

Capítulo 1

Anatomofisiología del sistema auditivo

Claudia Ximena Campo Cañar

xcampo@unicauca.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-5352-3065>

María Consuelo Chaves Peñaranda

mchves@unicauca.edu.co

<https://orcid.org/0000-0003-4020-0341>

Cita este capítulo

Campo Cañar, C. X. y Chaves Peñaranda, M. C. (2018). Anatomofisiología del sistema auditivo. En: Campo Cañar, C. X.; Castaño Bernal, J. L.; Chaves Peñaranda, M. C.; Escobar Franco, E. P.; & González Salazar, L. *Audiología básica para estudiantes*. (pp. 11-25). Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali.

Capítulo I

Anatomofisiología del sistema auditivo

María Consuelo Chaves Peñaranda

Claudia Ximena Campo Cañar

El oído humano está formado por oído externo, oído medio y oído interno, de donde salen conexiones nerviosas que tienen relación con el Sistema Nervioso Central, especialmente con el nervio coclear y el nervio vestibular (Caro et al, 2013).

Tabla 1. Descripción específica de las estructuras del oído

I. Oído externo	1. El pabellón auricular	
	2. Conducto auditivo externo	
II. Oído medio (Caja del tímpano)	1. Membrana timpánica	
	2. Ventanas oval y redonda	
	3. Trompa de Eustaquio	
	4. Cadena de huesecillos	Martillo
		Yunque
Estribo		
III. Oído interno (Laberinto)	1. Vestíbulo	Sáculo
		Utrículo
	2. Canales semicirculares	
	3. Caracol	Rampa vestibular
		Rampa coclear
		Rampa timpánica

Fuente: Anatomía y fisiología de oído. rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/.../anatomia%20y%20fisiologia%20del%20oido.htm.

1.1 Oído externo

Está formado por, el Pabellón Auricular (PA), que es una estructura constituida por cartílagos cubiertos de piel como: hélix, antihélix, trago, antitrago y concha. En el oído externo, el lóbulo del pabellón es la única región que no tiene cartilago. Esta zona está irrigada por ramas de la arteria temporal superficial y auricular posterior, y el nervio facial se encarga de inervar los nervios motores de los pequeños músculos que se encuentran en esta región. (Caro et al, 2013).

Por otra parte, se encuentra el Conducto Auditivo Externo (CAE), ubicado entre el Pabellón Auricular (PA) y la Membrana Timpánica (MT). La longitud en el adulto es aproximadamente de 23 a 29 mm. Tiene una porción cartilaginosa, que ocupa un tercio del conducto, y una porción ósea, que ocupa los dos tercios restantes. Está cubierto por piel y en su porción externa, contiene vellosidades y glándulas sudoríparas cuya función es producir el cerumen. Esta región esta vascularizada por las arterias temporal superficial y auricular posterior. La inervación sensitiva del PA y del CAE la da, el auricular mayor y occipital menor, auriculotemporal, nervio facial y el vago (Caro et al, 2013).

1.2 Oído medio

Esta parte del oído está limitada entre, el oído externo y el oído interno. Según Caro et al (2013), es un espacio de aire recubierto por mucosa respiratoria en cuyo interior se encuentra la cadena osicular formada por tres pequeños huesos: martillo, yunque y estribo. El martillo está fuertemente adherido a la MT, de modo que el movimiento de esta depende del movimiento del martillo. Las articulaciones del martillo con el yunque y de este con el estribo son rígidas, de tal manera que el movimiento de estimulación de la MT se transmite al estribo, el cual se encuentra en un espacio denominado ventana oval, cerrada por la platina del estribo. El ligamento anular se encuentra en el espacio entre la ventana oval y la platina y se encarga de cerrar este compartimento de aire.

La MT separa el oído externo del oído medio, es una estructura semitransparente que a su vez está formada por la pars tensa (constituida por piel, fibras elásticas radiales y circulares y por mucosa) y por la pars

flácida (piel y mucosa). La pars tensa tiene la mayor amplitud y se encuentra en los dos tercios de la MT. La pars flácida se ubica en la parte superior de la MT. La cuerda del tímpano, es una rama del nervio facial, pasa entre el martillo y el yunque cuya función es llevar la inervación del gusto a los 2/3 anteriores de la lengua ipsilateral. La cadena osicular está fija por varios ligamentos, y tendones; al martillo llega el tendón del músculo tensor del tímpano inervado por el V par y al estribo el tendón del músculo del estribo por el VII par.

