

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE AUDIO  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

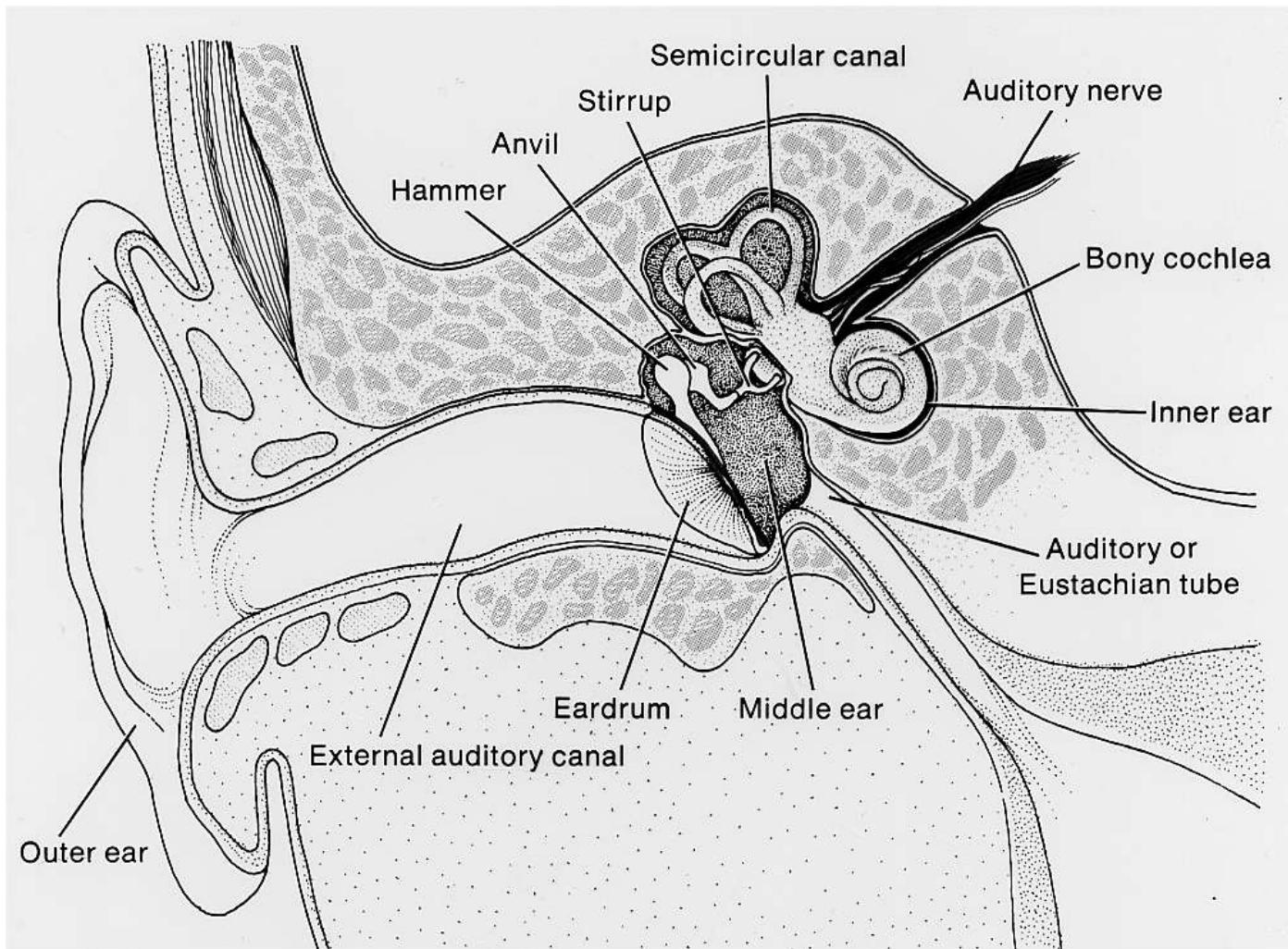
# SISTEMA AUDITIVO

Rodrigo F. Cádiz  
Septiembre 2011

# Sonido y la Audición

<http://youtu.be/uhJ4brVRsXE>

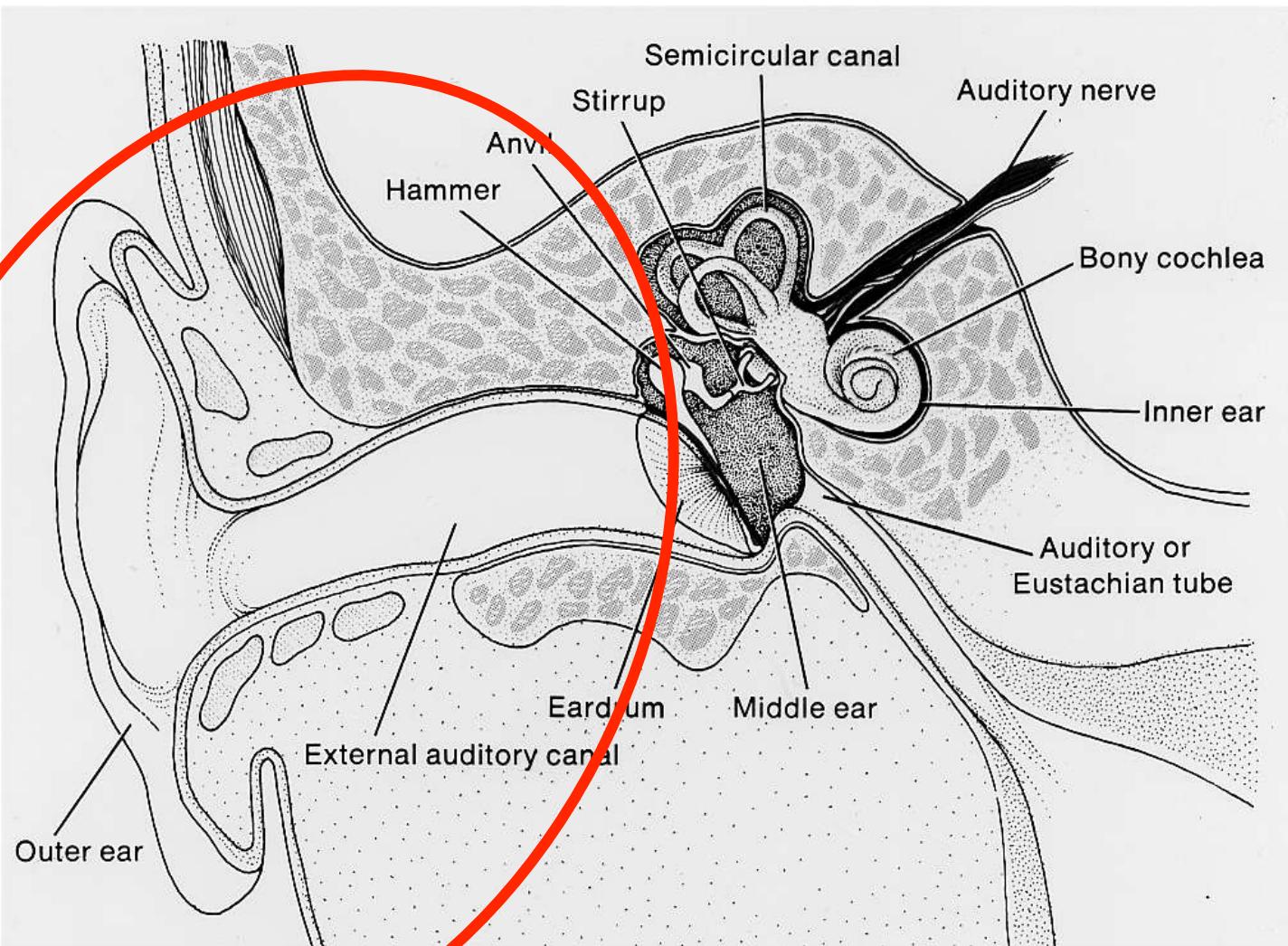
