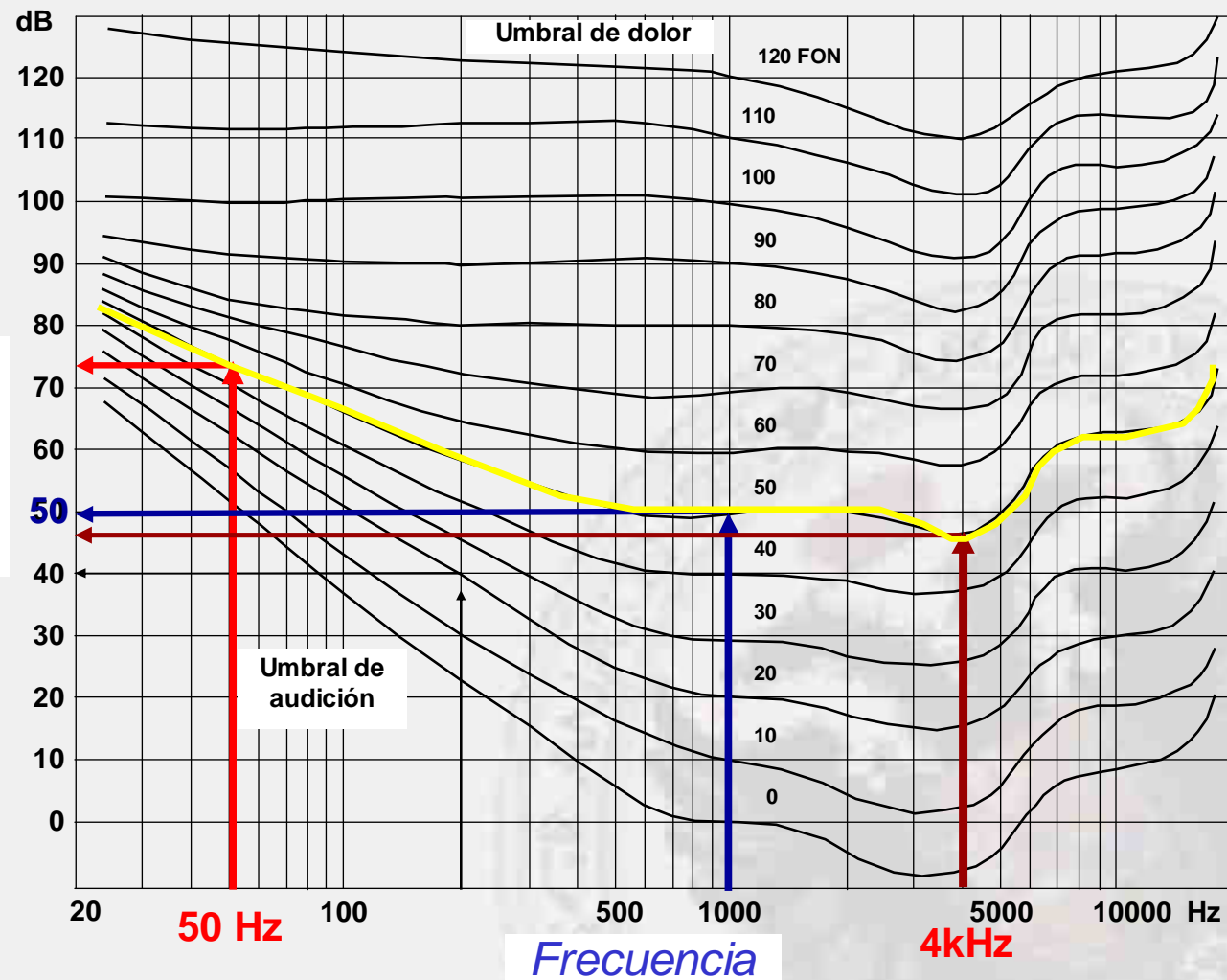
--- Umbral de dolor  
 — Mínimo audible  
 — Riesgo de daño  
 - - Pérdida de capacidad auditiva



# Curvas de Fletcher y Munson (1933)

*Nivel de presión sonora (dB)*

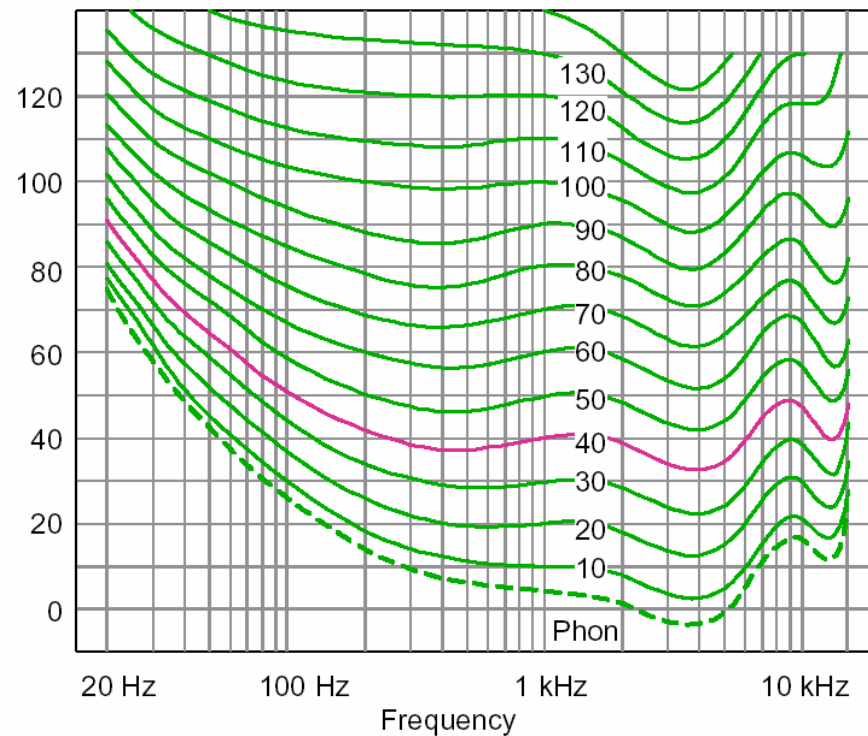
Un tono de 50 Hz debe ser unos 25 dB más alto que un tono de 1.000 Hz para dar la misma sonoridad subjetiva de 50 fonios.



**Curvas de igual sonoridad para tonos puros**

Umbral para adición binaural normal

Sound  
pressure  
level,  $L_p$   
(dB re 20  $\mu$ Pa)



### Curvas de igual sonoridad para tonos puros:

- Percepción sonora humana *no lineal*. El oído es mucho más sensible a medias y altas frecuencias que a bajas frecuencias.
- A niveles bajos de presión sonora, el oído presenta una escasa capacidad auditiva a bajas frecuencias.
- A niveles altos de presión sonora, sin embargo, el oído responde de una forma más homogénea en todo el rango de frecuencias.
- Necesidad de una escala *real* de sonoridades

**El dB NO es  
una medida  
de sonoridad**



**Nivel de sonoridad en FONIOS:**  
*Nivel de presión sonora del tono de 1000 Hz de referencia, que es tan sonoro como el sonido que está siendo evaluado.*

1. Cada una de las **curvas de Fletcher y Munson** representa todas las combinaciones de frecuencia y nivel de presión sonora que suenan igual de intensas que un tono de referencia de 1000 Hz y nivel de presión sonora dado.
2. Actualmente estas curvas han sido sustituidas por las curvas de **Robinson y Dadson** (1956), determinadas con mayor precisión (normalizadas por ISO /R226-1961)
3. Esta escala permite determinar cuando dos sonidos senoidales puros son igualmente sonoros.
4. Permite indirectamente determinar cuándo un sonido es más sonoro es que otro.
5. No ofrecen información de cuánto más sonoro es un sonido que otro.
6. No es una escala absoluta para la sonoridad.

## SONORIDAD REAL: **SONIO**

**Sonio:** sonoridad de un tono de 1000 Hz con un nivel de presión sonora de 40 dB.

### 1 Sonio = 40 Fonios

S: Son o sonio

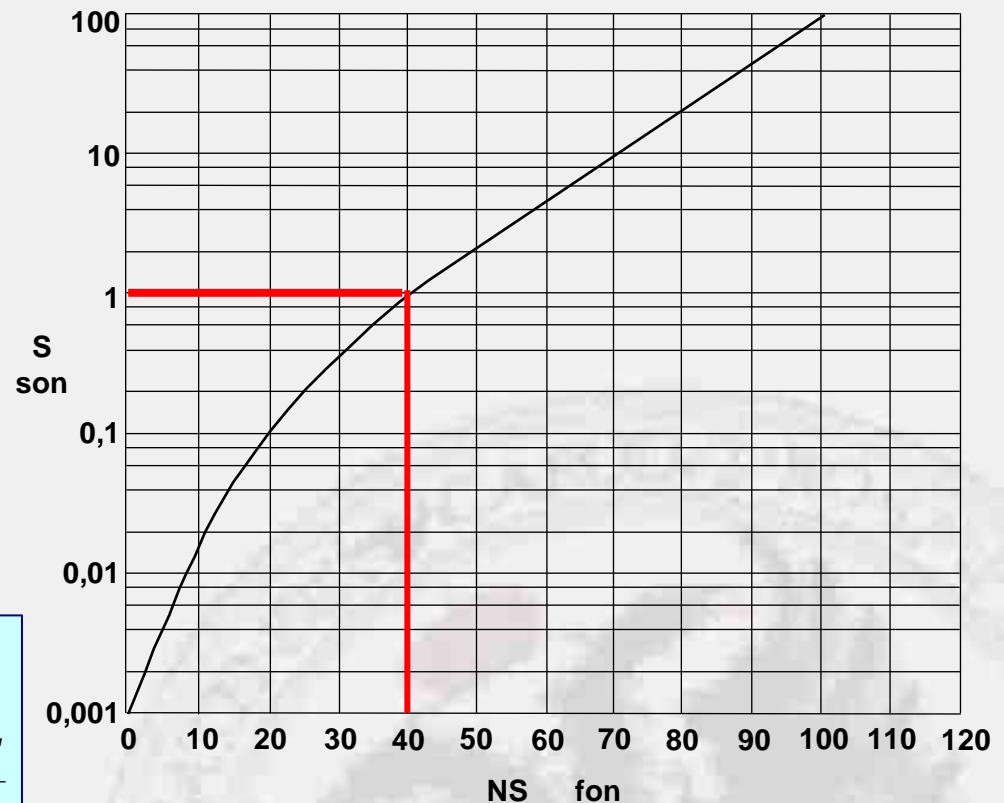
NS: Nivel de sonoridad en fones

*Si*  $NS > 40$

$$S = 10^{\frac{NS-40}{30}} = 0,0464 \times 10^{\frac{NS}{30}}$$

**ISO / R131-1959**

$$S = 0,0625 \times 10^{\frac{NS}{30}}$$



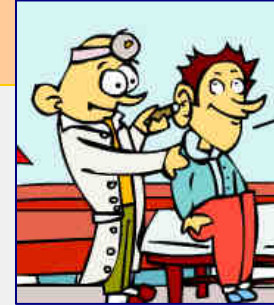
*Si*  $f = 1000 \text{ Hz}$

$$S = 2^{\frac{NS-40}{10}} = 0,0625 \times 2^{\frac{NS}{10}} = 0,0464 \left( \frac{P_{rms}}{P_{ref}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

## Las lesiones auditivas suelen ser **IRREVERSIBLES**



# Efectos del ruido



## Efectos AUDITIVOS

- ❖ Trauma acústico
- ❖ Desplazamiento **temporal** del umbral auditivo
- ❖ Desplazamiento **permanente** del umbral auditivo

## Efectos NO AUDITIVOS

- ❖ Altera la inteligibilidad del habla
- ❖ Perjudica el sistema inmunológico
- ❖ Agrava las enfermedades cardiovasculares
- ❖ Insomnio
- ❖ Estrés
- ❖ Otros perjuicios sociales (calidad de vida):
  - Bajo rendimiento escolar
  - Desconcentración



### Propagación del sonido al aire libre

La propagación del sonido en exteriores a través de la atmósfera suele originar una disminución del nivel al aumentar la distancia entre la fuente y el receptor.

Esta **atenuación** es el resultado de varios mecanismos:

✚ Divergencia geométrica desde la fuente

✚ Absorción de energía acústica por el aire

✚ Efectos de propagación cerca de las distintas superficies del suelo

✚ Atenuación por vegetación y reflexión en edificios

✚ Efecto de las condiciones atmosféricas, viento y temperatura

✚ Pérdidas por inserción de barreras

La **atenuación total** vendrá dada por la suma de todos o parte de los términos enumerados anteriormente:

$$A_{total} = A_{div} + A_{aire} + A_{suelo} + A_{misc}$$

$$A_{misc} = A_{reflex} + A_{veget} + A_{casa} + A_{viento} + A_{temp} + A_{barreras}$$

En general, es necesario **calcular la atenuación de todas las bandas de octava de ruido por separado** porque la atenuación de cada término depende de la frecuencia.

Los términos individuales de atenuación evaluados en un punto determinado pueden ser **positivos**, representando un descenso de nivel, **o negativos**, implicando un aumento.

