

## UT04. Psicoacústica (II). Percepción de la frecuencia y el tiempo

---

## UT04. Psicoacústica (II). Percepción de la frecuencia y el tiempo

---



**Materiales formativos de FP en línea, propiedad del Ministerio de Educación y Formación Profesional**

[Aviso legal](#)

# 1. Percepción de la frecuencia

---

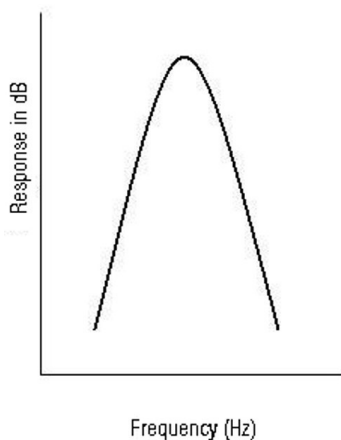
Se verá, en este apartado, cómo es posible perder la audición en algunas frecuencias y no en otras, y con qué consecuencias.

## 1.1 Filtros auditivos

---

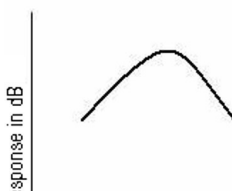
Se han realizado medidas de la percepción de la sonoridad utilizando ruidos de [banda estrecha](#), de forma que, en cada presentación, la energía total del ruido fuera la misma pero cambiando el rango de frecuencias. Cuando el ancho de banda del ruido utilizado era menor que un cierto valor, no se producía un aumento de la sonoridad percibida, pero cuando el ancho de banda superaba este valor, entonces se producían aumentos de la sonoridad percibida.

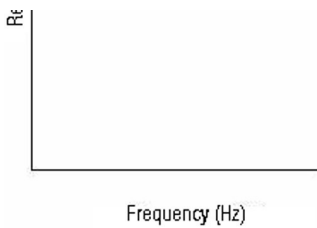
Este hecho trató de explicarlo [Harvey Fletcher](#) en 1940 proponiendo que la membrana basilar consistía en una sucesión de filtros paso bajo solapados. A estos filtros se les conoce como [filtros auditivos](#).



Cuando el ancho de banda del ruido es menor que un tercio de octava las presentaciones se perciben con la misma sonoridad ya que solamente se excita un filtro auditivo. Sin embargo, cuando el ancho de banda del ruido es mayor que un tercio de octava se excita más de un filtro auditivo, y, por lo tanto, el número de neuronas enviando señales al cerebro es mayor, lo que da lugar a un incremento de la sonoridad.

Comparar los filtros auditivos de normoyentes y de hipoacúsicos es difícil. La dificultad de esta comparación reside en que, en las personas hipoacúsicas, los filtros auditivos aparecen como más anchos y con un nivel de respuesta superior.





Cuando se aumenta la intensidad de una presentación la parte de membrana basilar centrada en la frecuencia que se va a ver afectada se va a incrementar, esto hace que en estas personas no podamos decir si este aumento se debe a una modificación en la selectividad de las frecuencias en la membrana basilar, producida por la hipoacusia, o al aumento de la intensidad del sonido para que puedan detectarlo.

Otro fenómeno que dificulta esta comparación, es el fenómeno de «escucha fuera de la frecuencia». En las presentaciones de suficientemente baja intensidad como para presumir que se ve afectado un único filtro auditivo, se observa que el que responde con mayor intensidad no es aquel en el que se encuentra centrada la frecuencia del sonido de prueba.

Las personas hipoacúsicas no pueden detectar las intensidades bajas del sonido, y, además, tienen una pérdida en la [resolución frecuencial](#) lo que implica que, también se pierden las características finas del espectro de sonido, y esto da lugar a una pérdida en la inteligibilidad del habla.

La pérdida de la inteligibilidad del habla junto con el aumento del umbral absoluto de audición son dos fenómenos que permiten comprender por qué las personas hipoacúsicas tienen dificultades para comprender el habla.

## Autoevaluación

**El aumento del umbral absoluto de audición en las personas con hipoacusia va acompañado de:**

- Un aumento de la resolución frecuencial.
- Una disminución de la resolución frecuencial.
- El mantenimiento de la resolución frecuencial.
- El aumento del nivel de presión sonora necesario para poder oír.

Incorrecto. Esto no es lo que le ocurre a una persona con hipoacusia.

Correcto.