La caja timpánica se relaciona con varias estructuras, las principales son las siguientes:

- La cara anterior, con la carótida interna y la Trompa de Eustaquio.
- La cara superior, separada por delgada capa de hueso, con la fosa media.
- La cara posterior, con la mastoides y porción descendente del nervio facial.
- La cara medial o interna, con el nervio facial, cóclea y canales semicirculares.
- La cara inferior, con el golfo de la vena yugular.
- La cara lateral o externa, con el CAE a través de la MT.

La Trompa de Eustaquio (TE) es un conducto que comunica la pared anterior del oído medio con la pared lateral de la rinofaringe. Es una estructura que se asemeja a un reloj de arena donde el cono faríngeo corresponde a la porción fibrocartilaginosa y el cono timpánico a la porción ósea. En la unión de los dos conos, se encuentra la porción más estrecha del conducto conocida con el nombre de istmo de la trompa. En el recién nacido, la trompa mide de 17 a 18 mm, mientras que en el adulto alcanza una longitud de 35 mm; de los cuales dos tercios corresponden a la porción fibrocartilaginosa y un tercio a la porción ósea. Las patologías de oído medio son más frecuentes en los primeros años de vida, esto debido a algunas diferencias entre la TE del lactante y la del adulto; la TE del infante es más corta, más recta, más horizontal y, relativamente, más ancha que la del adulto. En el niño el único músculo funcional es el tensor del velo del paladar (Ariza y Rivas, 2007).

1.3 Oído interno

Está formado en la región denominada hueso petroso, espacio que deja el hueso temporal, y al cual se le llama laberinto óseo, en cuyo interior se aloja el laberinto membranoso. Entre estos laberintos existe un líquido denominado perilinfa, un ultra filtrado sanguíneo de composición similar al líquido cefalorraquídeo y en el interior del laberinto membranoso se encuentra otro líquido, la endolinfa, producido por la estría vascular (Caro et al, 2013).

En el oído interno existen dos órganos, el auditivo o coclear (ubicado en la cóclea o caracol) y el órgano del equilibrio o vestibular. La región coclear es anterior y la vestibular es posterior. En el laberinto membranoso anterior (coclear), situado en la cóclea ósea por la inserción de dos membranas, la basal y la de Reissner, se conforman tres túneles alrededor de las dos vueltas y media del canal óseo de la cóclea. Un túnel superior o rampa vestibular, un túnel medio o canal coclear y un túnel inferior o rampa timpánica. El canal coclear es el que alberga los receptores sensitivos y contiene en su interior al órgano de Corti, que es un mecanoreceptor (Salesa et.al 2005). El órgano de Corti contiene a las células ciliadas, que descansan sobre la membrana basilar; en la base están las que responden a frecuencias agudas y en el ápice las de frecuencias graves (distribución tonotópica); estas células se dividen en dos hileras separadas; en la parte inferior, las células ciliadas internas se ubican en una única hilera compuesta por unas 3500 células que responden a intensidades superiores a 70 dB y tienen como característica que sus cilios no penetran en la lámina tectoria. En la parte exterior, se encuentran tres hileras de células ciliadas externas, compuestas por unas 13.500; son estimuladas a diferentes intensidades y sus cilios penetran en la lámina tectoria, de tal forma que su función es amplificadora.

El ganglio espiral inerva las células ciliadas, y la unión de estas terminaciones nerviosas forman el nervio coclear, que se dirige por el Conducto Auditivo Interno (CAI) al tronco encefálico. El laberinto membranoso coclear se continúa en la parte posterior con dos estructuras membranosas: el utrículo y el sáculo, las cuales se encuentran en un espacio del hueso petroso denominado vestíbulo. Hacia la parte posterior, se localizan los laberintos membranosos y óseos que son conocidos como los canales semicirculares (anterior, posterior y lateral) (Caro et al, 2013).