## SONÓMETRO: Oído electrónico

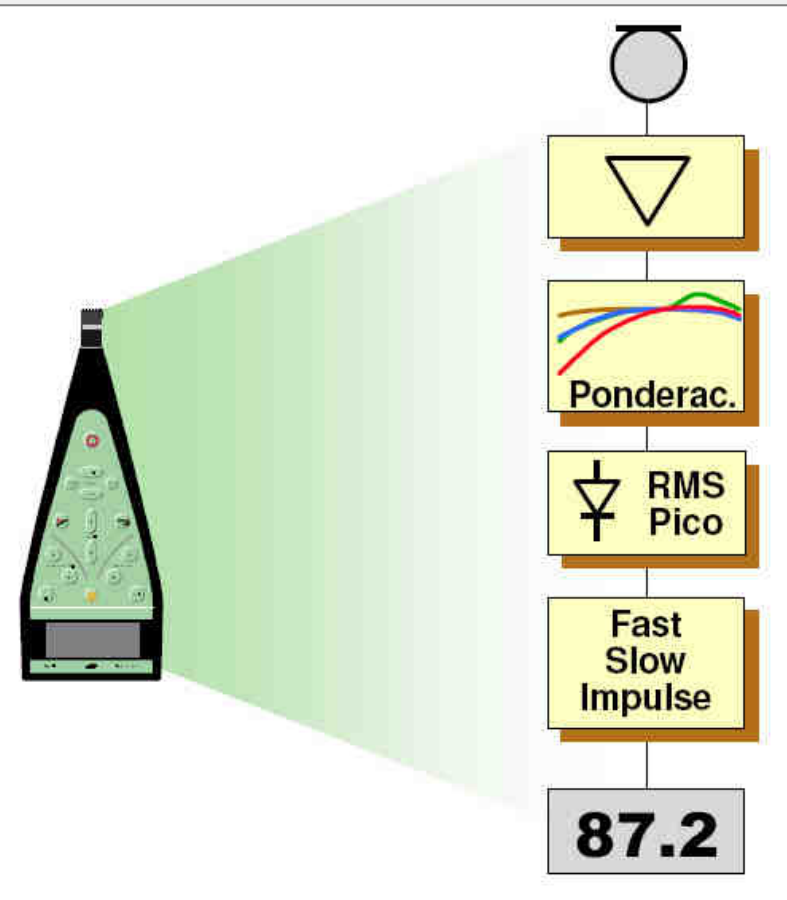
Para una evaluación completa del fenómeno sonoro, es necesario contemplar dos aspectos fundamentales del mismo:

**a) Espectro de frecuencias**, mediante la ponderación en frecuencias (empleo de filtros entre la señal sonora detectada por el micrófono y el indicador final del instrumento de medida)

**b) Tiempo**, mediante la ponderación temporal (empleo de filtros que generan diferente respuesta temporal del instrumento)

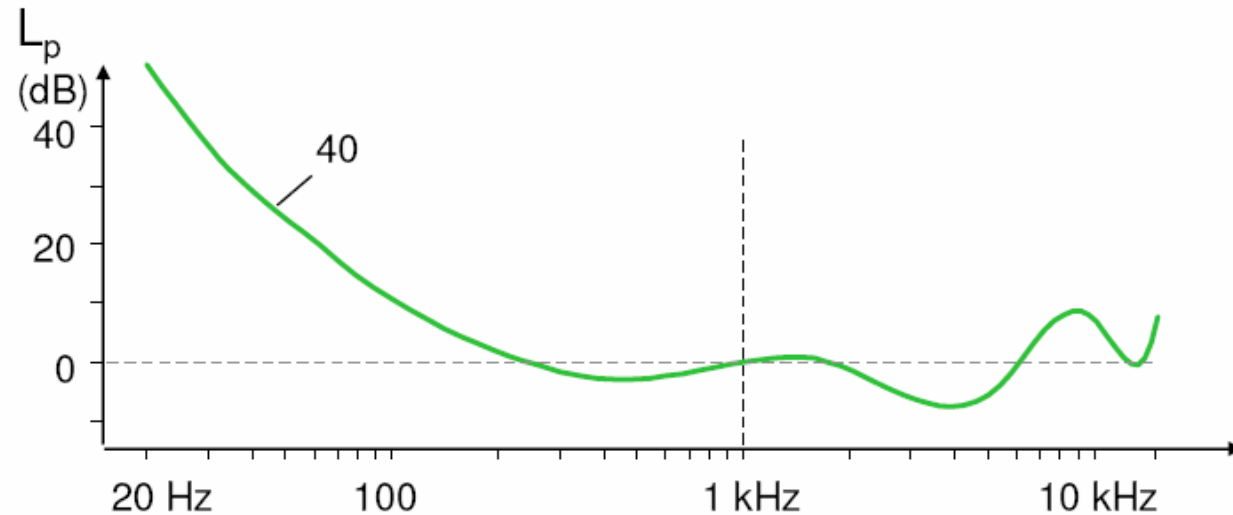
### Empleo de REDES DE PONDERACIÓN

En ocasiones, es importante también el **tipo de incidencia** del sonido.

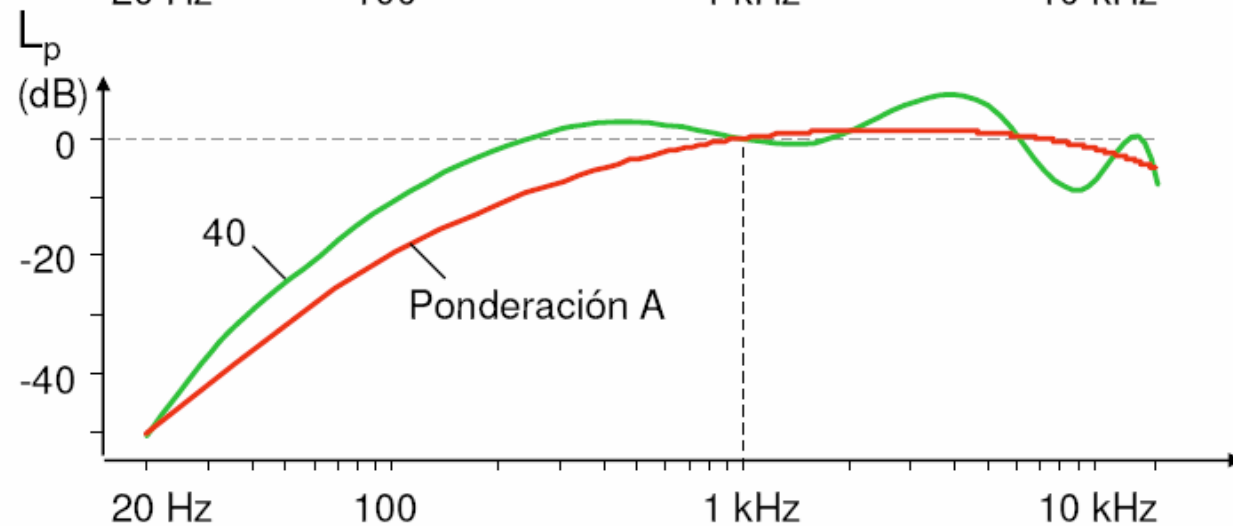


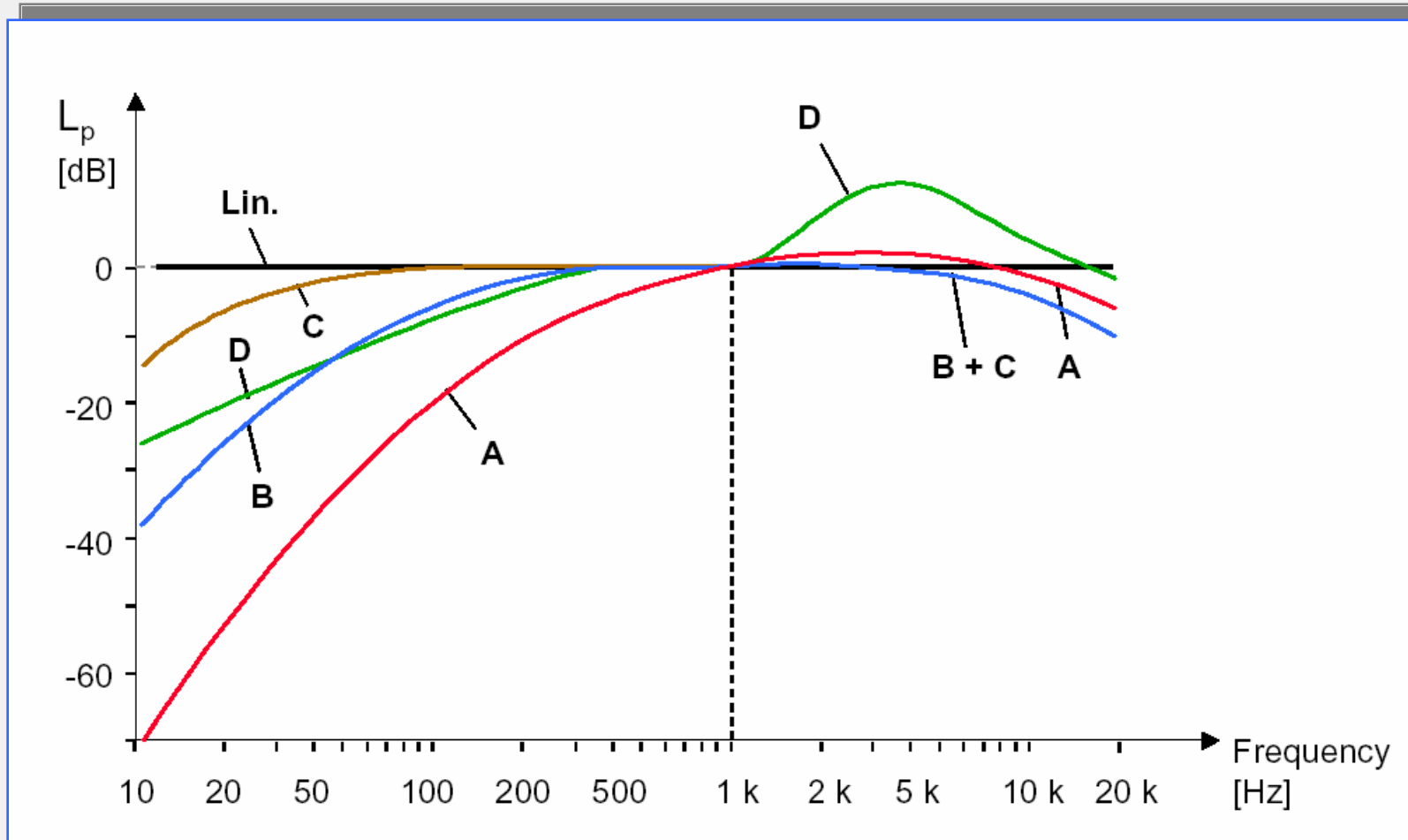
## PONDERACIÓN EN FRECUENCIA

- Contorno de Igual Sonoridad de 40 dB normalizado a 0 dB a 1 kHz



- Contorno de Igual Sonoridad de 40 dB invertido y comparado con la curva de ponderación A





- Red A : diseño sobre la curva de 40 fones (actúa sobre las bajas frecuencias)
- Red B : diseño sobre la curva de 70 fones
- Red C : diseño sobre la curva de 100 fones (casi plana)
- Red D: diseñada para el sobrevuelo de aviones (penaliza las altas frecuencias)

<b>B</b>
- 38,2
- 33,2
- 28,5
- 24,2
- 20,4
- 17,1
- 14,2
- 11,6
- 9,3
- 7,4
- 5,6
- 4,2
- 3,0
- 2,0
- 1,3
- 0,8
- 0,5
- 0,3
- 0,1
- 0,0
0,0
- 0,0
- 0,0
- 0,1
- 0,2
- 0,4
- 0,7
- 1,2
- 1,9
- 2,9
- 4,3
- 6,1
- 8,4
- 11,1

Center Frequency Hz	A- Weighting Correction dB	C- Weighting Correction - dB	D- Weighting Correction- dB
10	-70.4	-14.3	
12.5	-63.4	-11.2	
16	-56.7	-8.5	
20	-50.5	-6.2	
25	-44.7	-4.4	
31.5	-39.4	-3.0	
40	-34.6	-2.0	
50	-30.2	-1.3	-12.8
63	-26.2	-0.8	-10.9
80	-22.5	-0.5	-9.0
100	-19.1	-0.3	-7.2
125	-16.1	-0.2	-5.5
160	-13.4	-0.1	-4.0
200	-10.9	0	-2.6
250	-8.6	0	-1.6
315	-6.6	0	-0.8
400	-4.8	0	-0.4
500	-3.2	0	-0.3
630	-1.9	0	-0.5
800	-0.8	0	-0.6
1000	0	0	0
1250	0.6	0	2.0
1600	1.0	-0.1	4.9
2000	1.2	-0.2	7.9
2500	1.3	-0.3	10.6
3150	1.2	-0.5	11.5
4000	1.0	-0.8	11.1
5000	0.5	-1.3	9.6
6300	-0.1	-2.0	7.6
8000	-1.1	-3.0	5.5
10000	-2.5	-4.4	3.4
12500	-4.3	-6.2	-1.4
16000	-6.6	-8.5	
20000	-9.3	-11.2	

## Consideraciones importantes sobre la red A de ponderación en frecuencias:

⇒ Está calculada a partir de la curva de los 40 fones y por ello es sólo válida para niveles medios de ruido (40-60 dB) y para tonos puros.

⇒ Sería más correcto, aunque nunca se hace, emplear la red B o C para niveles sonoros más elevados.

⇒ Los db(A) no son una buena medida del grado de molestia debido a sonidos complejos, ya que dos sonidos con los mismos db(A) pueden presentar grados muy distintos de molestia.

⇒ Los niveles ponderados A no ofrecen ninguna información sobre el contenido espectral de un ruido complejo y, por ello, es un dato de escaso valor en el diseño de sistemas de control.

## PONDERACIÓN TEMPORAL: *Fast y Slow*

Las dos ponderaciones de tiempo normalizadas más ampliamente utilizadas son **de tipo exponencial** y se identifican mediante los nombres de **lenta (*Slow*) y rápida (*Fast*)**

Ponderación lenta: aporta una mayor amortiguación del nivel sonoro que muestra el sonómetro y hace más fácil para un sonido inestable la determinación de un nivel sonoro promediado en el tiempo (*que la ponderación rápida*)

**Ponderación lenta**  $\Rightarrow$   **$\tau = 1$  segundo**

Los sonidos que se producen hasta 4 segundos antes del tiempo de medición pueden tener una contribución significativa al nivel sonoro observado.

