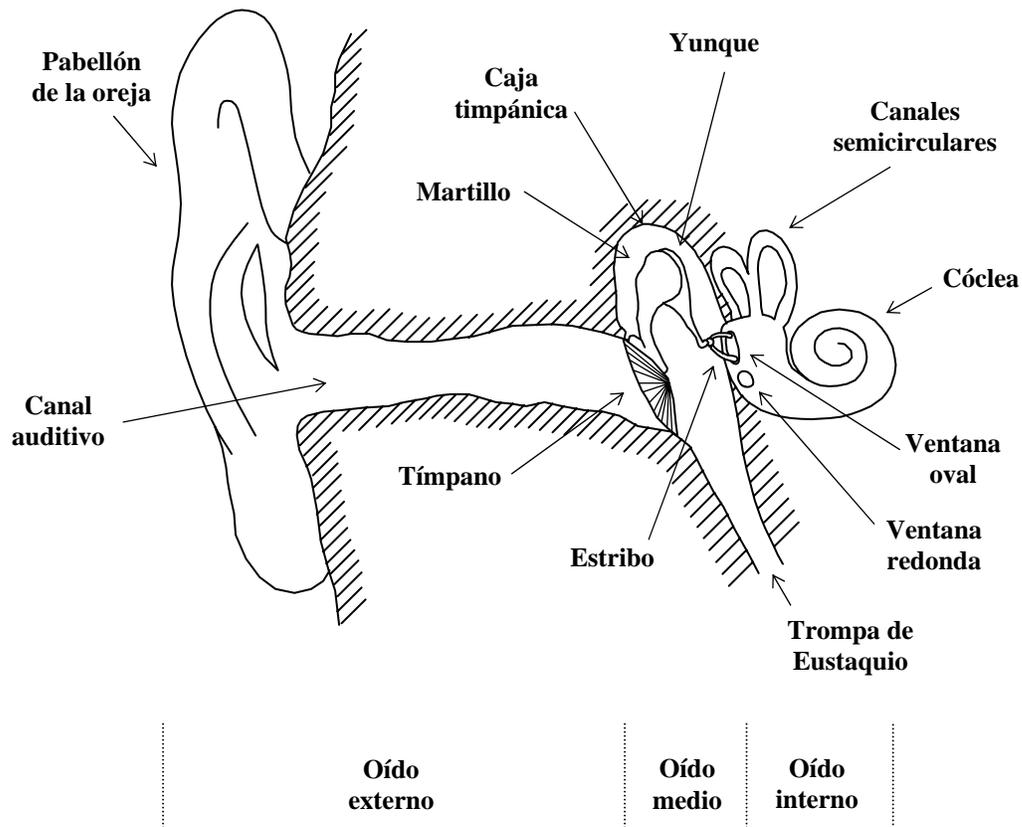


## EL OÍDO

El oído humano está formado por tres partes bien diferenciadas, denominadas respectivamente **oído externo**, **oído medio** y **oído interno**. A estas tres partes, que realizan respectivamente un procesamiento acústico, mecánico y eléctrico de la señal sonora se agrega el posterior procesamiento neurológico con progresivos niveles de complejidad hasta llegar a la corteza cerebral, donde se llevan a cabo los procesos intelectuales superiores como la comprensión inteligente de la palabra y la música.



Corte transversal del oído derecho, en el cual se muestran las partes anatómicas más representativas del aparato auditivo.

### EL OÍDO EXTERNO

El oído externo está formado por el **pabellón** u **oreja** y el **canal auditivo** (ver figura). La oreja cumple la función de focalizar el sonido hacia el canal auditivo. Otra función importante es la de ayudar a la localización direccional del sonido. En otros animales, la oreja está bajo control muscular voluntario o reflejo, permitiendo orientarla hasta lograr la máxima sensibilidad. En el ser humano esta función está casi completamente atrofiada, y se la sustituye por movimientos de la propia cabeza.