Los canales semicirculares se originan y regresan al utrículo, en uno de sus extremos se encuentra una dilatación llamada ampolla, donde se ubica la cresta ampular que aloja el neuroepitelio ciliado vestibular, cubierto por una sustancia gelatinosa. El sáculo, el utrículo y los canales semicirculares conforman el laberinto posterior o sistema vestibular (Caro, et al, 2013). A nivel del tronco encefálico existen en el piso del cuarto ventrículo, núcleos vestibulares, que a su vez se conectan con el cerebelo, la médula espinal y los pares craneanos oculomotores. Otro elemento nervioso del CAI es el nervio facial. La disposición de los nervios en el CAI es la siguiente: nervio facial (región anterior y superior), nervio coclear (región anterior e inferior) y los nervios vestibulares en la región posterior del CAI (Caro et al, 2013).

1.4 Fisiología del oído humano

El ser humano tiene la capacidad de percibir frecuencias ubicadas entre 20 y 20 000 ciclos por segundo (Hz), pero esta capacidad disminuye en ambos extremos, siendo las frecuencias entre 128 y 8000 Hz mejor percibidas (Caro et al, 2013).

El oído externo actúa en forma pasiva en el proceso de audición; su función es captar las ondas sonoras por medio del pabellón auricular, concentrarlas y conducirlas por el CAE hasta la membrana timpánica (Caro et al, 2013). El pabellón auricular tiene las siguientes funciones: capturar las ondas sonoras por su posición, localizar el sonido en el plano vertical, proteger al canal auditivo y funcionar como resonador, aprovechando los sonidos alrededor de 4500 Hz, con incrementos inferiores a 10 dB. El CAE tiene una longitud de 2.7 cm y en la unión de la porción ósea y cartilaginosa resuena la frecuencia de 2700 Hz, lo que incrementa su intensidad en 10 dB, favorece las frecuencias del lenguaje y reduce otro tipo de frecuencias. Para autores como Salesa et al (2005) y Gallego (1992), el CAE se encarga de transmitir las ondas sonoras hacia el tímpano y refuerza, por efecto de resonancia, las frecuencias de 2000 a 4000 Hz con incrementos en estas frecuencias de hasta 20 dB.

El oído medio es el encargado de amplificar la presión y la fuerza de la vibración sonora que llega a través del CAE a la ventana oval. Especialmente en las frecuencias graves de hasta 1500 Hz, permite transformar la onda sonora de un medio aéreo a un líquido localizado en el oído interno y así evitar la pérdida de energía en un 99%, lo que equivale a 27 dB (Gallego, 1992).

La fisiología del oído medio es particularmente la de acoplar las impedancias de las interfaces a través de dos mecanismos: el primero, y más importante, es la diferencia de superficie entre la MT (64.3 mm^2) y la platina del estribo (3.2 mm^2), por lo tanto, la superficie vibrátil o efectiva de la MT es 17 veces mayor que la de la platina, por lo tanto la energía que llega a la membrana timpánica se refuerza con igual frecuencia al reflejarse sobre la superficie menor de la platina (Ariza y Rivas, 2007), y el segundo es un mecanismo de palanca, dado por la diferencia de longitud entre el mango del martillo y la apófisis larga del yunque, lo que se origina por un eje de rotación de estos primeros huesos timpánicos permitiendo una amplificación de 1.3 veces. Ambos mecanismos evitan la pérdida de energía de alrededor de 26 dB (Letelier & San Martín 2013).

Cuando se presenta alguna alteración en la membrana timpánica o en el sistema osicular, se pierde energía sonora de transmisión; en el caso de una lesión de membrana timpánica se pierden aproximadamente 30 dB, al presentarse ausencia de huesecillos, la energía llega desfasada a la ventana oval y redonda (juego de ventanas), pues al llegar al mismo tiempo no se producirá un movimiento de los líquidos del oído interno, impidiendo la vibración del órgano de Corti y se pierde más de 30 dB, si la MT está intacta. Si la pérdida es mayor, significa que existe lesión en oído interno (Letelier & San Martín, 2013) y (Ariza y Rivas, 2007).