No es correcto. Vuelva a leer el apartado.

Respuesta incorrecta. Esto es lo que ocurre cuando se produce un aumento del umbral absoluto de audición.

Solución

1. Incorrecto
2. Opción correcta
3. Incorrecto
4. Incorrecto

## 1.2 Discriminación frecuencial

---

La [discriminación frecuencial](#) es la capacidad del sistema auditivo de percibir los cambios en el contenido frecuencial de dos sonidos que se presentan consecutivamente.

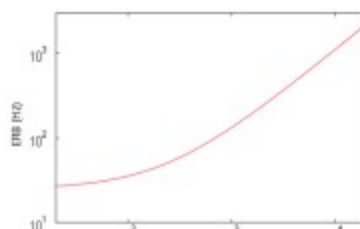
Fletcher midió el umbral de audición en ausencia y en presencia de máscaras auditivas. Como máscara utilizó ruidos cuya banda era cada vez más amplia. Y observó que, a medida que aumentaba el ancho de banda del ruido enmascarante, el umbral de audición también aumentaba. Pero hasta un cierto valor. A partir de este valor, el umbral de enmascaramiento dejaba de aumentar y se mantenía constante, aunque el ancho de banda del ruido enmascarante no dejaba de aumentar. A la anchura, a partir de la cual no se observa aumento del umbral de enmascaramiento, se la denomina «[banda crítica](#)».

La banda crítica es el valor que representa la máxima resolución frecuencial del sistema auditivo. Con ruidos centrados en diferentes frecuencias a lo largo de todo el espectro sonoro, Fletcher pudo comprobar que el ancho de banda crítico es función de la frecuencia. Por debajo de 500 Hz, el ancho de banda crítico es casi constante y tiene un valor de unos 100 Hz. Por encima de 500 Hz, el ancho de banda tiene un valor aproximado al 20 % de la frecuencia central del ruido utilizado como máscara.

Estas bandas críticas permiten dividir el espectro de frecuencias audibles en intervalos sucesivos y no solapados, de una banda crítica de ancho. Estas bandas críticas representan los límites dentro de los cuales dos ondas de diferente frecuencia se perciben como una sola.

Al número de bandas críticas acumuladas hasta una frecuencia cualquiera, se conoce como tasa de bandas críticas. Esta tasa se mide en [bark](#) (en honor de Heinrich Georg Barkhausen), que se define como el intervalo de una banda crítica de ancho en cualquier punto del espectro audible.

Cada uno de estos intervalos coincide con distancias equivalentes a lo largo de la membrana basilar, y que corresponden con 1,3 milímetros. En esta distancia, a lo largo de toda la membrana se encuentra el mismo número de células ciliadas, tanto externas, como internas, y de fibras del nervio acústico.



10<sup>3</sup>      10<sup>4</sup>      10<sup>5</sup>  
Frequency (Hz)

## Reflexiona

¿Qué significa que cada bark contiene el mismo número de células ciliadas y fibras nerviosas en cualquier parte de la membrana basilar?

## Para saber más

El concepto de banda crítica es muy importante en psicoacústica. Lee más cosas acerca de las bandas críticas.

[Banda crítica](#)

## 1.3 Resolución frecuencial

---

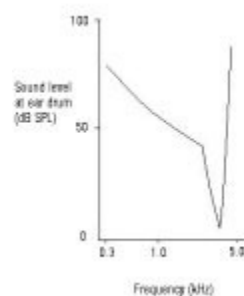
Denominamos resolución frecuencial, o selectividad frecuencial, a la capacidad del sistema auditivo para percibir por separado las frecuencia que componen un sonido complejo, como puede ser el habla o la música.

La resolución frecuencial empieza en la cóclea, ya que la membrana basilar actúa como un [filtro paso bajo](#). Cada componente de la onda excitará una zona determinada de la cóclea con una intensidad diferente, y esa información será enviada hacia el cerebro. En definitiva, la cóclea está haciendo un análisis de Fourier del sonido. Así, las frecuencias más altas excitarán zonas de la membrana basilar que se encuentren en las cercanías de la ventana redonda, en la base de la membrana. Mientras que las frecuencias más bajas excitarán harán vibrar zonas de la membrana basilar en la zona del [ápex](#).

De esta forma, cada componente frecuencial de la onda compleja es analizado por diferentes fibras del nervio auditivo. Siempre y cuando las frecuencias exciten filtros auditivos diferentes, como hemos visto en el apartado anterior.