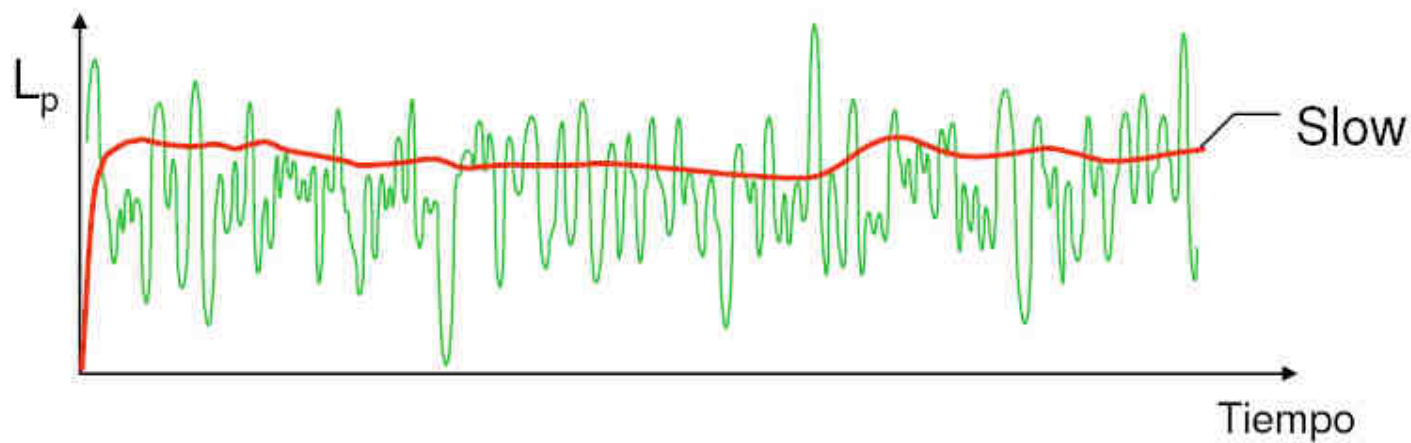
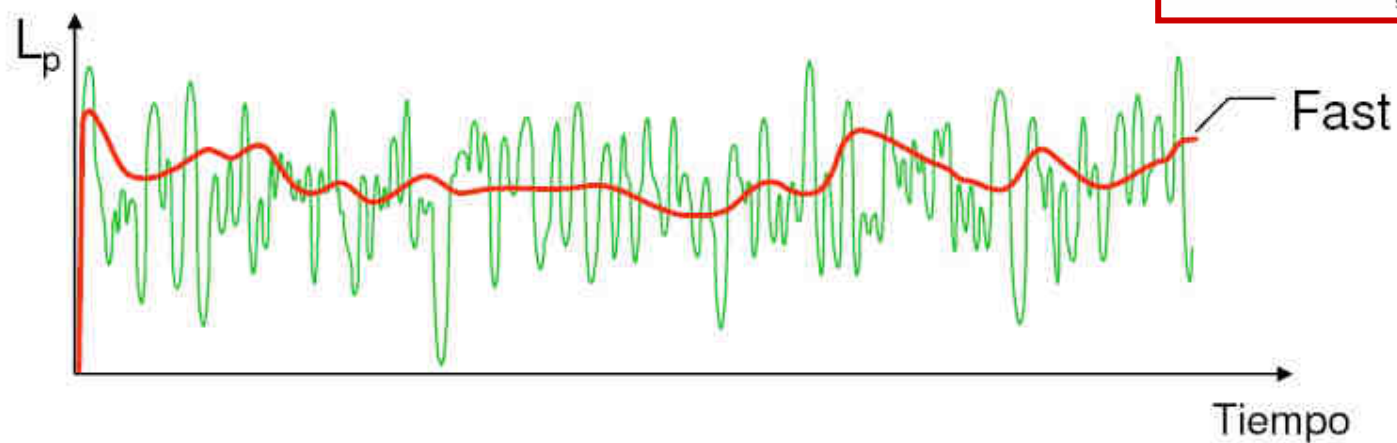
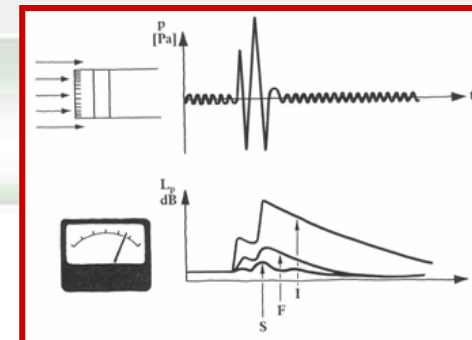
**Ponderación rápida**  $\Rightarrow$   **$\tau = 0,125$  segundos**

Los sonidos que se produjeron 1 segundo antes del tiempo de observación se ponderan con el factor  $3,5 \times 10^{-4}$ . Por tanto, la presión sonora al cuadrado 1 segundo antes del tiempo de observación ha de ser mucho mayor que la del momento de observación para contribuir de forma significativa al nivel sonoro registrado.

**Ponderación impulsiva**  $\Rightarrow$   **$\tau = 35$  ms**

Reservado para casos especiales (ruido de impactos).

# Ponderación Temporal

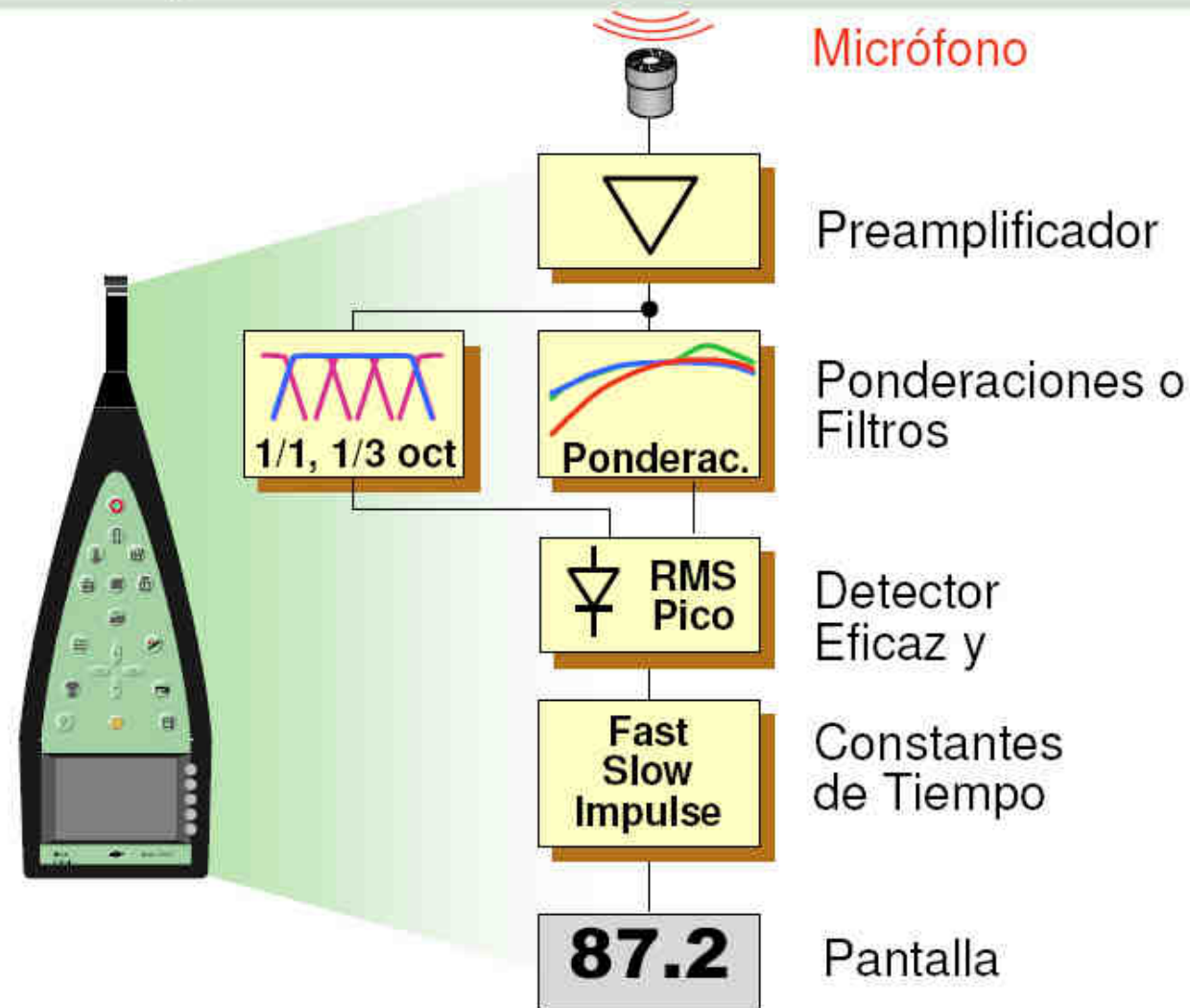


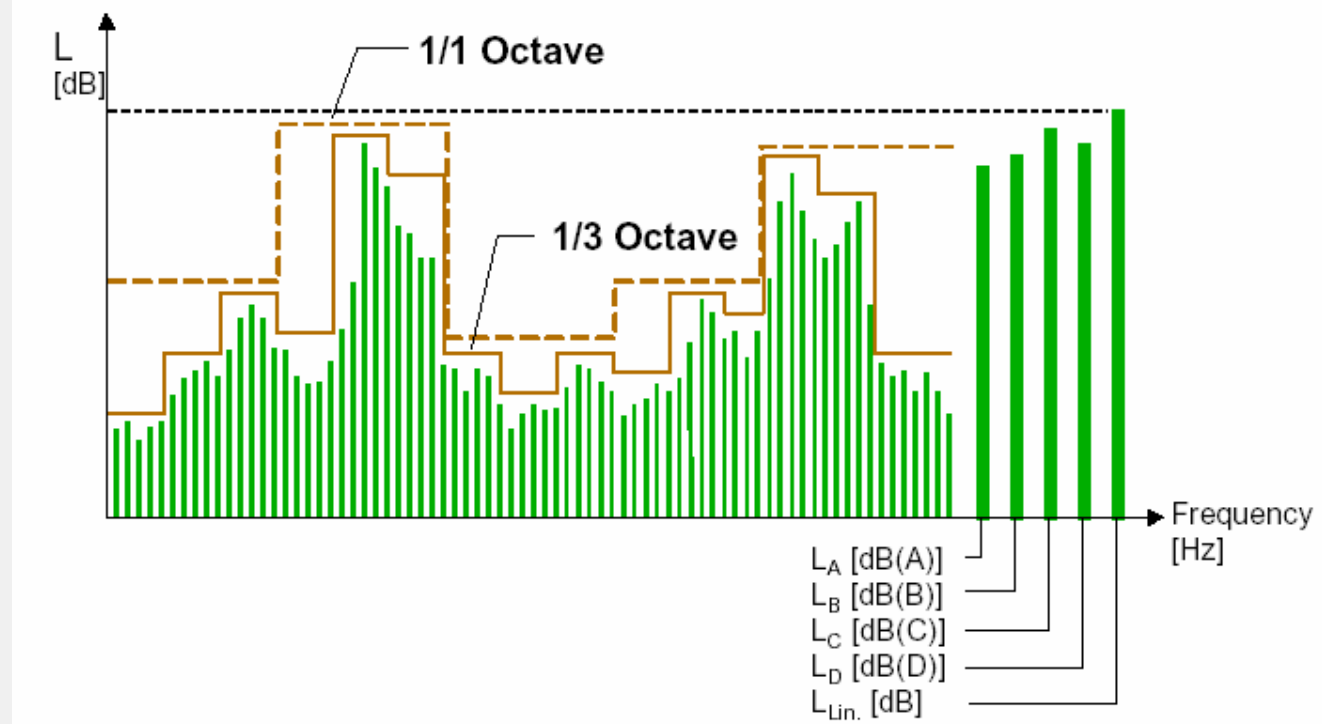
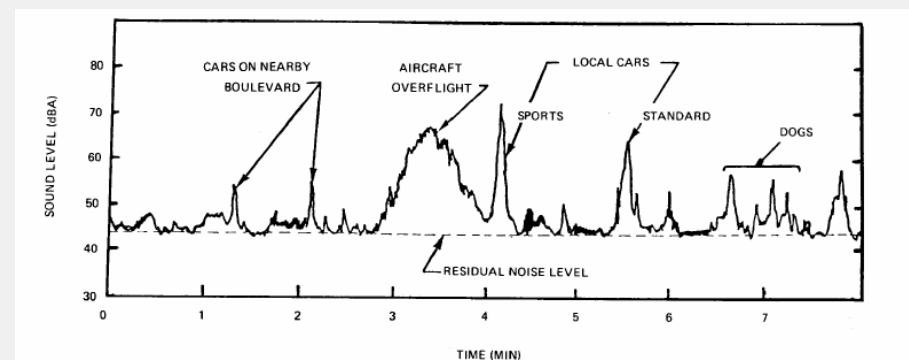
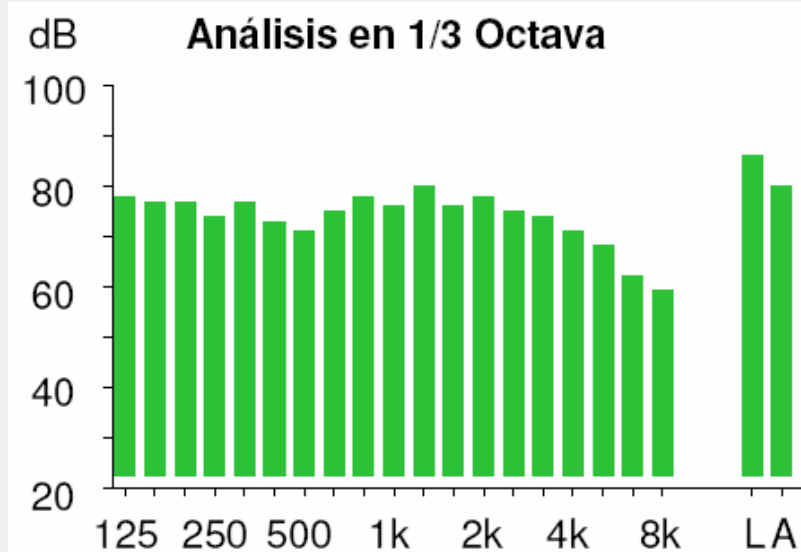
## ANALIZADORES DE ESPECTRO

Se emplean cuando es necesario conocer la distribución en frecuencias de la presión sonora cuadrática media de un sonido:

- *Identificación de fuentes de ruido.*
- *Evaluación del resultado de un tratamiento acústico.*
- *Evaluación del efecto de determinados tipos de ruido.*
- *Determinación del grado de transmisión a través de una estructura.*
- *Para selección de métodos, materiales y estructuras para resolver determinados problemas acústicos.*
- *Para aplicar criterios de aceptabilidad cualitativa y cuantitativa de un ruido.*
- *Para la evaluación de la sonoridad de un sonido complejo.*
- *Cuando es necesario ecualizar un sistema de audio para compensar irregularidades acústicas de una sala, parlantes o cajas acústicas.*

# El Sonómetro y análisis en frecuencia





# DESCRIPTORES DEL RUIDO (*índices de valoración*)

## Nivel sonoro continuo equivalente

ISO 1996/1-1982 (E)

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_2}^{t_1} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right]$$

*Nivel de presión sonora con ponderación A de un sonido continuo y constante que, dentro del intervalo de tiempo T dado, tiene la misma presión sonora eficaz que el sonido bajo consideración cuyo nivel varíe con el tiempo.  $T = t_2 - t_1$*

## Aproximación

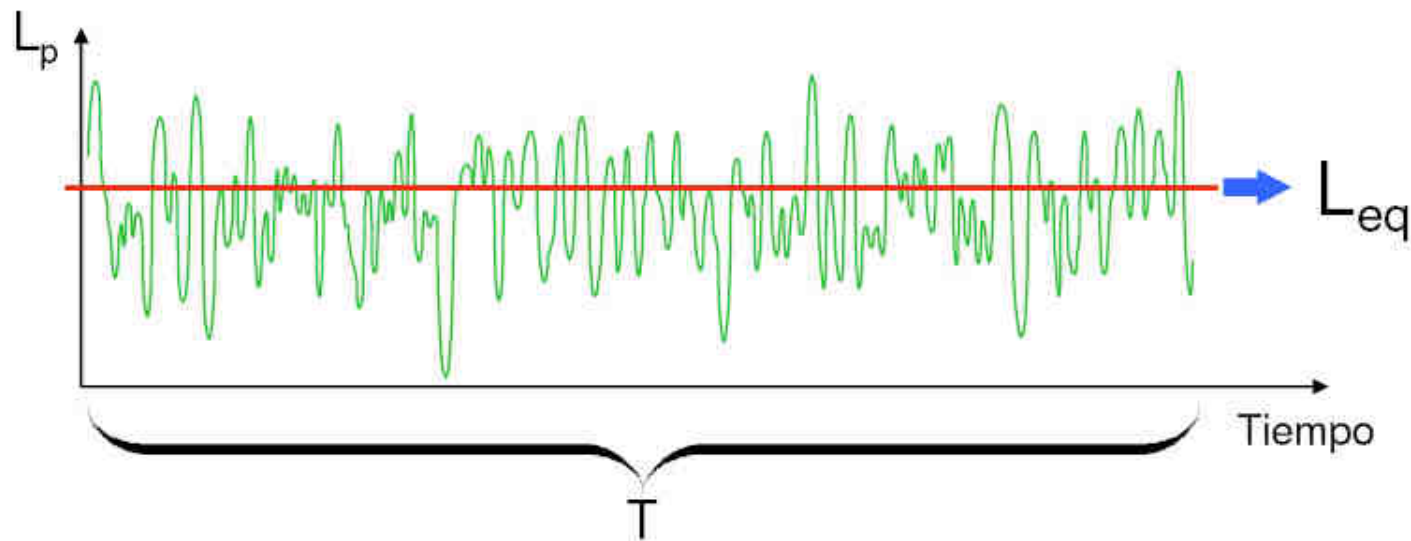
$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \sum T_i 10^{\frac{L_{pA,i}}{10}} \right]$$