Lo anterior se aplica cuando la onda sonora es débil, pero, cuando esta es muy alta, ocurre otra función del oído medio que es la de protección, mediante el reflejo estapedial, donde los músculos del oído medio, se contraen, ponen más resistente a la cadena osicular y así protegen a las células ciliadas de unos estímulos muy fuertes. El reflejo se desencadena por estímulos auditivos intensos superiores a 75 dB (Salesa et al 2005).

La Trompa de Eustaquio tiene varias funciones, una es la de mantener la presión atmosférica dentro del oído medio (función de ventilación). Por este mecanismo, se compensa la capacidad de absorción de gases de la mucosa del oído medio, lo que impide una probable retracción de la MT, y que se presente una disminución de la función auditiva. Otras de las funciones son: eliminar secreciones, impedir la entrada de estas al oído medio y la protección ante sonidos fuertes. Normalmente la trompa está cerrada pero, cuando se deglute o bosteza, el músculo periestafilino interno (elevador del paladar blando) permite su apertura (Letelier & San Martín, 2013).

Ariza y Rivas (2007) mencionan que el oído interno es el órgano en el que la onda sonora hace vibrar la platina del estribo hasta que el mensaje es convertido en impulso nervioso y ocurren los siguientes fenómenos:

- Vibración del sistema tímpano-osicular
- Acción hidrodinámica
- Movimiento de la membrana basilar
- Fenómenos electroquímicos
- Actividad eléctrica de la cóclea
- Potencial de acción del VIII par

Cuando se mueve la cadena osicular, la platina del estribo desplaza con su movimiento la perilinfa; como los líquidos no son comprensibles, al empujar la platina, la membrana de la ventana redonda (tímpano secundario el cual es el punto elástico del sistema que permitirá la vibración) se moverá en sentido inverso. La onda sonora por movimiento mecánico ingresa en la rampa vestibular, para salir por la ventana redonda y ser transmitida al ductus coclear y de ahí a la rampa media; al entrar en vibración la membrana basilar la endolinfa es movida al mismo tiempo sin necesidad de que llegue al helicotrema.

Al moverse la perilinfa, se inicia una onda denominada *viajera*, que tiene su máximo desplazamiento en un determinado punto dependiendo de la frecuencia del estímulo. La onda viajera, a medida que progresa en el tiempo, sufre cierto desfaseamiento, pero su punto de desarrollo en cada vibración es muy preciso para cada frecuencia. Las más agudas se extinguen antes y solo las graves llegan al helicotrema (Ariza y Rivas, 2007).

El mayor desplazamiento indica un movimiento de la membrana basilar que sostiene al órgano de Corti, cuyo objetivo es desplazar los cilios de las CCE, las cuales se estimulan a diferente intensidad; a baja intensidad, las células ciliadas externas, a mayor intensidad las células externas en mayor número y las internas solo a intensidades superiores. Para Salesa et al (2005), estas células acercan la membrana tectoria sobre la CCI lo que propicia la despolarización. El movimiento de los cilios, al inclinarse hacia la estría vascular, estimula la apertura de los canales de potasio, que al entrar a la célula, provocan su despolarización.

La activación de los canales de calcio y, por ende, la liberación de neurotransmisores al espacio sináptico (mediado por el glutamato), estimula la despolarización de las dendritas del nervio coclear, trasladando el estímulo a la vía auditiva. Este proceso se denomina transducción y es el último proceso mecánico de la audición, cuando ocurre el cambio de un impulso mecánico en un impulso eléctrico.

1.5 Vía auditiva

El sistema de recepción auditivo periférico se encarga de descomponer los sonidos complejos en frecuencias simples, para elaborar una información que en forma de mensaje neural se transmita al Sistema Nervioso Central (SNC). A través de la vía auditiva, el mensaje llega a la corteza auditiva en la que se realiza el análisis final del mismo. Esta vía contiene una serie organizada de núcleos de neuronas, situadas en el tronco cerebral y el tálamo, que terminan en la corteza cerebral del lóbulo temporal. Se visualizan entonces dos vías: la vía auditiva ascendente (aférente), y la vía auditiva descendente (eferente) (Salesa et al, 2005).

La vía auditiva ascendente es un complicado sistema de filtros, donde se analizan y se comparan sistemas que se encargan de extraer al máximo información de los mensajes neurales que se inician en el sistema receptor auditivo (Salesa et al 2005).