El [ancho de banda](#) de los filtros auditivos de baja frecuencia depende de la frecuencia central del filtro, y este ancho aumenta cuando aumenta la frecuencia central del filtro y suele tener un valor de entre un 10 % y un 12 % de la frecuencia central del filtro.

Cuando las células ciliadas, tanto las externas como las internas, están sanas, se observa una curva de sintonía como la de la figura. Si se produce un daño en las células ciliadas externas se produce un aumento del umbral, reduciendo la sintonización de la fibra, aumentando el ancho se reduce la frecuencia característica de esa fibra.



Si se produce un daño parcial en las células ciliadas internas se produce un aumento del umbral de



audibilidad pero no se reduce el grado de sintonización de la fibra nerviosa.

## Para saber más

Aquí encontrarás un vídeo sobre las células ciliadas, su función y el daño que se produce en ellas a lo largo de la vida.

[Las células ciliadas](#)

## Autoevaluación

### **Dañar las células ciliadas externas produce:**

- Un aumento de la frecuencia característica de la fibra nerviosa.
- Una reducción del umbral de audición.
- No tiene importancia, para la percepción del sonido las importantes son las internas.
- Una reducción de la frecuencia característica de la fibra nerviosa.

Incorrecto. Relea el párrafo.

No es correcto. Este tipo de efecto no se produce al dañar las CCE.

No es la respuesta correcta. Las CCE tienen algo que ver en la percepción, por lo tanto, algo debería pasar, vuelva a leer el apartado.

Correcto. Esto es lo que ocurre cuando se dañan las células ciliadas externas.

Solución

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Incorrecto
4. Opción correcta

## 1.4 Teorías de la percepción del tono

---

A finales del XIX, se consideraba al oído como una simple estación en la que se transformaba la energía acústica de las ondas sonoras en energía eléctrica, que pudiera ser transportada, por las fibras del nervio auditivo, hasta el cerebro.

Así [William Rutherford](#) consideraba que cada frecuencia era transportada por una fibra nerviosa. El hecho de considerar la transmisión de información de esta manera dio lugar a que a esta teoría se la conociese como teoría del teléfono. Posteriormente, se descubrió que los nervios no eran capaces de responder a la suficiente velocidad a frecuencias superiores a 15 000 Hz. Lo que dio lugar al abandono de esta teoría.

[Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz](#) consideraba que las fibras constituyentes de la membrana basilar funcionaban como una cuerda tensa y resonaban a una determinada frecuencia. De forma que el sonido externo las hacía resonar cada una a la suya. Sin embargo, las dimensiones de la membrana basilar en la zona del ápex no justificaba la resonancia a las frecuencias de esta zona.



En la década de los 40 del siglo XX, [Georg von Békésy](#) comprobó en la cóclea muerta que lo que vibraba en respuesta al sonido era la membrana basilar entera, y que se comportaba como un filtro selectivo de frecuencias. La membrana basilar vibraba, y el máximo de esta vibración se localizaba en una posición diferente según la frecuencia del sonido incidente. Se comprobó que la membrana basilar se comportaba como un filtro.

Las hipoacusias originadas por lesiones de la membrana basilar han permitido relacionar la frecuencia del sonido que se dejaba de percibir con la zona dañada. La membrana basilar tiene una distribución tonotópica desde la base, donde se perciben las frecuencias altas, hasta el helicotrema donde se perciben

las frecuencias bajas.

## Para saber más

Observa la distribución tonotópica de la cóclea.

[Tonotopía coclear](#)

## Autoevaluación

### Según la teoría del teléfono:

- Cada fibra nerviosa puede enviar varias frecuencias al cerebro.
- Cada frecuencia excita varias fibras nerviosas.
- La membrana basilar se excita de la misma manera tanto si el sonido es grave como agudo.
- Cada frecuencia es enviada al cerebro por una fibra nerviosa diferente.

Incorrecto. Esto es consecuencia de la compresión coclear y no tiene cabida en la teoría del teléfono.

No es correcto. No es esto lo que postula la teoría del teléfono.

Respuesta incorrecta. La membrana basilar se comporta como un filtro selectivo de frecuencias.

Correcto. Esta era la hipótesis de William Rutherford.

## Solución

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Incorrecto
4. Opción correcta

## 2. Percepción del tiempo

---

Cuando el oído percibe un ruido o un sonido, moviendo la cabeza se puede localizar el origen del mismo.