Ruido estable

$T_i$  : intervalo de tiempo con nivel de presión constante     $T$  : intervalo total dado por  $T = \sum T_i$

## Nivel Continuo Equivalente, $L_{eq}$

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt$$



## DESCRIPTORES basados en el Leq



### Nivel sonoro diurno ( $L_{eqD}$ )

Es el Leq medido para **16 horas** diurnas entre las **7:00 y las 23:00**. Puede calcularse mediante los Leq1h para cada una de esas 16 horas.

$$LeqD = 10 \log \left[ \frac{1}{16} \sum_i 10^{\frac{L_{eq1h}(i)}{10}} \right]$$

### Nivel sonoro nocturno ( $L_{eqN}$ )

Es el Leq medido para las **8 horas** que se considera dura la noche: **desde las 23:00 horas hasta las 7:00** de la mañana.

$$LeqN = 10 \log \left[ \frac{1}{8} \sum_i 10^{\frac{L_{eq1h}(i)}{10}} \right]$$

### Nivel sonoro vespertino ( $L_{evening}$ )

Es el Leq medido para **4 horas** vespertinas (tarde-noche) **entre las 19:00 y las 23:00** horas.

$$L_{evening} = 10 \log \left[ \frac{1}{4} \sum_i 10^{\frac{L_{eq1h}(i)}{10}} \right]$$

### Nivel sonoro de 24 horas (Leq24h)

Se utiliza para caracterizar el nivel sonoro en un determinado lugar durante todo el día. Es el Leq medido para **24 horas, desde la medianoche hasta la medianoche** sin corrección adicional para la hora del día a la que se producen los niveles sonoros.

$$Leq_{24h} = 10 \log \left[ \frac{1}{24} \sum_i 10^{\frac{L_{eq1h}(i)}{10}} \right]$$

24  $L_{eq1h}(i)$ : 24 → 01 , 01 → 02 , ....., 23 → 24

Alternativamente, puede estimarse a partir de los niveles **LeqD + LeqN**, según la expresión:

$$Leq_{24h} = 10 \log \left\{ \frac{1}{24} \left[ 16 \times 10^{\frac{LeqD}{10}} + 8 \times 10^{\frac{LeqN}{10}} \right] \right\}$$

## INDICES de valoración

### Nivel sonoro corregido día-noche (LDN)

Combinación del nivel sonoro diurno y el vespertino. En este caso **se añaden 10 dB para las 8 horas nocturnas**. En la definición del índice, se tiene en cuenta que los ruidos son más molestos durante la noche.

$$LDN = 10 \log \left[ \frac{1}{24} \left\{ 16 \times 10^{\frac{LeqD}{10}} + 8 \times 10^{\frac{LeqN+10}{10}} \right\} \right]$$

$$L_{day} \neq LeqD$$

$$L_{night} = LeqN$$

### Nivel equivalente de ruido comunitario (Lden) (day-evening-night)

De forma semejante al anterior, se penaliza la tarde y la noche, para homogeneizar molestias:

+ 5 dB a los niveles vespertinos (19:00 a 23:00)

+ 10 dB a los niveles nocturnos (23:00 - 7:00 del día siguiente)

$$L_{den} = 10 \log \left[ \frac{1}{24} \left\{ 12 \times 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \times 10^{\frac{(L_{evening}+5)}{10}} + 8 \times 10^{\frac{(L_{night}+10)}{10}} \right\} \right]$$

## Niveles porcentuales

**Nivel L10**

Percentil 90

**Nivel L50 o nivel medio**

$$L_{eq} = L_{50} + 0.115 \sigma^2$$

**Nivel L90**

Percentil 10

## Nivel de contaminación sonora ( $L_{NP}$ )

$$L_{NP} = L_{eq} + 2.56 \sigma$$

## Indice de ruido de tráfico (TNI)

$$TNI = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30$$

circulaciones medias y densas  
(distribución gaussiana):

$$\begin{cases} L_{10} = L_{50} + 1.28 \sigma \\ L_{90} = L_{50} - 1.28 \sigma \\ TNI = L_{50} + 9 \sigma - 30 \end{cases}$$

## Nivel de exposición sonora

**ISO 1996/1-1982 (E)**

( $L_{AX}$  en ISO 3891)

$$L_{AE} = 10 \log \left[ \frac{1}{t_o} \int_{t_2}^{t_1} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right]$$

$$SEL = L_{AE} = 10 \log_{10} (E_A/E_o)$$

Para un suceso único:

$$L_{eq} = L_{AE} - 10 \log_{10} (T/t_o)$$

( $t_o=1s$ )

Para n sucesos, puede calcularse a partir de los  $L_{AE}(i)$ :

$$L_{eq} = 10 \log_{10} [(1/T) \sum_{i=1}^n 10^{L_{AE}(i)/10}]$$





### Vivimos entre ruidos



- En el hogar



- En el trabajo



- En el ambiente urbano

# Límites acústicos recomendados, OMS, 2000

Ambiente	Efecto crítico sobre la salud	$L_{eq}$ (dBA)	Base horaria (horas)	$L_{max}$ (F, dBA)
Exterior viviendas	Molestias serias durante mañana y tarde	55	16	-
	Molestias moderadas durante mañana y tarde	50	16	-
Interior viviendas	Inteligibilidad habla y molestias moderadas	35	18	-
	Perturbación del sueño (noche)	30	8	45
Exterior dormitorios	Perturbación del sueño con ventanas abiertas	45	8	60
Aulas e interior de colegios	Inteligibilidad del habla, molestias moderadas e interferencia en el proceso de aprendizaje	35	Horas de clase	-
Interior dormitorios niños pre-escolar	Perturbación del sueño	30	Horas de sueño	45
Lugar de juego en el colegio	Molestia por fuente externa	55	Horas de juego	-
Interior Hospital	Perturbación descanso día	30	8	40
	Perturbación sueño noche	30	16	-
Salas de tratamiento en Hospital	Interferencia en el proceso de recuperación y descanso	Tan bajo como sea posible		
Industrial, comercial y tráfico	Daños sistema auditivo	70	24	110
Ceremonias, fiestas y eventos similares	Daños sistema auditivo (sobre una base de 5 años)	100	4	110
Lugares públicos	Daños sistema auditivo	85	1	110
Música y otros sonidos a través de auriculares	Daños sistema auditivo	85	1	110
Sonidos impulsivos procedentes de juegos, fuegos artificiales...	Daños sistema auditivo adultos	-	-	140 ( $L_{Cp}$ )
	Daños sistema auditivo niños	-	-	120 ( $L_{Cp}$ )

# Marco Legal



Ambiente Laboral  
D-86/188/CE

Comités técnicos  
CEN

Directivas  
Emisión

Libro Verde UE  
1996

Directivas  
Inmisión

## UE

- Normas Medida ISO 1996
- Ruido Ambiental
- Equipos
- Máquinas

- Vehículos D-70/157/CE – D-96/20/CE
- Motos D-78/101/CE
- Aeronaves D-80/51/CE
- **Maquinaria uso exterior D-2000/14/CE**
- Aparatos domésticos D-86/594/CE

**Directiva 2002/49/CE**  
**Evaluación y Gestión del ruido ambiental**

## Estatal

NBE CA-81  
**Proyecto CTE**  
**RD 1371/2007**

Transposición a  
normas españolas

- Orden 12/98 Equipos de Medida
- Norma UNE-EN 1793 Dispositivos anti-ruido

Ley de Protección del Ambiente  
Atmosférico 38/1972

- RAMINP RD 2414/1961
- RD 1131/1986 de EIA
- Ley 16/2002, IPPC
- **Ley 37/2003, del Ruido**
- **RD 1513/2005, Reg. Parcial**
- **RD 1367/2007, Reg. Parcial**

## CCAA

- Leyes de Medio Ambiente y/o contaminación acústica
- Decretos sobre ruido ambiental
- Ordenanzas tipo

- Ley 7/1994, de PA
- Decreto 74/1996, RCA
- Orden 23.02.1996, 3.09.1998
- **Decreto 326/2603, RPCAA**
- **Ley GICA**

## Local

Ordenanzas Municipales de  
Protección contra el ruido



## Actuaciones Públicas en materia de Contaminación Acústica

### NORMATIVA EUROPEA

**Directiva 2002/49/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de Junio de 2002, sobre **evaluación y gestión del ruido ambiental** (DOCE, nº L189, de 18 de Julio de 2002)

### NORMATIVA ESPAÑOLA

**Ley 37/2003**, de 17 de noviembre, **del Ruido** (BOE nº 276, de 18.11.03)

### NORMATIVA ANDALUZA

**Decreto 326/2003**, de 25 de noviembre, por el que se aprueba el **Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía** (BOJA nº 243, de 18.12.03)



Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental:

### Artículo 1: Objetivos

- a) la determinación de la exposición al ruido ambiental, mediante la elaboración de mapas de ruidos según métodos de evaluación comunes a los Estados miembros;
- b) poner a disposición de la población la información sobre el ruido ambiental y sus efectos;
- c) la adopción de planes de acción por los Estados miembros, tomando como base los resultados de los mapas de ruidos, con vistas a prevenir y reducir el ruido ambiental siempre que sea necesario y, en particular, cuando los niveles de exposición puedan tener efectos nocivos en la salud humana, y a mantener la calidad del entorno acústico cuando ésta sea satisfactoria.

### Anexo I: Indicadores de ruido (Directiva 2002/49/CE)

### Anexo I: Índices de ruido (Borrador RD desarrollo parcial Ley 37/2003)

#### 1. Definición del nivel día-tarde-noche $L_{den}$

El nivel día-tarde-noche  $L_{den}$  en decibelios (dB) se determina aplicando la fórmula siguiente:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left( 12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right)$$

donde

- $L_{day}$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos diurnos de un año,
- $L_{evening}$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos vespertinos de un año,
- $L_{night}$  es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A definido en la norma ISO 1996-2: 1987, determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año,

Anexo II: Métodos de evaluación para los indicadores de ruido (Directiva 2002/49/CE)

Anexo II: Métodos de evaluación para los índices de ruido (RD des. parcial Ley 37/03)

### 1. Introducción

Los valores de  $L_{den}$  y  $L_{night}$  pueden determinarse bien mediante cálculos o mediante mediciones (en el punto de evaluación). Las predicciones sólo pueden obtenerse mediante cálculos.

En los puntos 2 y 3 del presente anexo se describen los métodos provisionales de cálculo y medición.

### Directiva 2002/49/CE

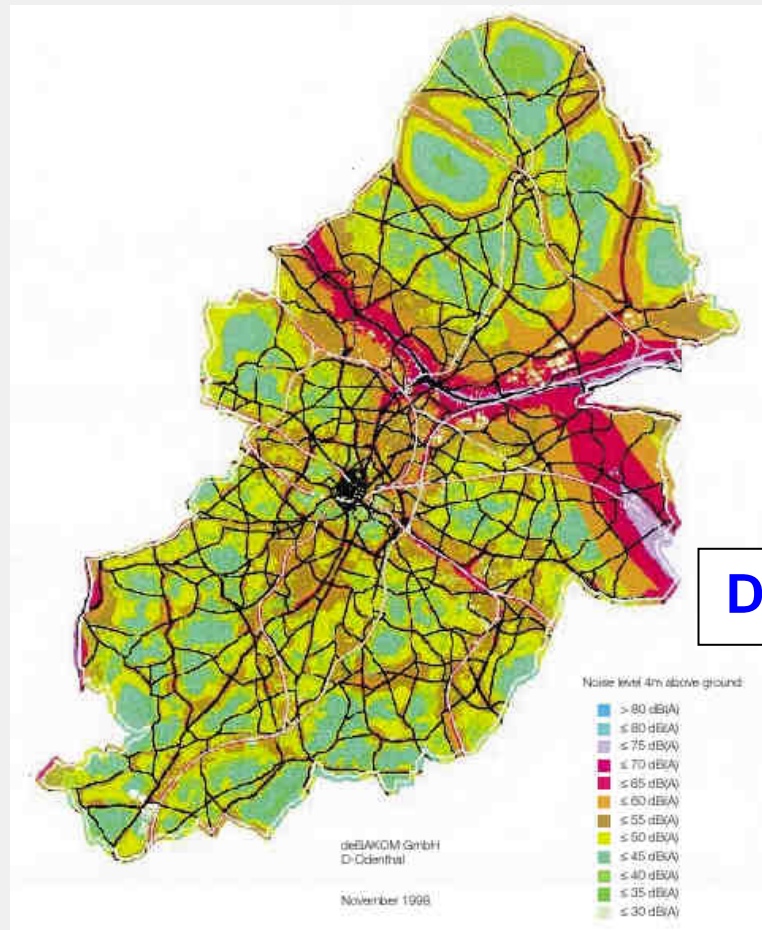
### 3. Métodos provisionales de medición de $L_{den}$ y $L_{night}$

Si un Estado miembro desea utilizar su propio método de medición oficial, este deberá adaptarse a las definiciones de los indicadores del anexo I y cumplir los principios aplicables a las mediciones medias a largo plazo expuestos en las normas ISO 1996-2: 1987 e ISO 1996-1: 1982.