# Oído Externo, Medio e Interno



<http://www.owlnet.rice.edu/~psyc351/Images/Ear.jpg>

# Oído Externo

# Oído Externo

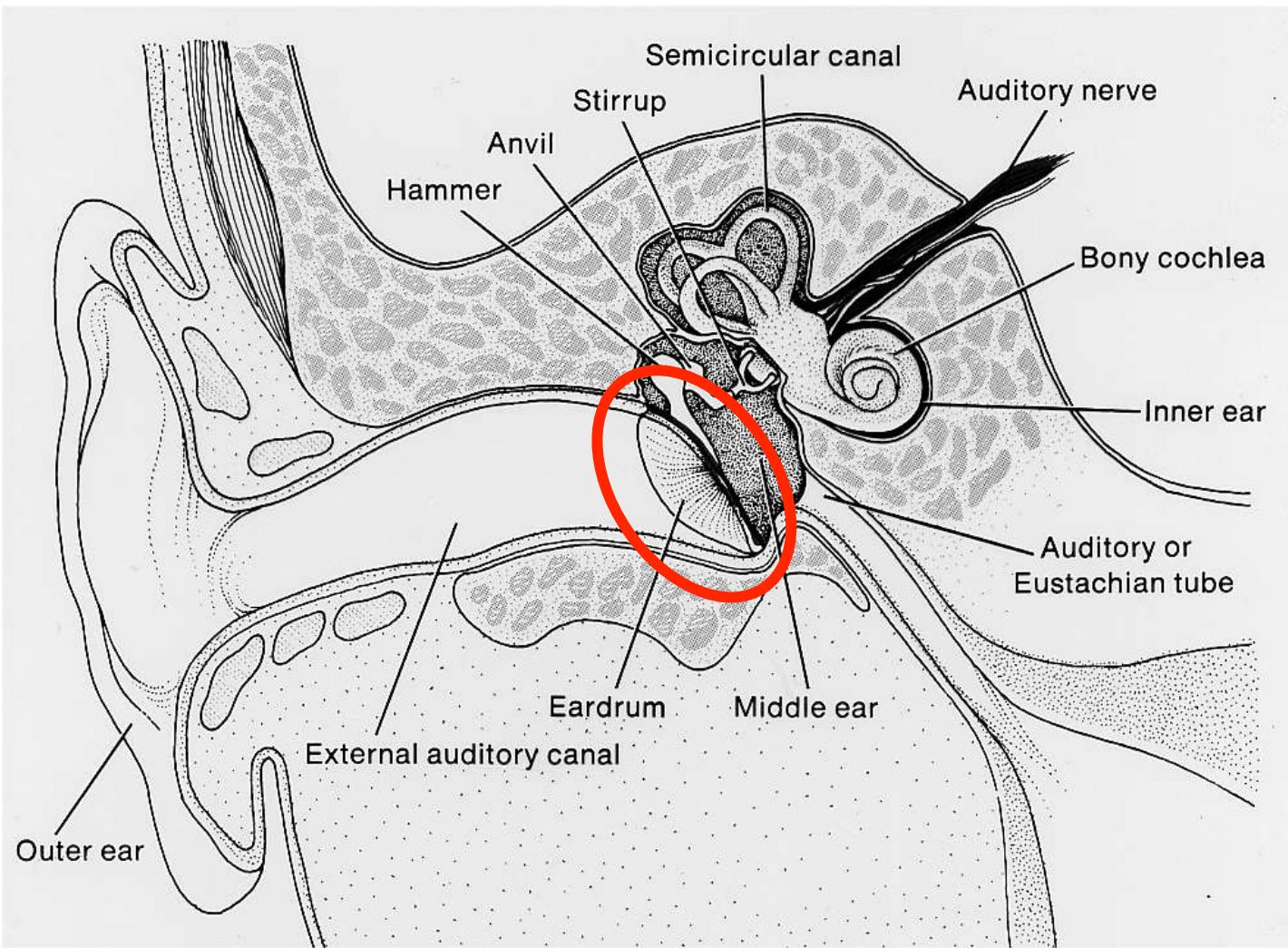


<http://www.owlnet.rice.edu/~psyc351/Images/Ear.jpg>

# Oído Externo

- Está constituido por la pinna, el canal auditivo y el tímpano.
- El efecto de la pinna es atenuar y enfatizar cierto contenido de frecuencias y juega un rol fundamental en la localización de sonidos.
- El canal auditivo mide alrededor de 2,5 cm y actúa como un resonador para el rango de frecuencias entre 1000 y 4000 Hz, siendo el máximo alrededor de 3000 Hz.
- El tímpano vibra en respuesta al sonido y transmite esta vibración de presión en forma de vibración mecánica hacia el oído medio.