Pero hay ocasiones en que por más que se mueva la cabeza no es posible localizar la fuente del sonido, por ejemplo, la planta desde la que nos llaman, un grillo que canta en mitad de la noche...

¿Cómo puede el oído detectar la posición de origen de los sonidos?, ¿por qué no se puede dar caza al grillo?, ¿por qué desconocemos a qué botón del ascensor hay que pulsar?

La razón está en el desarrollo de este apartado en que se estudiará en cómo el oído percibe las características temporales del sonido.

## 2.1 Resolución temporal

---

La [resolución temporal](#) es la capacidad del sistema auditivo de percibir los rápidos cambios que se producen en la energía acústica a lo largo del tiempo. Estos cambios en la energía percibida se refieren, generalmente, a la onda envolvente más que a la estructura fina de la onda.

El habla consiste en la rápida sucesión de fonemas a lo largo del tiempo, hasta doscientas palabras por minuto, siendo el oído capaz de detectarlos e identificarlos todos. En el caso de la música, el tempo más rápido es el *prestissimo*, que indica que se producen más de doscientas notas por minuto.



Se puede medir la resolución temporal obligando al oyente a detectar el intervalo de silencio. Así, se le presentan dos tipos de sonidos, uno continuo y otro con un intervalo de silencio. El oyente debe indicar cuál es el sonido que presenta el silencio. Se busca el umbral de detección del tiempo. El tiempo mínimo que necesita el oído para percibir el silencio.

En estas pruebas podemos utilizar bien tonos puros o algún tipo de ruido. El problema surge al utilizar tonos puros ya que un cambio en las características temporales del sonido da lugar a modificaciones espectrales. El sistema auditivo es excelente detectando esos cambios espectrales. Por lo tanto, no se puede juzgar si los cambios en la percepción son debidos a las modificaciones temporales introducidas en el tono o a los cambios espectrales del mismo. Para evitar este problema se utiliza ruido blanco, de modo que las modificaciones en el espectro que se produzcan al introducir un cambio en el patrón temporal sean enmascaradas. Se ha calculado que el umbral de detección del intervalo de silencio cuando se utiliza ruido blanco es de tres milisegundos.

Algunos de los fenómenos que ya se han estudiado en puntos anteriores como el ringing, la persistencia de la vibración de la membrana basilar cuando el sonido ya se ha apagado ponen un límite a la resolución temporal, el tiempo que tarda este fenómeno en disiparse. Este fenómeno parece ser que es de más larga

duración en las frecuencias bajas que en las altas.

## Autoevaluación

**En la detección del umbral temporal, identifica la falsedad:**

- Un tono puro con un intervalo de silencio modifica sus características espectrales.
- El oído es incapaz de detectar cambios espectrales.
- El ruido blanco no se ve afectado por los cambios espectrales.
- Tratamos de encontrar el intervalo de tiempo más corto que sea posible percibir.

Incorrecto. Esta afirmación es cierta.

Correcto. En efecto esta es la falsedad de las proposiciones.

No es correcto. El ruido blanco no presenta cambios espectrales.

No es la respuesta correcta. Esta frase es cierta.

Solución

1. Incorrecto
2. Opción correcta
3. Incorrecto
4. Incorrecto

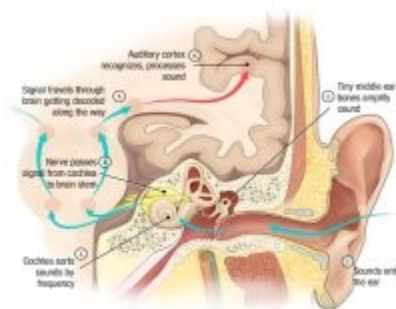


## 2.2 Audición biaural

Cada oído funciona de manera independiente, de forma que cualquier sonido tiene que recorrer una distancia diferente para llegar a cada uno de ellos, esta distancia diferente provoca que la intensidad del sonido que llega a cada uno de los oídos sea ligeramente distinta. Además, el sonido llegará a uno de los oídos en un tiempo posterior a la llegada al otro oído, con lo que la onda sonora se encontrará en una fase distinta.

La audición comienza con la llegada al pabellón auditivo de la onda sonora que, mediante la forma del cartílago son dirigidas al conducto auditivo externo, además de amplificar ligeramente las frecuencias comprendidas entre los 5 kHz y los 6 kHz.