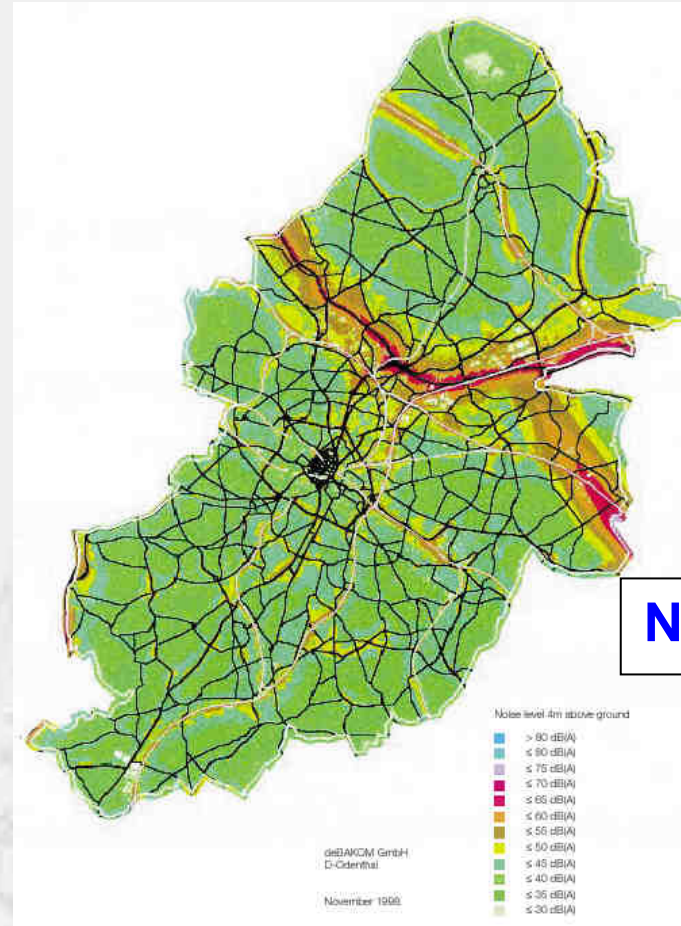
### RD desarrollo parcial Ley 37/03

Recomendación 2003/613/CE de 6 de Agosto de 2003, relativa a las **Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales** revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes. (DOCE, nº L212, de 22 de Agosto de 2003)

## Mapa Sonoro: Herramienta fundamental de *diagnóstico acústico*



**DIA**



**NOCHE**

**BIRMINGHAM (UK):** Efecto combinado de circulación por carretera, ferrocarril y avión

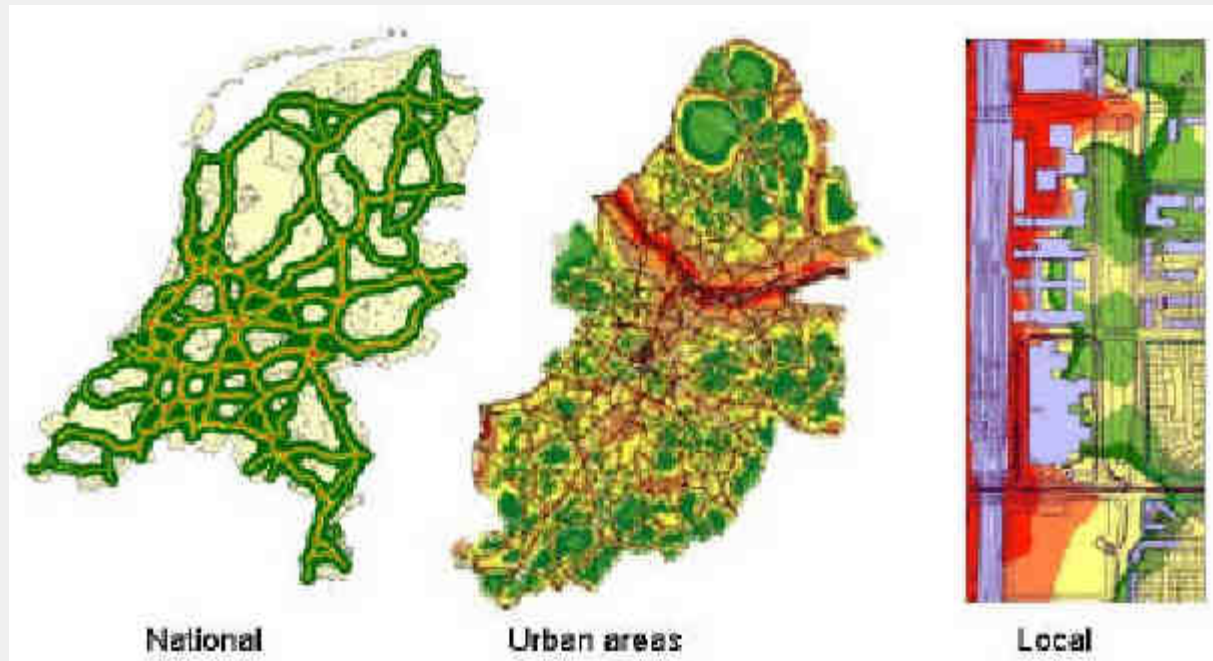
# CARTOGRAFIADO ESTRATÉGICO DEL RUIDO

---

Ley 37/2003 y RD 1513/2005 desarrollo parcial Ley 37/2003

**Un mapa de ruido es la presentación de datos relativos a alguno de los aspectos siguientes:**

- ⇒ Situación acústica **existente**, o **pronosticada** expresada en función de un índice de ruido
- ⇒ Con indicación del rebasamiento de cualquier límite pertinente vigente
- ⇒ Número estimado de viviendas expuestas a determinados valores de un índice de ruido en una zona específica
- ⇒ Número estimado de personas afectadas situadas en una zona expuesta al ruido
- ⇒ **Mapa estratégico de ruido:** un mapa diseñado para poder **evaluar globalmente** la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar **predicciones globales** para dicha zona.



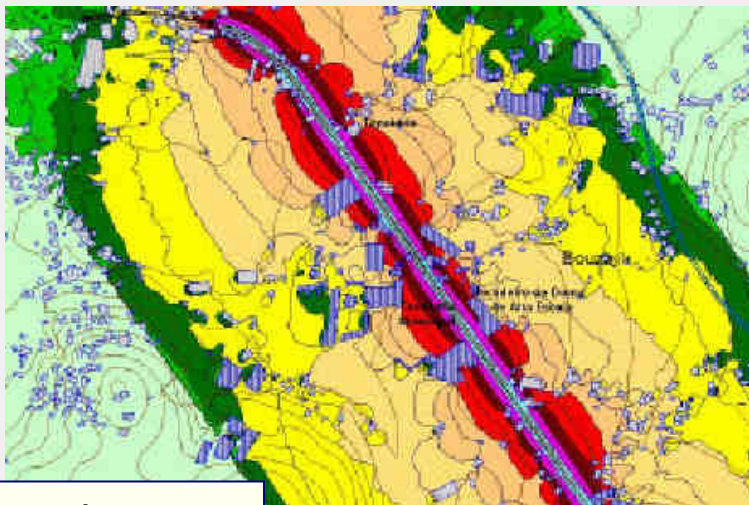
Ejemplos de Mapas Sonoros a diferentes escalas

### **Beneficios potenciales del desarrollo de un Mapa Sonoro:**

- ✚ Diagnóstico preciso de la situación acústica presente/futura de una zona
- ✚ Visión clara de las áreas más ruidosas y de las zonas más tranquilas
- ✚ Preservar áreas tranquilas y poco ruidosas
- ✚ Desarrollar estrategias para reducir el ruido
- ✚ Mejorar el desarrollo urbanístico y el crecimiento de las ciudades



## Mapas de ruido urbano



carreteras



ferrocarril

*Mapas de ruido como herramientas para el planeamiento de ciudades . AAC-Centro de Acústica Aplicada, S.L. (Álava)*  
**Forum Acusticum Sevilla 2002 – NOI 02 013** (Software empleado: SoundPLAN®)



### Artículo 7: *Elaboración de mapas estratégicos de ruido*

✚ **30 de junio de 2005** y después de cada 5 años: obligación de comunicar a la Comisión los grandes ejes viarios (+ 6 millones vehículos/año), ferroviarios (+ 60.000 trenes/año) , grandes aeropuertos y aglomeraciones de más de 250.000 habitantes presentes en el territorio del país.

✚ **30 de junio de 2007:** deben estar elaborados los mapas estratégicos de ruido de TODAS las aglomeraciones de más de 250.000 habitantes, grandes ejes viarios, grandes ejes ferroviarios y grandes aeropuertos según criterio anterior.



#### Artículo 3 (definiciones)

- **Gran eje viario:** cualquier carretera con un tráfico superior a 3 millones de vehículos por año
- **Gran eje ferroviario:** cualquier vía férrea con un tráfico superior a 30.000 trenes por año
- **Gran aeropuerto:** cualquier aeropuerto civil con más de 50.000 movimientos por año (despegues y aterrizajes, excluyendo los de formación)



- ✚ **31 de diciembre de 2008:** obligación de comunicar a la Comisión TODAS las aglomeraciones y grandes ejes viarios y ferroviarios presentes en el territorio.
- ✚ **30 de junio de 2012** y después de cada 5 años: **obligación de elaborar mapas estratégicos de ruido de TODAS las aglomeraciones urbanas, grandes ejes viarios y ferroviarios del territorio (según criterio definición).**

Los mapas estratégicos de ruido se revisarán, y en caso necesario se modificarán, al menos **cada 5 años** a partir de la fecha de su elaboración

### Artículo 8: *Planes de acción*

- ✚ **18 de julio de 2008:** deben estar elaborados los planes de acción encaminados a afrontar las cuestiones relativas al ruido y a sus efectos, incluyendo la protección de zonas tranquilas contra el aumento del ruido, con respecto a grandes ejes viarios (+ 6 millones vehículos/año), ferroviarios (+ 60.000 trenes/año) , grandes aeropuertos y aglomeraciones de más de 250.000 habitantes.
- ✚ **18 de julio de 2013:** deben estar elaborados los planes de acción de todas las aglomeraciones, grandes ejes viarios y grandes ejes ferroviarios.



- **Calidad acústica.**

Áreas acústicas, Objetivos de calidad, Índices acústicos, Métodos de evaluación, Mapas de ruido.

- **Emisores acústicos.**

Valores límite de emisión e inmisión.

- **Prevención de la contaminación acústica.**

Planificación territorial y urbana, Edificaciones, Instalación de emisores.

- **Ordenación de actividades catalogadas.**

Autorizaciones (IPPC), Evaluación incidencia acústica, Licencias.

- **Corrección de la contaminación acústica.**

Zonas de especial protección, Planes de acción.

- **Inspección, responsabilidad y régimen sancionador.**

Inspección y vigilancia, Infracciones y Sanciones.

### LEY DEL RUIDO

#### CALIDAD ACÚSTICA

- Zonificación acústica
- Zonas de servidumbre acústica
- Objetivos de calidad acústica
- Mapas de ruido

**REAL DECRETO 1513/2005**, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

**REAL DECRETO 1367/2007**, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

**Desarrollo  
Reglamentario  
completado el  
23.10.2007.**

### LEY DEL RUIDO

#### ZONIFICACIÓN - AREAS ACÚSTICAS

➤ AMBIENTE EXTERIOR *(al menos las siguientes)*

1. Suelo con predominio de uso residencial
2. Predominio de uso industrial
3. Predominio de uso recreativo y espectáculos
4. Predominio de uso terciario
5. Predominio de uso sanitario, docente y cultural
6. Sectores afectados a sistemas de transportes
7. Espacios naturales que requieran especial protección.

➤ AMBIENTE INTERIOR

Espacio interior de edificios de viviendas, usos hospitalarios y educativos o culturales.

*(Quedan excluidas del ámbito de aplicación de la Ley las actividades domésticas o los comportamientos de los vecinos, cuando la contaminación acústica producida por aquéllos se mantenga dentro de límites tolerables de conformidad con las ordenanzas municipales y los usos locales)*

### LEY DEL RUIDO

#### EMISORES ACÚSTICOS - VALORES LIMITE

- Infraestructuras y medios de transporte.
- Maquinaria y equipos.
- Obras de construcción de edificios, y de ingeniería civil.
- Actividades o instalaciones industriales.
- Actividades o instalaciones comerciales.
- Actividades o instalaciones deportivo-recreativas y de ocio.
- Otras actividades o comportamientos.
- Infraestructuras portuarias



### ***I. Áreas de silencio***

Zonas de alta sensibilidad acústica que requieren especial protección contra el ruido. Uso sanitario, docente, cultural, y espacios naturales protegidos.

### ***II. Áreas levemente ruidosas***

Zonas de considerable sensibilidad acústica, que requieren una protección alta contra el ruido. Zonas residenciales, espacios recreativos y zonas verdes.

### ***III. Áreas tolerablemente ruidosas***

Zonas de moderada sensibilidad acústica, que requieren protección media. Zonas de hospedaje, de oficinas, comerciales, deportivas y de uso recreativo.

### ***IV. Áreas ruidosas***

Zonas de baja sensibilidad acústica, que requieren una menor protección contra el ruido. Zonas para uso industrial, portuarios y de servicios públicos.

### ***V. Áreas especialmente ruidosas***

Son zonas de nula sensibilidad acústica. Corresponden a zonas afectadas por servidumbres sonoras a favor de infraestructuras de transporte: autopistas, rondas de circunvalación, ejes ferroviarios, aeropuertos y áreas de libre.