El sistema está formado por las neuronas de primer orden correspondientes a las células del ganglio espiral de Corti, de aquí emergen en prolongaciones que se distribuyen, por un lado, en las células ciliadas y por el otro se unen con otras formando el nervio coclear. Este nervio se ubica en el CAI, e ingresa a nivel del ángulo pontocerebeloso en la región bulbo protuberancial donde se divide en dos troncos; unas se dirigen al núcleo coclear ventral y otras al dorsal.

Respecto a las neuronas de segundo orden, los cuerpos celulares están en los núcleos cocleares dorsal y ventral. El contingente ventral de las fibras que salen del núcleo ventral llega al complejo olivar homolateral por el cuerpo trapezoide, el contingente dorsal de fibras sale del núcleo coclear ventral y llega al complejo olivar

contralateral. Las fibras del núcleo coclear dorsal llegan en forma directa a los núcleos del lemnisco lateral y también al colículo inferior contralateral por la estría acústica dorsal. Las fibras del complejo olivar ascienden por el lemnisco lateral y se proyectan sobre los núcleos de este último y al colículo inferior de ambos lados (Gallego, 1992).

En las neuronas de tercer orden, los cuerpos celulares se encuentran en el colículo inferior, tienen axones que pasan a través del brazo de este colículo hacia el cuerpo geniculado medial, porción dorsal del tálamo.

Para las neuronas de cuarto orden, los cuerpos celulares se encuentran en el cuerpo geniculado medial, ingresan a través de las radiaciones auditivas geniculo-corticales hacia el área primaria auditiva de la corteza, giro transversal de Heschl, áreas 41 y 42 (Gallego, 1992).

La vía auditiva inicialmente está formada por las dendritas cuya información parte de las células ciliadas del órgano de Corti (Gallego, 1992). A nivel central estas neuronas convergen y constituyen la porción coclear del VIII par craneano. Cuando ingresan al tronco cerebral por el ángulo pontocerebeloso, las fibras se divergen y terminan en los núcleos cocleares ventral y dorsal del mismo lado. En los núcleos cocleares cada fibra aferente hace sinapsis con varios tipos de neuronas. Las fibras y sus contactos sinápticos emergen en forma ordenada lo que origina mapas tonotópicamente organizados, de tal forma que la representación de las bajas frecuencias se localiza lateralmente y las de altas frecuencias medialmente.

Las fibras que salen del núcleo coclear posterior y algunas del núcleo coclear anterior se dirigen por detrás del cuerpo restiforme, formando la estría acústica posterior y se decusan para unirse al lemnisco lateral contralateral. Una de las principales eferencias del núcleo coclear posterior la forman fibras de proyección y terminan en el colículo inferior contralateral.

Las fibras que se originan del núcleo coclear anterior en su mayoría, van por delante del cuerpo restiforme constituyendo el cuerpo

trapezoide. El núcleo coclear anterior tiene neuronas eferentes con características anatómicas y fisiológicas específicas que se dirigen por el cuerpo trapezoide y son el origen central de los canales que conforman información binaural, útil en la localización del sonido. Las neuronas en el núcleo anterior responden a los cambios en los niveles de presión del sonido y su información monoaural es directa hacia el colículo inferior contralateral. En la parte posterior del núcleo coclear anterior se localizan neuronas con dendritas prolongadas y menos ramificadas que integran información aferente coclear. Los axones de estas neuronas hacen sinapsis en el núcleo del lemnisco lateral contralateral, proyectándose al colículo inferior.

El Complejo Olivar Superior (COS) es el núcleo del tronco cerebral en el que la información de ambos oídos confluye. Es un proceso binaural esencial para la localización del sonido y la formación del mapa neuronal del hemicampo auditivo contralateral. El cuerpo trapezoide es un fascículo de fibras mielinizadas, que se originan en el núcleo coclear ventral y cursa ventral al núcleo olivar superior, un grupo de sus fibras terminan en el complejo olivar superior y el otro asciende por el lemnisco lateral contralaterales. En el COS se continúa manteniendo la organización tonotópica, en la que las neuronas relacionadas con los sonidos de alta frecuencia se localizan dorsales y las de baja frecuencia ventrales. Las señales que se originan en el núcleo coclear anterior contralateral al COS llegan muy cercanas en tiempo de aquellas que provienen del núcleo coclear ipsilateral; este mecanismo permite al COS computar la diferencia del tiempo interaural, lo que constituye la base de la localización del sonido. Del COS se originan fibras que ascienden por el lemnisco lateral ipsilateral y terminan en el núcleo central del colículo inferior (Osuna & Rubiano, 2017, p. 66)