# Tímpano



<http://www.owlnet.rice.edu/~psyc351/Images/Ear.jpg>

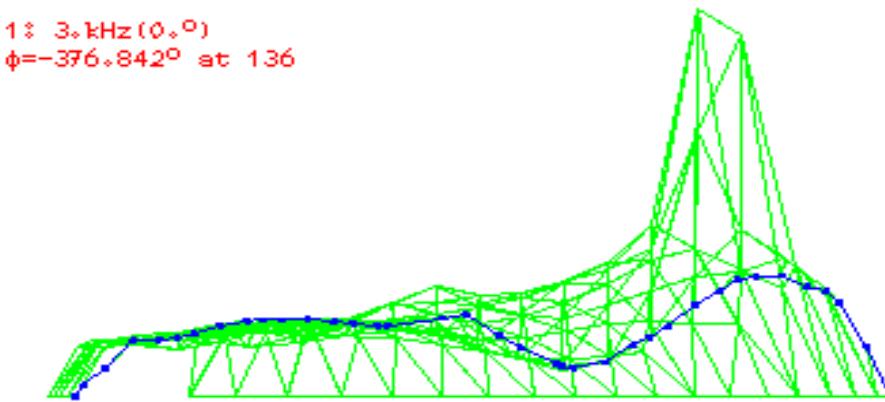
# Tímpano normal



Membrana  
timpánica

<http://webmedia.unmc.edu/intmed/general/eye&ear/normaltm.jpg>

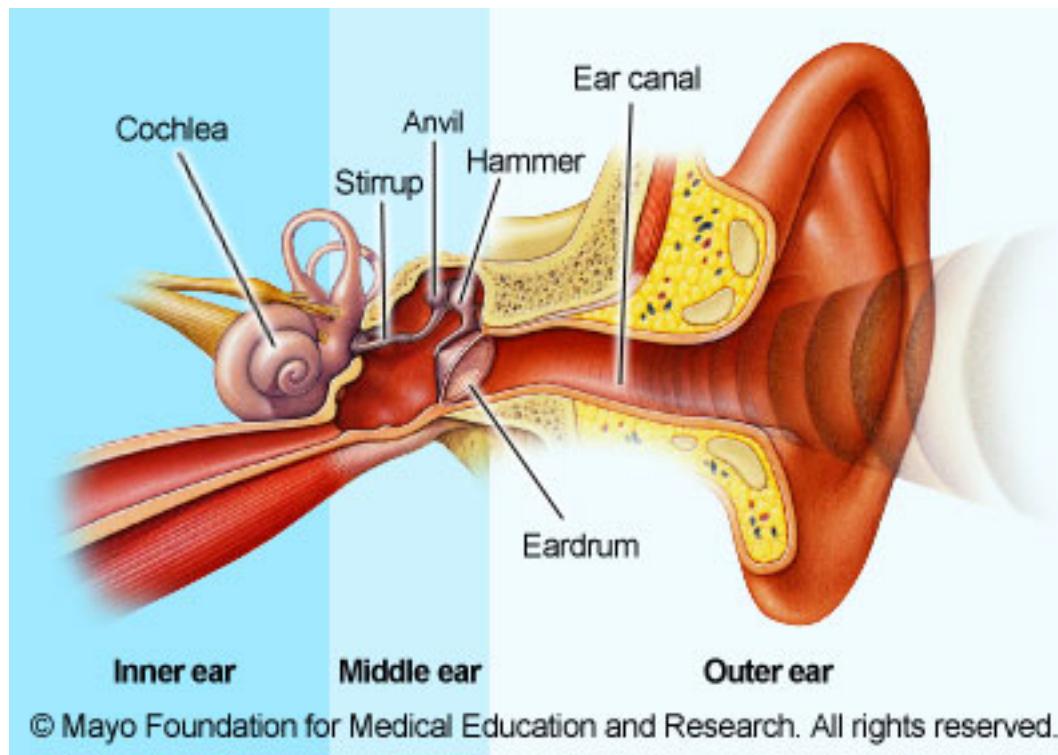
# Modelo vibratorio del tímpano



Estímulo de 3-kHz

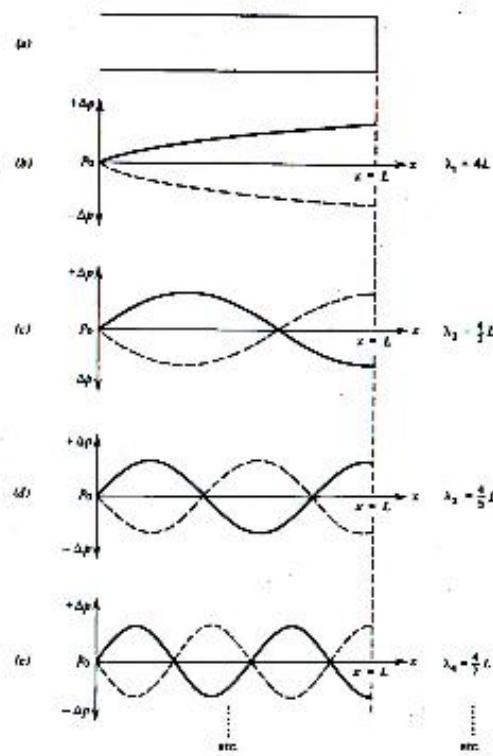
<http://funsan.biomed.mcgill.ca/~funnell/OpenHouse96/eardrum.html>