**Será revisado  
en virtud de la  
Ley GICA  
(7/2007)**



Niveles Límite de ruido ambiental en fachadas de edificaciones ( dBA )		
Área de sensibilidad acústica	Día ( 7 – 23 )	Noche ( 23 – 7 )
	L <sub>A</sub> eq día	L <sub>A</sub> eq noche
<b>Tipo I</b> ( área de silencio )	55	40
<b>Tipo II</b> ( área levemente ruidosa )	55	45
<b>Tipo III</b> ( área tolerablemente ruidosa )	65	55
<b>Tipo IV</b> ( área ruidosa )	70	60
<b>Tipo V</b> ( área especialmente ruidosa )	75	65



Aislamiento acústico general nunca inferior a 45 dBA

Si el nivel de ruido interior es superior a 70 dBA

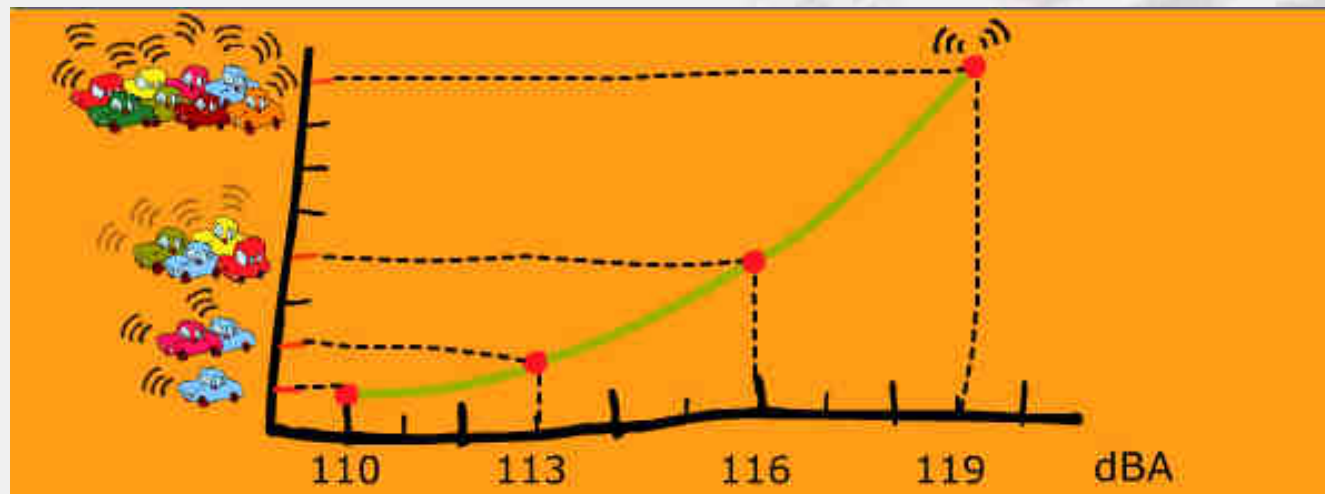
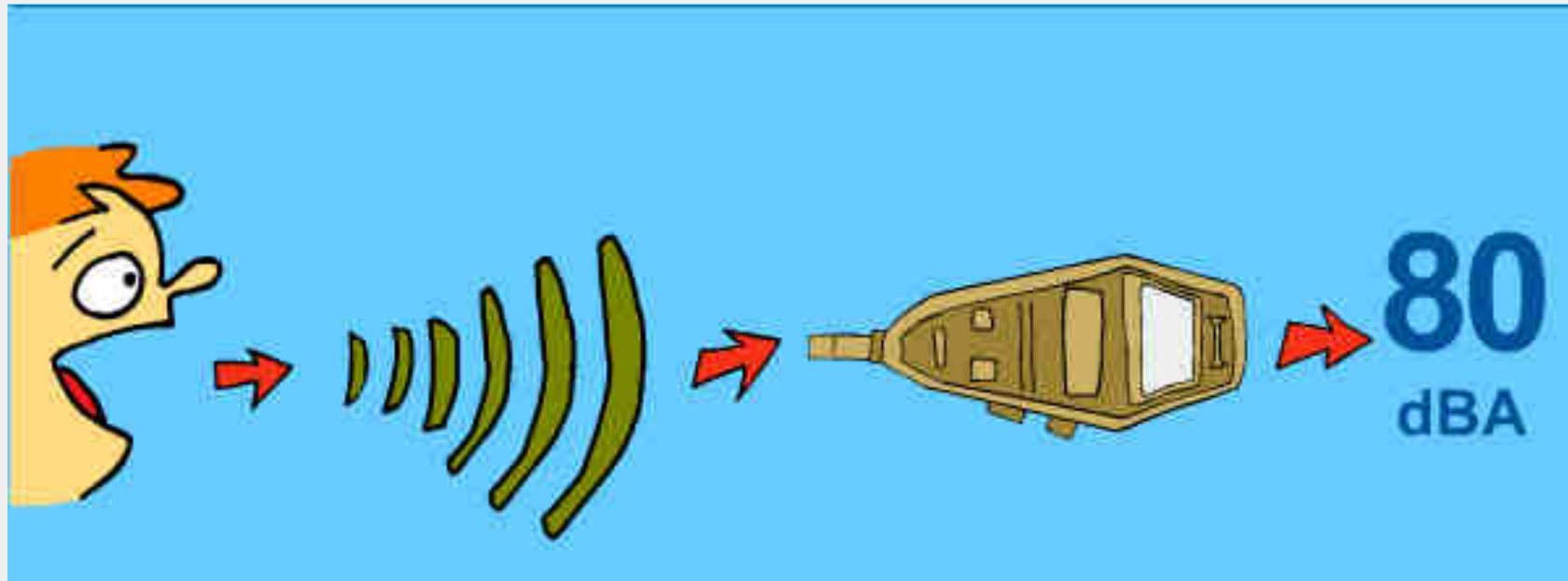
- Hasta 90 dBA → **60 dBA**
- Más de 90 dBA → **65 dBA**

Establecimientos con actuaciones y conciertos con música en directo: **75 dBA**

En establecimientos de espectáculos públicos y de actividades recreativas, no se permitirá alcanzar en el interior de las zonas destinadas al público niveles de presión sonora superiores a 90 dBA, salvo que en los accesos a dichos espacios se dé la adecuada publicidad a la siguiente advertencia, perfectamente visible por dimensión e iluminación:

***“Los niveles sonoros producidos en esta actividad pueden producir lesiones permanentes en la función auditiva”***

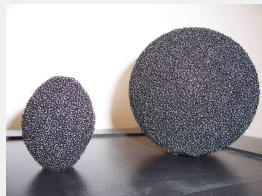
# La valoración del ruido



# La valoración del ruido

## ¿Cómo se hacen las medidas de ruido?

- ➡ **Calibración** antes y después de la medida
- ➡ A **4 metros** de altura desde el nivel del suelo
- ➡ A más de **1,5 metros de cualquier fachada** o elemento reflectante
- ➡ Medidas de cómo **mínimo de 120 horas** en continuo, si es posible un año completo
- ➡ Micrófonos dotados de **protección antiviento**



# La valoración del ruido



# La valoración del ruido



# La valoración del ruido



# La valoración del ruido



Distanciómetro  
láser



Cinta métrica de 50 m

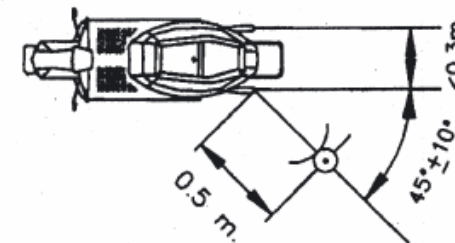
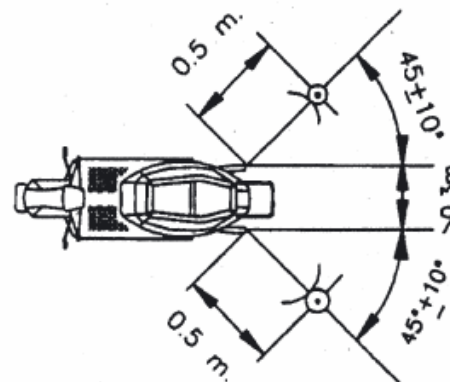
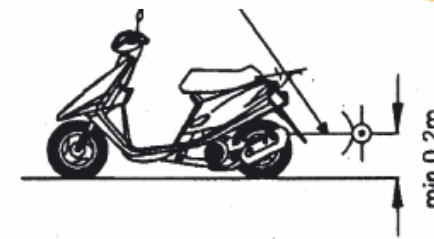
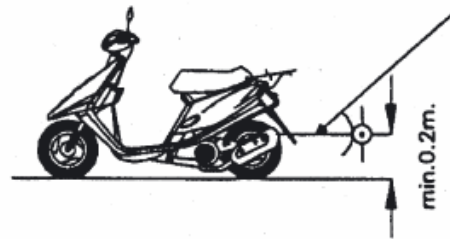
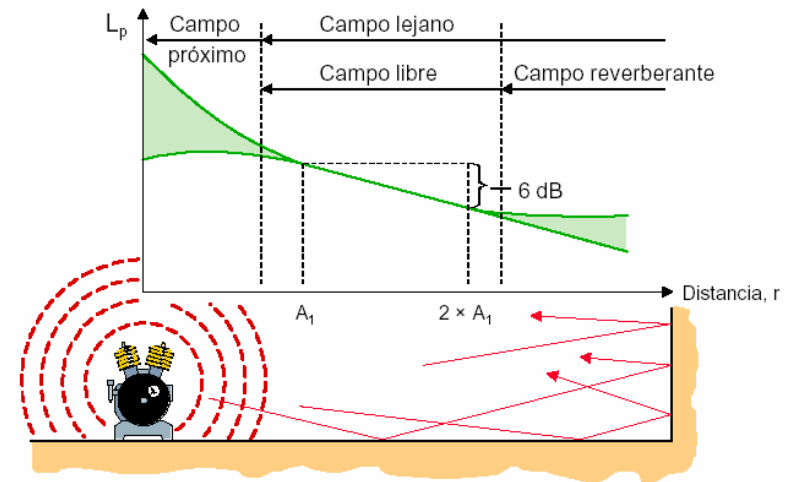
Cinta métrica de 3 m