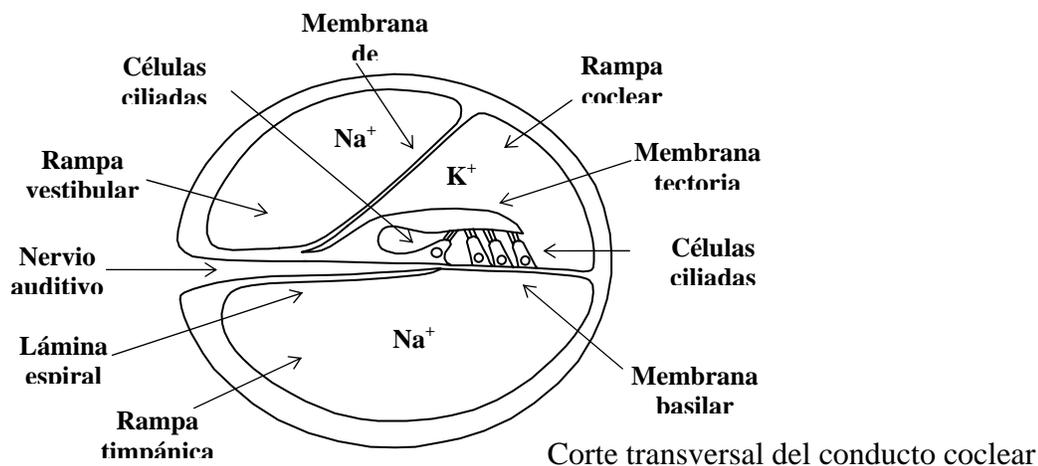
La **trompa de Eustaquio** es un conducto que comunica el oído medio con la garganta, y por consiguiente, a través de la boca, con el exterior. Normalmente está cerrada, asegurando así la estanqueidad del aire dentro del oído medio, pero al tragar o bostezar se abre, permitiendo la circulación de aire. Esto no sólo sirve como ventilación, sino que periódicamente garantiza el equilibrio entre las presiones estáticas dentro y fuera del oído medio, lo cual es necesario para evitar deformaciones del tímpano, que al operar alejado de su posición normal de reposo estaría o demasiado tenso o demasiado relajado, lo cual disminuiría su eficiencia, particularmente para los tonos agudos. De hecho, es lo que sucede al subir en un corto lapso de tiempo a un edificio muy alto o a una montaña. La presión atmosférica a gran altura es menor que a nivel del suelo, y como el proceso de ventilación del oído medio es relativamente lento, la presión dentro del oído medio sigue siendo por un tiempo la presión normal, que es mayor que la nueva. Ello significa que el tímpano opera desplazado hacia afuera, produciendo una pérdida temporal de la respuesta a los agudos.

## EL OÍDO INTERNO

El oído interno (ver figura), también denominado **laberinto**, posee dos partes con funciones bien diferenciadas. La primera son los **canales semicirculares**, que son tres pequeños tubitos con forma de anillo de unos 6 mm de diámetro, ubicados con sus ejes en cuadratura. Constituyen el órgano sensor del equilibrio ya que permiten detectar movimientos.

La segunda parte es la **cóclea** o **caracol**, que tiene forma precisamente de caracol, y es probablemente el sistema mecánico más complejo de todo el organismo. Está destinada a transformar las vibraciones provenientes del oído medio (a través del estribo) en señales neuroeléctricas dirigidas al cerebro. La característica más sobresaliente de esta admirable pieza de ingeniería biológica es su capacidad de realizar una descomposición frecuencial del sonido, codificándolo multiparamétricamente de acuerdo a su espectro.

La cóclea, que se encuentra embutida en una cavidad de igual forma en el hueso temporal, tiene dos vueltas y media, y si pudiera desenrollarse se obtendría un conducto con forma algo cónica (el **conducto coclear**) de unos 35 mm de longitud y un diámetro medio de unos 2 mm. El volumen total es de alrededor de 0,05 cm<sup>2</sup> (una gota). En la figura se muestra un corte transversal de dicho conducto.



Según se puede apreciar en la figura, el conducto coclear está dividido en tres subconductos, denominados **rampas** (debido a que representan ascensos desde la base del caracol hacia su vértice): **rampa vestibular**, **rampa coclear** y **rampa timpánica**. La rampa vestibular y la rampa timpánica están llenas de **perilinf**a, un líquido acuoso rico en iones de sodio ( $\text{Na}^+$ ), y se comunican entre sí en el vértice o **ápex** del caracol a través de un pequeño orificio denominado **helicotrema** (extremo de la hélice o helicoides). La rampa coclear, en cambio, contiene **endolinf**a, líquido algo gelatinoso rico en iones de potasio ( $\text{K}^+$ ). En la **base** del caracol (espira más ancha), la rampa vestibular se comunica con el oído medio a través de la **ventana oval**, un orificio cubierto con una membrana sobre la cual se apoya el estribo, mientras que la rampa timpánica lo hace a través de la **ventana redonda**, otro orificio cubierto con otra membrana denominada **tímpano secundario** (de ahí el nombre de rampa *timpánica*).