El conducto auditivo externo es un tubo semicerrado, con forma de S, su principal misión es proteger la membrana timpánica y hacer que la temperatura del aire a ambos lados de la misma sea igual. Al ser un tubo semicerrado se produce la amplificación de las frecuencias entre 2 000 Hz y 4 000 Hz.



El oído medio funciona como amplificador de la energía sonora que llega al tímpano. Esta función amplificadora es necesaria ya que, cuando la vibración pasa a la cóclea se pierde por reflexión el 99,9 % de la energía. La amplificación se produce mediante dos mecanismos:

- Por un lado, la superficie de la membrana timpánica es de 16 a 26 veces más grande que la superficie de la platina del estribo.
- Por otro lado, el brazo de palanca del martillo es más largo que el brazo de palanca del yunque, lo que permite aumentar la fuerza hasta un 30 %.

La platina del estribo se mueve como un pistón, adelante y atrás sobre la ventana redonda, a la que se encuentra anclada. Este movimiento produce un movimiento ondulatorio en el líquido coclear, el cual

hace que la membrana basilar adquiera un movimiento ondulatorio. El movimiento ondulatorio de la membrana basilar se traslada desde la base hasta el ápex. La cóclea se comporta en esto como un filtro paso bajo, ya que la onda sólo se desplaza hasta la zona en la que se produce su máxima amplitud y luego desaparece rápidamente. Las frecuencias altas se perciben en la base de la membrana mientras que las bajas lo hacen cerca del ápex.

En las zonas donde la membrana basilar tiene su máxima amplitud se produce la transducción en el órgano de Corti. En las células ciliadas se transforma la energía mecánica en energía eléctrica que es transportada por el nervio acústico hacia la corteza cerebral.

La vía auditiva se inicia en los núcleos cocleares encargados del análisis de la intensidad y duración de la señal auditiva, manteniendo el análisis frecuencial iniciado en la cóclea. Desde aquí, se dirige hacia el complejo olivar superior de cada lado, que contribuyen a la localización espacial del sonido. Sigue la vía por el lemnisco lateral, que también participa en la localización del sonido, hacia el colículo inferior, donde se produce la integración final para la localización del sonido.

Desde el colículo inferior llega al complejo tálamo cortical donde se produce la interpretación del mensaje, la integración sensorial con otros sentidos espaciales y se elabora la respuesta.

## Autoevaluación

**La integración final para la localización de la fuente sonora se produce en:**

- Los colículos inferiores.
- Los lemniscos laterales.
- Los complejos olivares.
- La corteza.

Correcto. Los colículos inferiores son el lugar en el que se realiza la integración final de la señal para su localización.

Incorrecto. Participan en la localización, pero no en la integración final.

Respuesta incorrecta. Contribuyen al análisis para la localización del sonido.

No es la respuesta correcta. En la corteza se interpreta el mensaje, entre otras cosas.

Solución

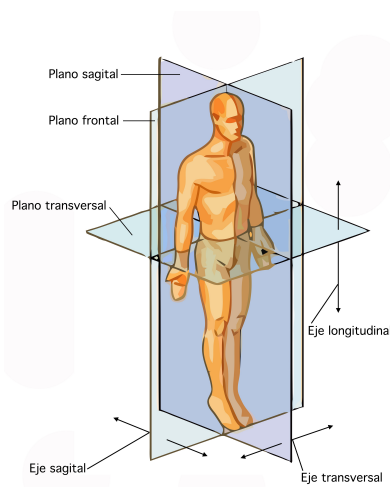
1. Opción correcta
2. Incorrecto
3. Incorrecto
4. Incorrecto

## 2.3 Localización del sonido

Algunos mamíferos tienen la capacidad de mover los pabellones auriculares para poder localizar la fuente de sonido. Pero los seres humanos han perdido esta capacidad, y de hecho los músculos que mueven los pabellones auditivos no son más que vestigios evolutivos. Los seres humanos, para poder localizar las fuentes de sonido, se ven obligados a mover la cabeza.

El ser humano es un animal bilateral, esto quiere decir que cualquier plano divide el cuerpo en dos mitades:

- Plano medio, o sagital. Es un plano vertical y divide el cuerpo en una parte derecha y una parte izquierda.
- Plano frontal, o coronal. También vertical, divide el cuerpo en una parte dorsal, o posterior; y una parte ventral, o anterior.
- Plano horizontal, o transversal. Es un plano paralelo al suelo, y divide el cuerpo en una parte craneal o superior, y una parte caudal o inferior.