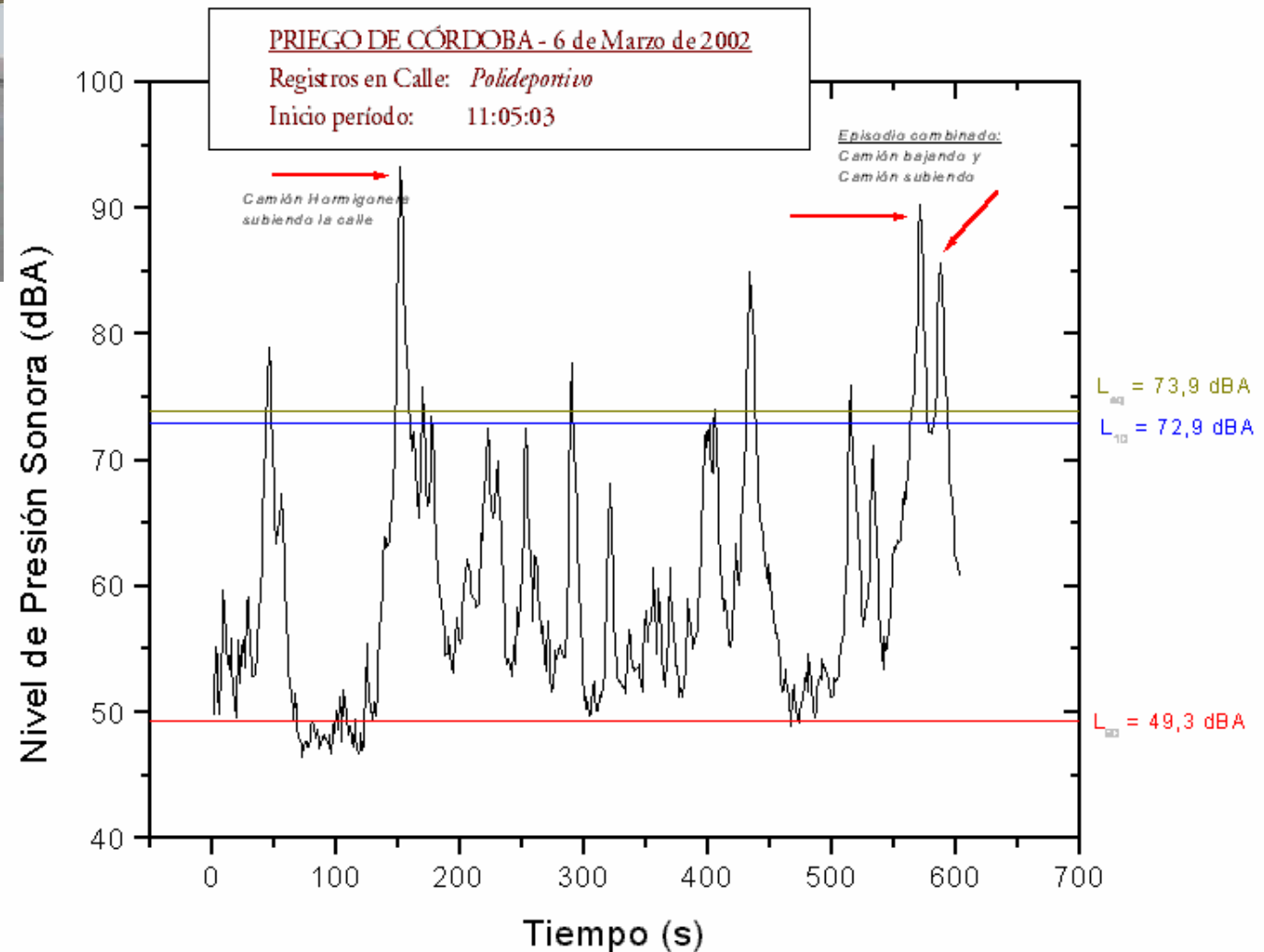
# La valoración del ruido



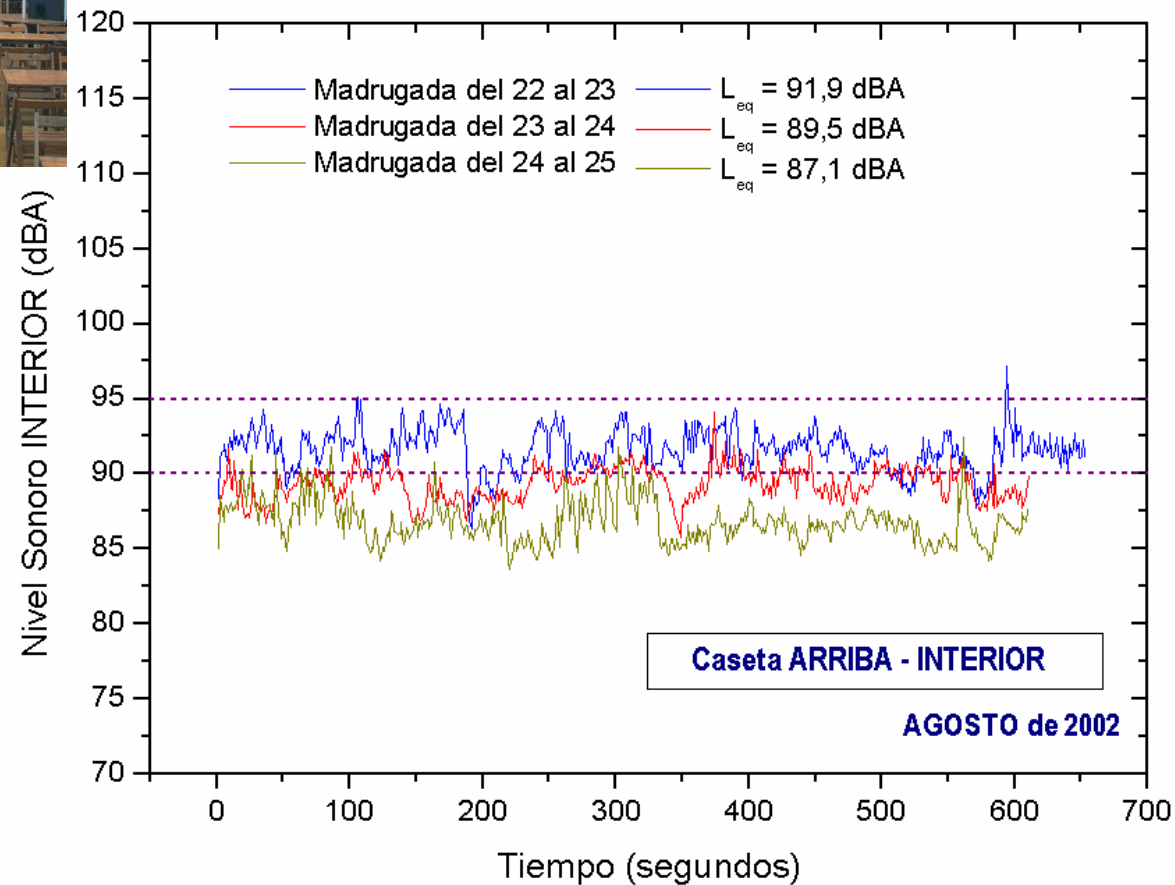
# La valoración del ruido



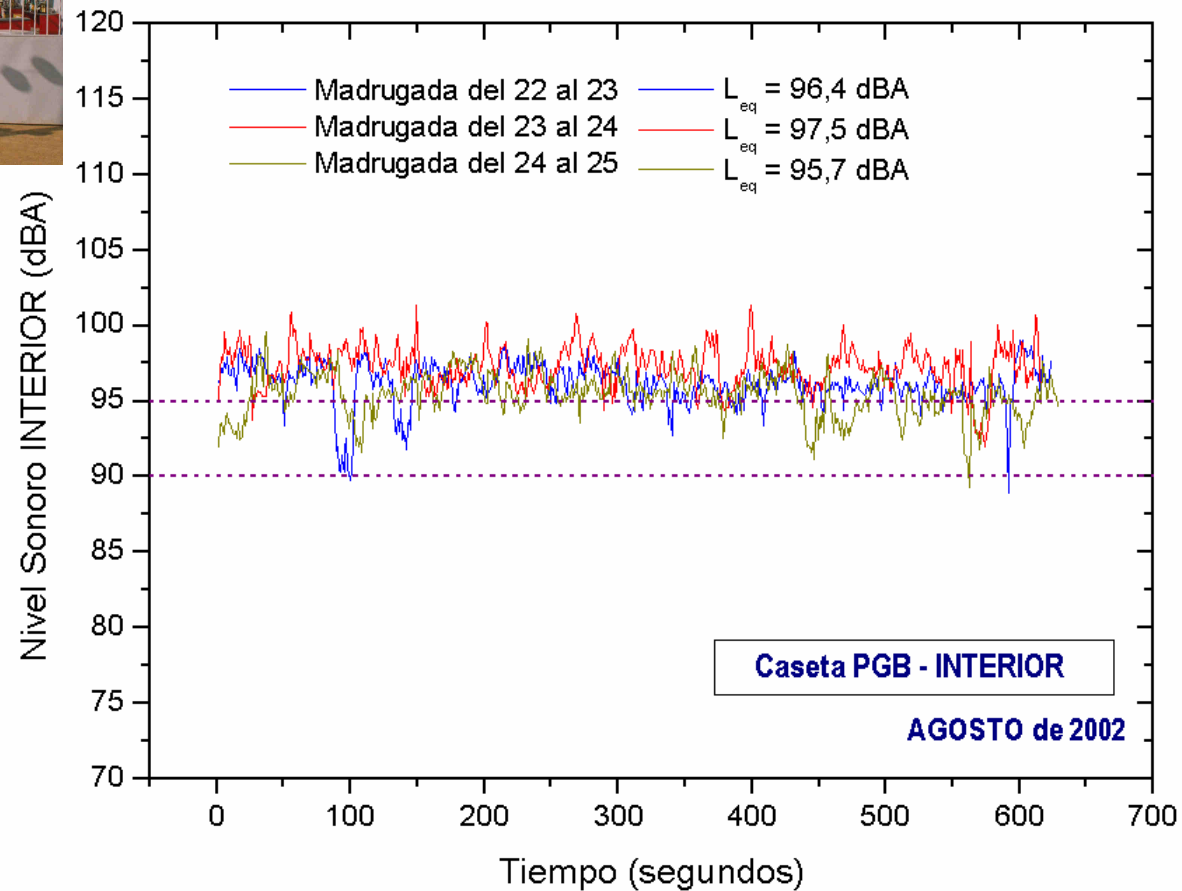
# La valoración del ruido



# La valoración del ruido



# La valoración del ruido



# La gestión del ruido en las ciudades

## Definición

**La gestión del ruido ambiental** es un proceso que está orientado a resolver, disminuir y/o prevenir los problemas derivados del ruido ambiental, con el propósito de lograr un desarrollo sostenible, es decir, utilizar de forma racional los recursos naturales de un lugar y que las generaciones futuras puedan hacer uso de ellos igual que hemos hecho nosotros.