Por el lemnisco lateral transcurren fibras que provienen de los núcleos cocleares, del COS y de los núcleos del lemnisco lateral. El núcleo anterior del lemnisco lateral está formado por neuronas distribuidas a lo largo de todo este; estas neuronas se proyectan al colículo inferior, completando la vía indirecta monoaural.

El núcleo dorsal del lemnisco lateral se localiza cercano al colículo inferior entremezclado con las fibras de este. Dicho núcleo recibe

información principalmente del COS y de él se originan fibras que se cruzan a través de la comisura tegmental posterior y terminan en el colículo inferior contralateral (Osuna & Rubiano, 2017, p. 66-67).

La mayoría de las vías ascendentes auditivas terminan en el colículo inferior. El núcleo central se encuentra en una base formada por fibras del lemnisco lateral. El núcleo central integra información originada de varias fuentes del mesencéfalo y envía fibras a la porción ventral o anterior del cuerpo geniculado medial (interno), tonotópicamente organizadas. Las neuronas del núcleo central reaccionan a estímulos de cada oído, de tal manera que las neuronas binaurales del colículo inferior son semejantes a las binaurales del COS, del que reciben mucha información. Las células en el núcleo paracentral reciben información de la corteza cerebral, el cordón espinal y el colículo superior. A partir de este núcleo, la información va al cuerpo geniculado medial, el colículo superior, la formación reticular y los núcleos precerebelosos (pónticos). Los núcleos paracentrales tienen relación con funciones de atención, integración múltiple y reflejos motores auditivos.

La porción anterior del cuerpo geniculado medial recibe aferencias que se originan del núcleo central del colículo inferior y manda proyecciones hacia la corteza auditiva primaria. La porción posterior recibe información de los núcleos paracentrales y proyecta fibras a la corteza auditiva secundaria. La porción medial proyecta fibras a las regiones de asociación temporal y parietal y al complejo amigdalino, el putamen y el globo pálido. La corteza auditiva primaria localizada en la parte posterior de la primera circunvolución temporal, se conoce como el giro de Heschl.

Los fascículos formados por las proyecciones descendentes proveen circuitos que modulan los procesos de información ascendentes. El cuerpo geniculado medial y el colículo inferior recibe fibras de la corteza auditiva; del colículo inferior se desprenden prolongaciones que terminan en la región periolivar del COS y a su vez dirige información eferente hacia la cóclea ipsi y contralateral mediante el haz olivo coclear.

Las fibras ipsilaterales se dirigen hacia las células ciliadas internas en las que hacen sinapsis con las neuronas aferentes y las contralaterales terminan en las células ciliadas externas. Las conexiones eferentes originan cambios en la altura de las células ciliadas y en la rigidez de los estereocilios. Estos cambios permiten la motilidad de la membrana basilar e influyen sobre la función coclear (Osuna & Rubiano, 2017).

Referencias

Ariza, H. y Rivas J.A. (2007). *Tratado de Otología y Audiología: diagnóstico y tratamiento médico-quirúrgico*. Segunda edición. Bogotá: Amolca.

Gallego, C. y Sánchez, M. (1992). *Audiología, visión de hoy*. Manizales: Litografía Cafetera.

Letelier, J. C & San Martín, J. S (2013). Anatomía y Fisiología del Oído. Chile: Universidad Católica de Chile. Escuela de Medicina Otorrinolaringología. Disponible en <http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/otorrino/apuntes-2013/Anatomia-fisiologia-oido.pdf>. Consultado noviembre 2015

Osuna, D.E., & Rubiano, D.A. (2017). *Guía de Neuroanatomía Estructural y Funcional*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia

Salesa, E., Perelló, E. y Bonavida, A. (2005). *Tratado de Audiología*. Barcelona, España: Masson.