# Canal auditivo



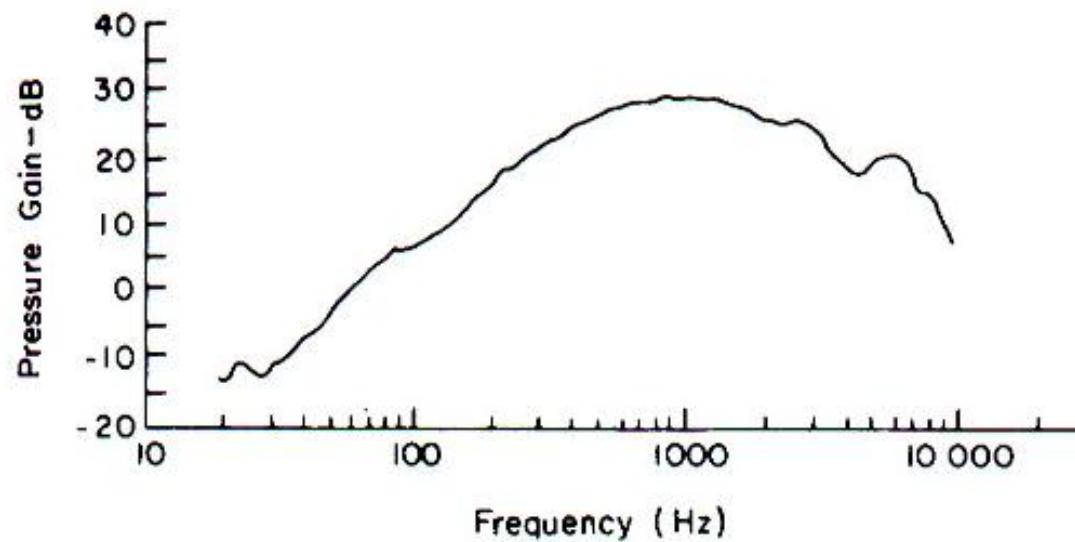
# Canal auditivo

## Outer Ear - Ear Canal



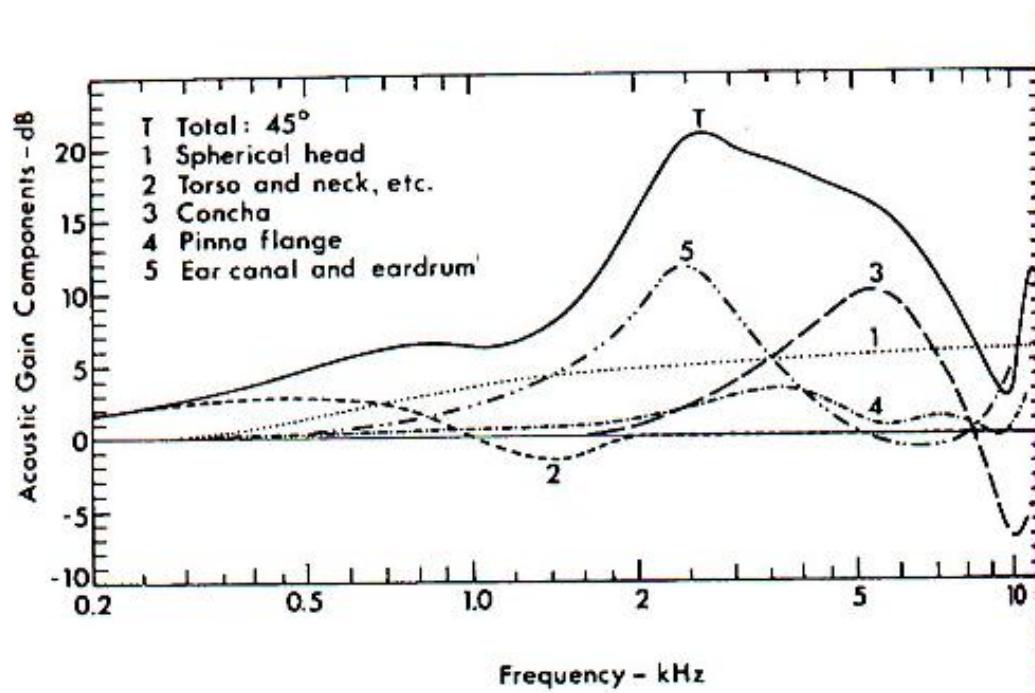
# Canal auditivo

Frequency response of the Ear  
Canal



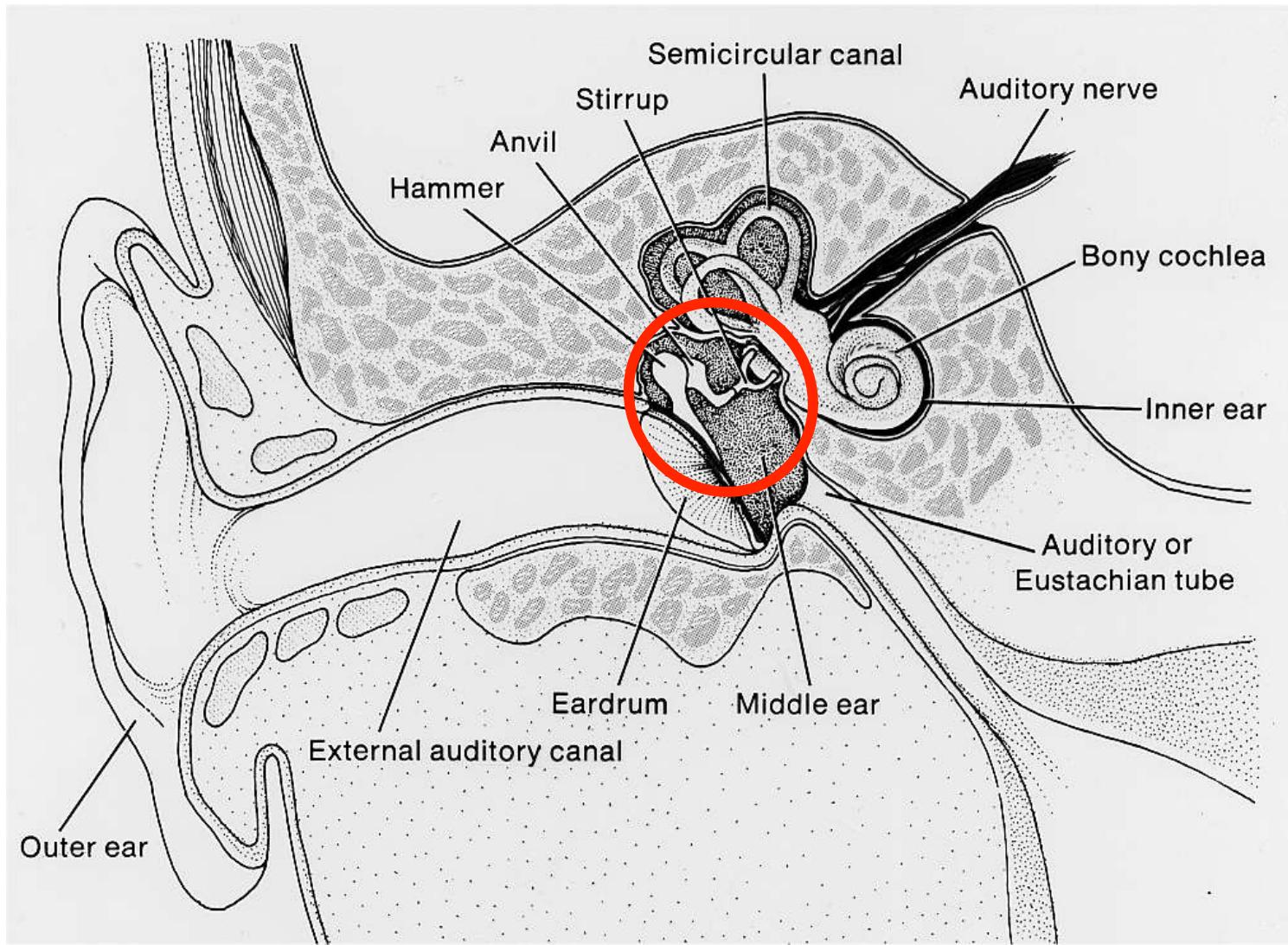
# Canal auditivo

Frequency response of Outer Ear