## Elementos



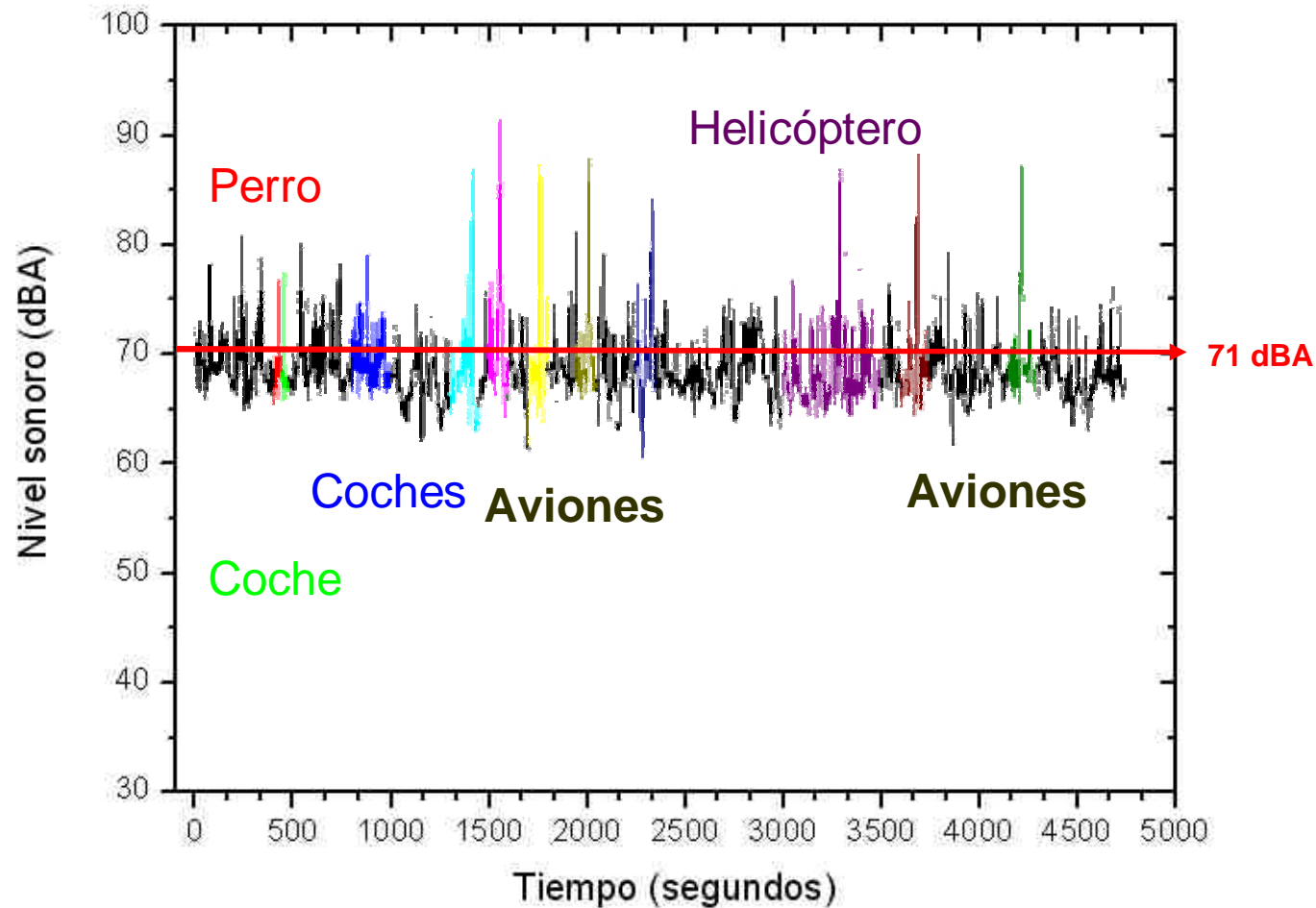
PREVENCIÓN

LEGISLACIÓN

CONTROL

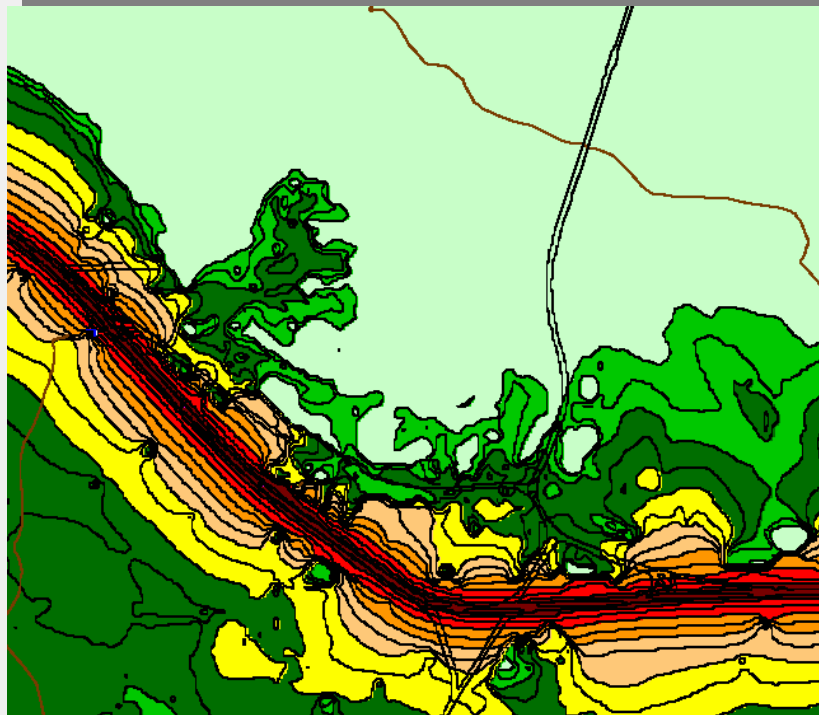


# La gestión del ruido en las ciudades

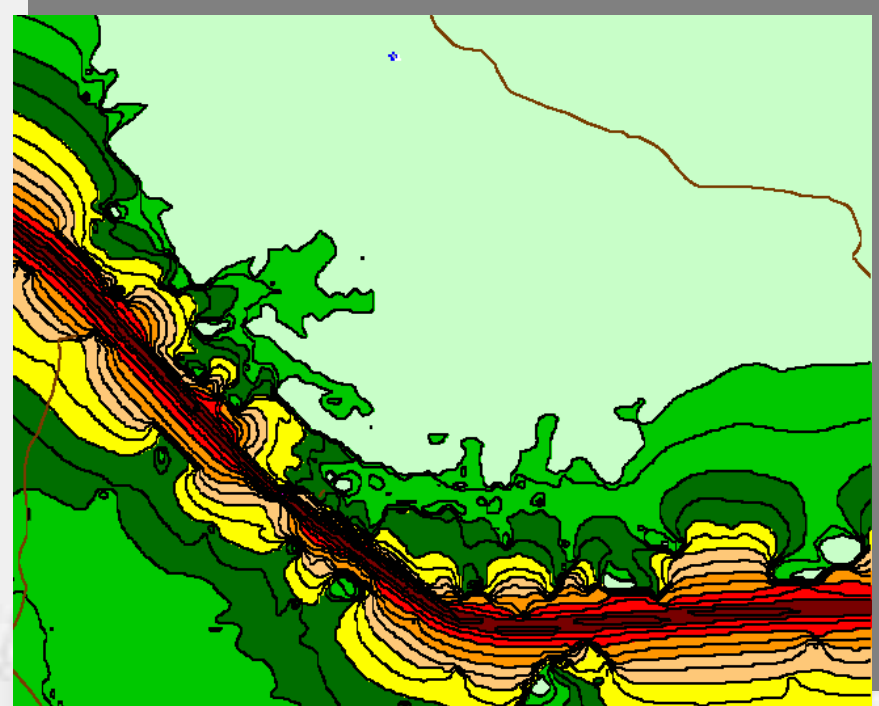


**Ruido combinado carretera + sobrevuelo aviones**

# La gestión del ruido en las ciudades



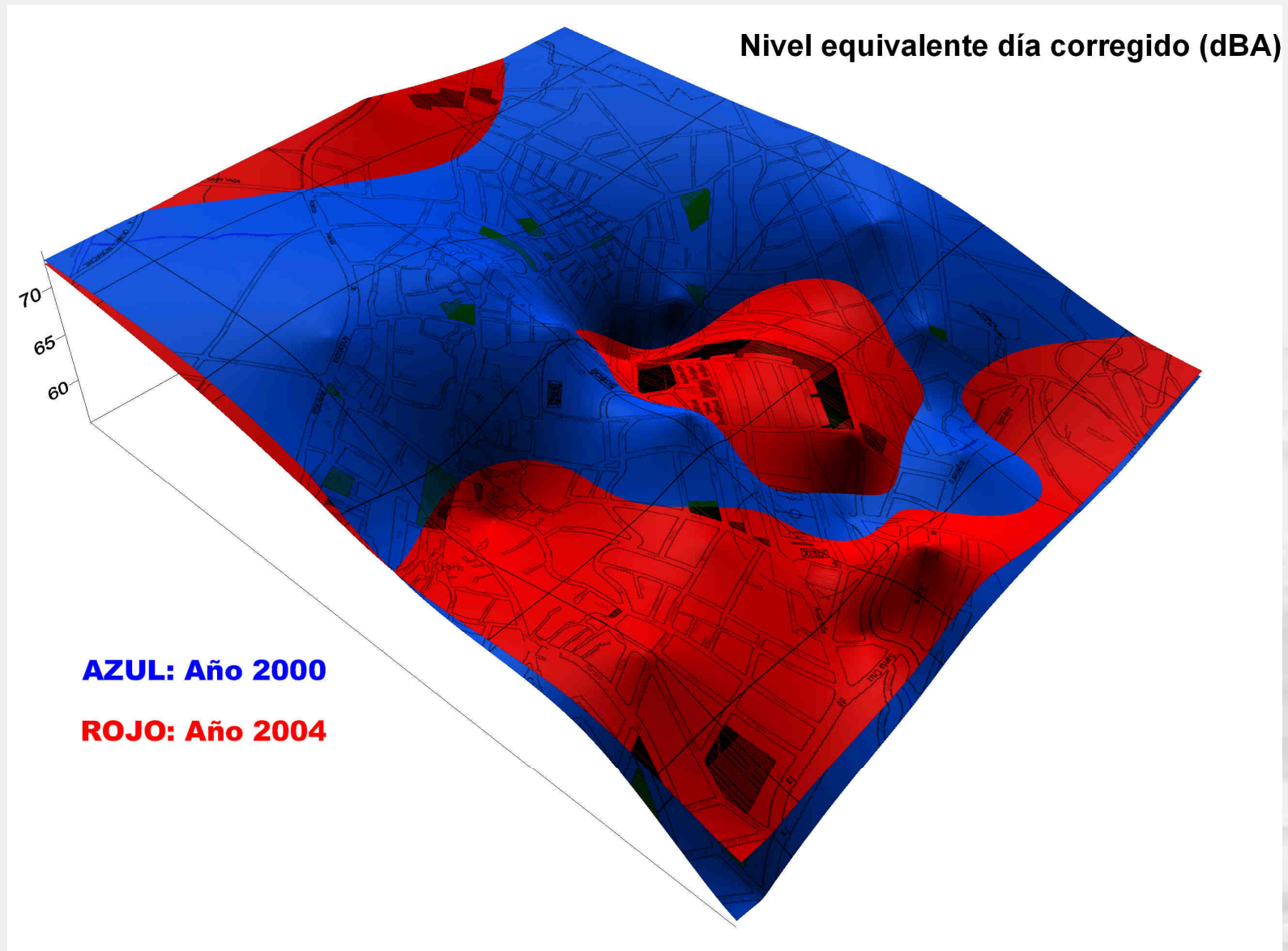
Mapa de ruido **SIN** pantallas

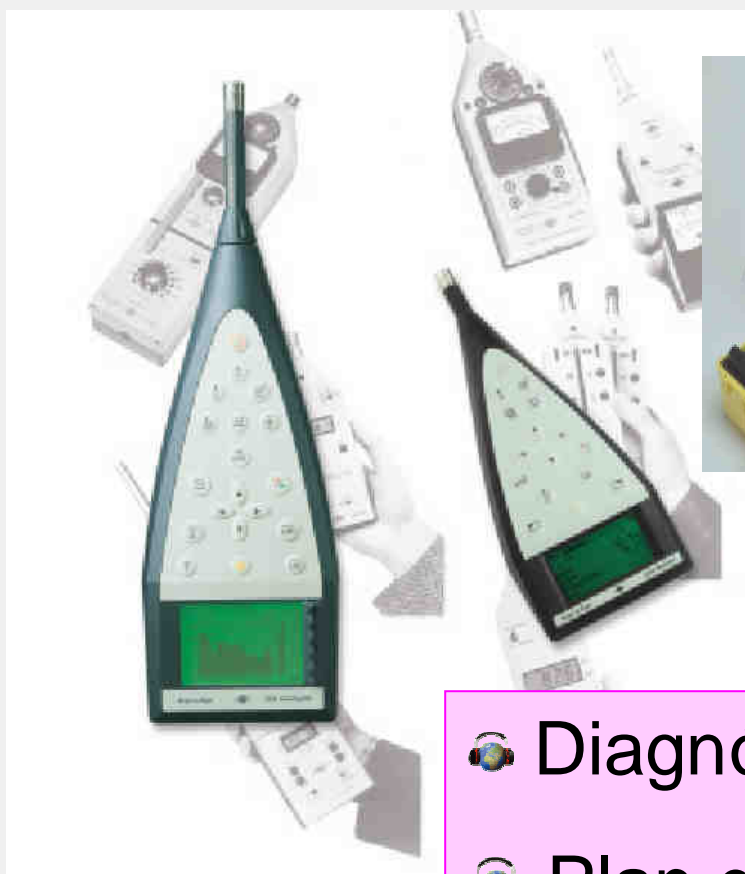


Mapa de ruido **CON** pantallas

*Diagnóstico inicial para definir un plan de actuación para grandes áreas. AAC-Centro de Acústica Aplicada, S.L. (Álava)*  
**Forum Acusticum Sevilla 2002 – NOI 02 012** (Software empleado: SoundPLAN®)
















# La gestión del ruido en las ciudades



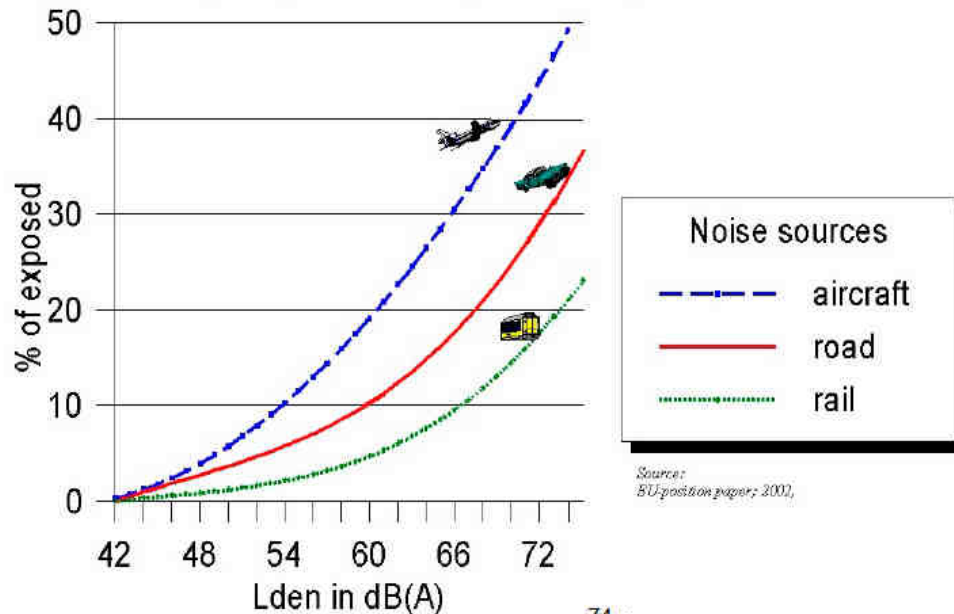


- 🌐 Diagnóstico (mapa sonoro)
- 🌐 Plan de Acción
- 🌐 Seguimiento (mapas dinámicos)
- 🌐 Estudios especiales (ZAS)

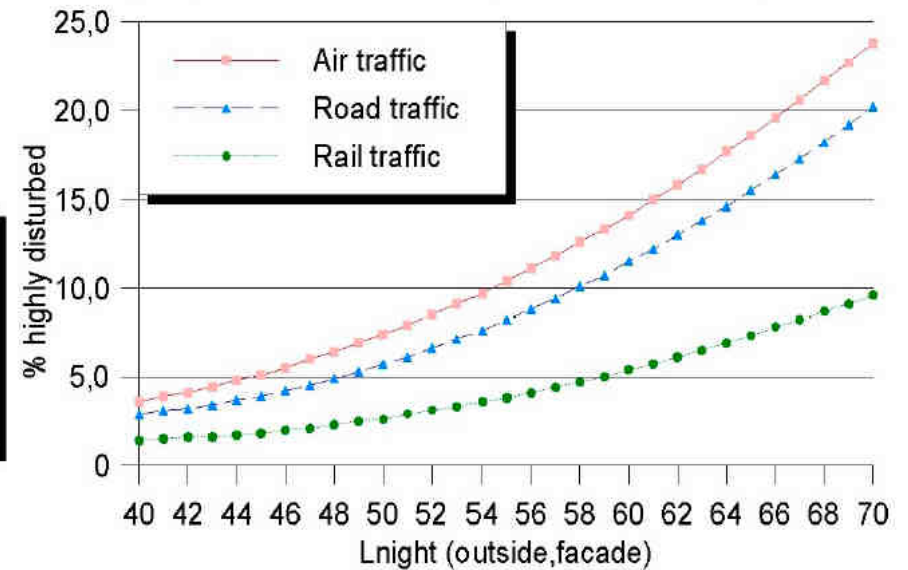
# Retos para el futuro (inmediato)

	Industry	Road traffic	Railway	Aircraft
Grossbritannien 	ISO 9613, BS 5228	CRTN	CRN	ECAC DOC 29
Irland 	ISO 9613, BS 5228	CRTN	CRN	ECAC DOC 29
Frankreich 	ISO 9613	NMPB/XPS 31-133	NMPB/XPS 31-133	Indice psophique
Niederlande 	Handleiding meten en rekenen Industrielawaai	RMV (SRM II)	RMR (SRM II)	ECAC DOC 29
Luxemburg 	VDI 2714/2720 (ISO 9613)	RLS 90	Schall03	ECAC DOC 29
Belgien 	ISO 9613	NMPB/XPS 31-133	RMR (SRM II)	ECAC DOC 29
Italien 	ISO 9613	NMPB/XPS 31-133	RMR (SRM II)	ECAC DOC 29
Spanien 	ISO 9613	NMPB/XPS 31-133	RMR (SRM II)	ECAC DOC 29
Portugal 	ISO 9613	NMPB/XPS 31-133	RMR (SRM II)	ECAC DOC 29
Griechenland 	ISO 9613	NMPB/XPS 31-133	RMR (SRM II)	ECAC DOC 29
Deutschland 	ISO 9613 (VDI 2714/2720)	RLS 90	Schall03	AzB
Österreich 	ÖAL 28	RVS 3.02	ÖNORM S 5011	ÖAL 24
Schweiz 	ISO 9613	StL-86	SEMIBEL	FLULA
Skandinavien 	General prediction method (NORDFORSK 32)	Nordic Prediction Method Road Traffic Noise (TEMANORD 525)	Nordic Prediction Method Railway Traffic Noise (TEMANORD 524)	verschiedene nationale Richtlinien

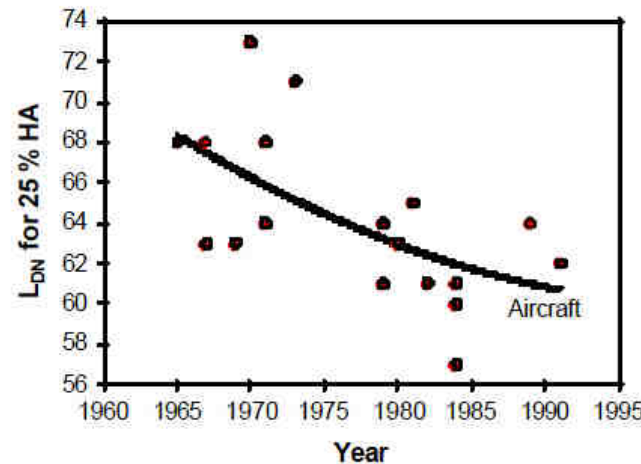
## Highly annoyed by noise



## Highly disturbed by noise at night

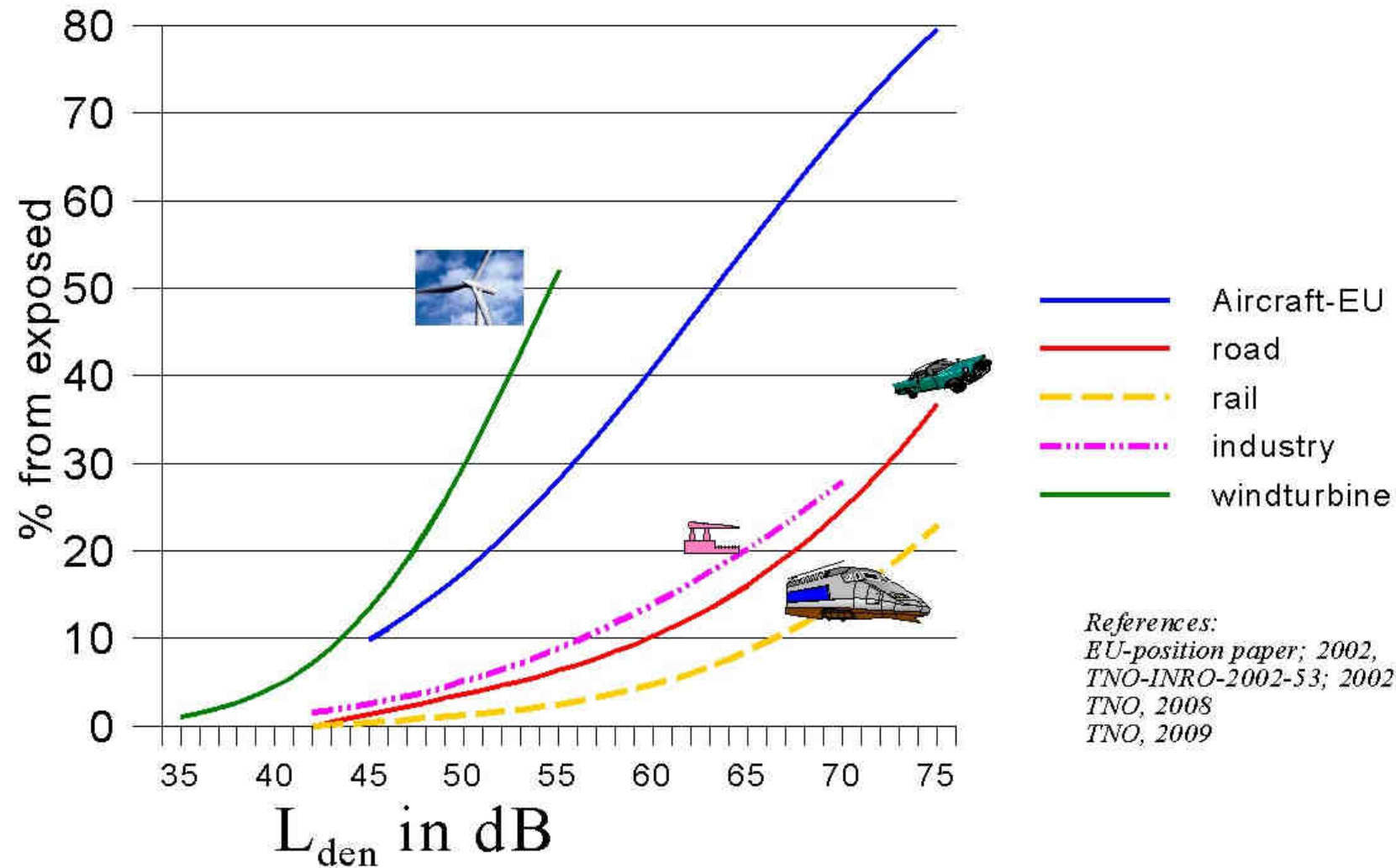


WG-HSEA 2004



Retos para el  
FUTURO (R&D)

# Highly annoyed by noise



☒ ¿Quiere la mayoría de la población una política sostenible (\$)?

*(Informe Defensor del pueblo: papel excesivo asignado a los ayuntamientos en el control administrativo de la contaminación acústica)*

☒ ¿Es adecuada la penalización de 5 dB durante la tarde?

☒ ¿Cuál es la relación dosis-efecto para el sobrevuelo de aviones hoy?

☒ ¿Cómo puede predecirse el efecto de una situación cambiante?

☒ ¿Qué efecto tiene la declaración de zonas silenciosas y períodos silenciosos?

☒ ¿Cómo se puede predecir la molestia bajo situaciones de múltiples fuentes?

☒ ¿Cuál es el beneficio de los diferentes procedimientos de control y minimización del ruido para los residentes?

☒ 25 €/año, dB y residencia. ¿valoración adecuada del coste del ruido?