La capacidad de la cóclea de llevar a cabo una descomposición espectral del sonido obedece a varias características de las diversas partes que la constituyen. En primer lugar tenemos la **membrana basilar**, que separa la rampa coclear de la rampa timpánica. Esta membrana tiene una longitud similar a la del conducto coclear, es decir unos 35 mm, y su ancho aumenta desde 0,04 mm en la zona próxima a la base del caracol hasta 0,5 mm en la zona del vértice o ápex. Cerca de la base, donde es más angosta, es relativamente rígida, haciéndose más flexible conforme se acerca al vértice. Esta peculiaridad determina un comportamiento mecánico que es la clave de la discriminación de frecuencias que se opera en la cóclea, pues en la zona *basal* de la membrana basilar (cercana a la base) las dimensiones son pequeñas y la rigidez, alta, por lo tanto es de esperar que tenga una frecuencia de resonancia elevada. En la zona *apical* (cercana al ápex), en cambio, es mucho más ancha y menos rígida, por lo cual cabe esperar una frecuencia de resonancia mucho menor. Por consiguiente, la frecuencia de resonancia de la membrana basilar va disminuyendo a lo largo de ella desde valores bastante altos hasta valores pequeños. Lo anterior implica un lugar de captación para cada frecuencia del sonido.

Volviendo a la figura anterior vemos que sobre la membrana basilar existe una formación en la cual se distinguen las **células ciliadas** (o **células pilosas**), denominadas de esa forma porque poseen terminaciones en forma de **cilios** o pelos. Esta formación se denomina **órgano de Corti**, en honor a su descubridor. Existen dos tipos de células ciliadas: las **externas** y las **internas**. Hay alrededor de 20.000 células ciliadas externas y unas 3.500 células ciliadas internas. Los cilios de estas células están encastrados en otra membrana, la **membrana tectoria**, y al producirse un movimiento relativo entre ambas membranas, los cilios experimentan un movimiento de *pandeo*, lo cual genera un potencial eléctrico que excita las células nerviosas (**neuronas**) que parten hacia el cerebro. Esto implica que estas células captan la vibración de la membrana basilar (selectiva en frecuencia, según vimos) y la transforman en una señal eléctrica que luego se transforma en señal nerviosa. El cerebro recibe, así, señales nerviosas provenientes de cada posición de la membrana basilar, y por consiguiente recibe señales con *información de la frecuencia o espectral* acerca del sonido.

## **AUDICIÓN**

Tenemos ya definido el sonido como cualquier variación de presión que pueda ser escuchada por el oído humano. Esto significa dentro de un rango de frecuencias desde 20 Hz hasta 20 KHz para un oído humano joven y saludable. En términos del nivel de presión sonora, el rango audible de sonidos es desde el umbral de audición a 0 dB hasta el umbral del dolor el cuál está sobre los 130 dB.

La subjetividad o percepción (sensación) de un sonido está determinada por varios factores complejos. Uno de estos factores es que el oído humano no es igualmente sensitivo a todas las frecuencias. El oído es más sensitivo a los sonidos entre 2 KHz y 5 KHz y menos sensitivo a las altas y bajas frecuencias.

Para complicar aún más las cosas, esta diferencia en la sensibilidad a diferentes frecuencias es más pronunciada a niveles de presión sonora (NPS) bajos que a niveles altos. Por ejemplo, un tono de 50 Hz deberá ser 15 dB mayor (85 dB) que uno de frecuencia de 1 KHz con un nivel de 70 dB para producir la misma sensación de sonido.

Los sonidos producidos por impulsos o golpes, representan otro problema en la evaluación subjetiva del sonido.

Un sonido es calificado como un sonido impulsivo si es de corta duración, digamos menor de un segundo. Ejemplos prácticos de sonidos impulsivos los tenemos en el ruido producido por las máquinas de escribir o por un martilleo.

Por la corta duración de estos sonidos el oído es menos sensitivo para percibir estas sensaciones auditivas. Los investigadores generalmente están de acuerdo en que la percepción de sonidos de duración menor a 70 milisegundos (ms) es menor que aquellas de sonidos de duración mayor aun teniendo el mismo nivel de presión sonora.

## **PÉRDIDA DE AUDICIÓN**

La audición en los humanos puede verse disminuida o perdida por múltiples factores entre los que podemos mencionar:

- Daños hereditarios.
- Daños prenatales.
- Exposición a niveles altos de ruido por un período de tiempo. Puede causar daño temporal o permanente sobre la audición.
- Bloqueo físico de los conductos auditivos.
- Daño traumático, como la perforación del tímpano o desplazamiento de los huesecillos.
- Daño por enfermedad, enfermedades de la infancia (varicela, parotiditis), infección del oído, enfermedades degenerativas, tumores.
- Daños inducidos por medicamentos (estreptomomicina, quinina).
- Presbiacusia.