Cuando sólo se utiliza un oído, la máxima sensibilidad para localizar la procedencia de un sonido se produce en un ángulo de  $11^\circ$  hacia delante respecto al plano frontal que corta al cuerpo por la línea que une el centro de cada una de las membranas timpánicas.

Utilizando ambos oídos sólo somos capaces de localizar la fuente de sonido en el plano horizontal, para lo cual se utilizan, o bien las diferencias de intensidad, debidas a la diferente distancia que recorre el sonido, desde la fuente hasta cada uno de los tímpanos; o bien, la diferencia de fase, que se produce al tardar la

onda algo más de tiempo en llegar al tímpano que se encuentra más alejado de la fuente de sonido.

Entonces lo que se hace es girar la cabeza hasta que tanto la intensidad como la fase de la onda que llega por cada uno de los dos oídos son iguales, el sonido ahora se encuentra literalmente delante de «las narices» del oyente.



Debido a esta forma de localización de la fuente sonora, el ser humano no es capaz de decir si la fuente de sonido se encuentra a su misma altura o a alguna altura por encima del suelo. Es decir, no es capaz de realizar correctamente la localización del sonido en el plano vertical. Esto es así porque, al tener la fuente delante, se encuentre a la altura que se encuentre se encontrará a la misma distancia de ambos oídos y por lo tanto la onda llegará con la misma intensidad y con la misma fase.

En la década de los años 40' del siglo XX, [Helmut Haas](#) estudió el efecto que lleva su nombre y que consiste en la localización de la fuente de sonido a partir de la primera señal sonora que llega al oído, eliminando los diferentes ecos producidos. A este efecto también se le conoce como efecto de precedencia o de supresión de ecos. El sistema auditivo es capaz de fundir en una única percepción tanto el sonido original como todos sus ecos, siempre que éstos le sigan en menos de 40 ms, tengan la misma composición espectral que el sonido original y una intensidad menor que el sonido original.

## Reflexiona

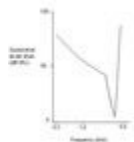
Durante el verano, a los grillos les encanta hacer la corte con su característico canto. ¿Cuál es la razón de que sea tan difícil encontrar a tan «molesto vecino ligón» de las noches estivales?

# Anexo. Licencias de recursos

## Licencias de recursos utilizados en la Unidad de Trabajo

### Recurso

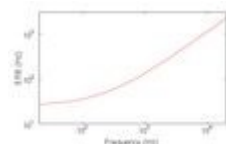
### Datos del recurso



Autoría: PTApete&co.

Licencia: Dominio público.

Procedencia: Montaje sobre [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tuning\\_curve\\_for\\_normal\\_hearing.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tuning_curve_for_normal_hearing.jpg)



Autoría: Dicklyon.

Licencia: Dominio público.

Procedencia: Montaje sobre [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ERB\\_vs\\_frequen](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ERB_vs_frequen)



Autoría: -xrydz- Caltrop.

Licencia: Dominio público.

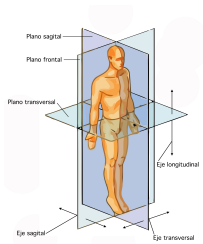
Procedencia: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hermann\\_von\\_Helmholtz.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hermann_von_Helmholtz.jpg)



Autoría: Zina Deretsky, National Science Foundation.

Licencia: Dominio público.

Procedencia: Montaje sobre [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hearing\\_mechanics\\_cropped\\_-\\_Acoustic\\_radiation.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hearing_mechanics_cropped_-_Acoustic_radiation.jpg)



Autoría: nicobzz

Licencia: Dominio público

Procedencia: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Planos\\_posici%C3%B3mica.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Planos_posici%C3%B3mica.jpg)



Autoría: 718 Bot.

Licencia: Dominio público.

Procedencia: Montaje sobre <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Normal2.png>



Autoría: 718 Bot.

Licencia: Dominio público.

Procedencia: Montaje sobre <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Impaired2.png>



Autoría: Paco. FlickrLickr.

Licencia: Creative Commons Attribution 2.0 Generic license.

Procedencia: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wittner\\_metronome.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wittner_metronome.jpg)



Autoría: Nagle.

Licencia: Dominio público.

Procedencia: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Acousticlocatorusarmy1935.jpg>