# Oído medio

# Oído medio



<http://www.owlnet.rice.edu/~psyc351/Images/Ear.jpg>

# Oído medio

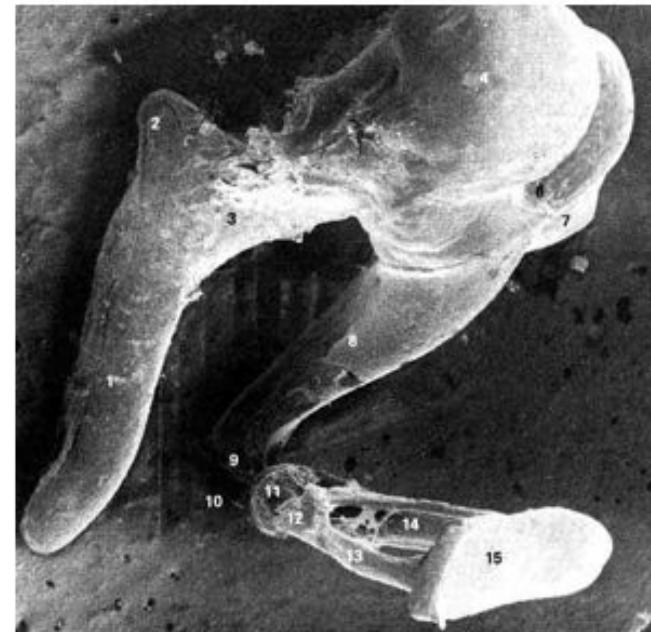
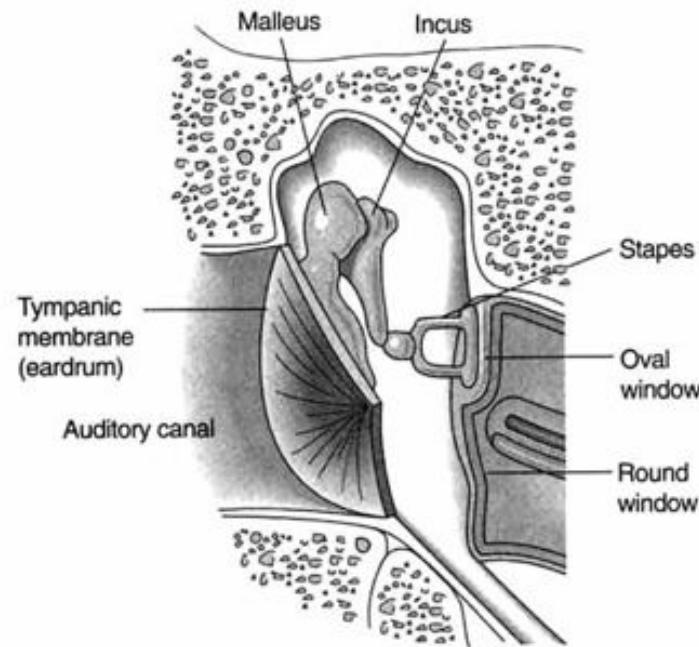
- Actúa como un transductor de vibración
- Su rol es amplificar la vibración de presión mediante un sistema mecánico
- Esto se hace mediante tres huecosillos: Martillo, Yunque y Estribo
- La vibración de estos huesitos puede ser amortiguada por el músculo stapedius. Esto otorga protección contra sonidos muy intensos, los cuales hacen contraer este músculo, pero no protege contra sonidos muy intensos y súbitos, como un disparo

# Tamaño de los huesecillos del oído medio



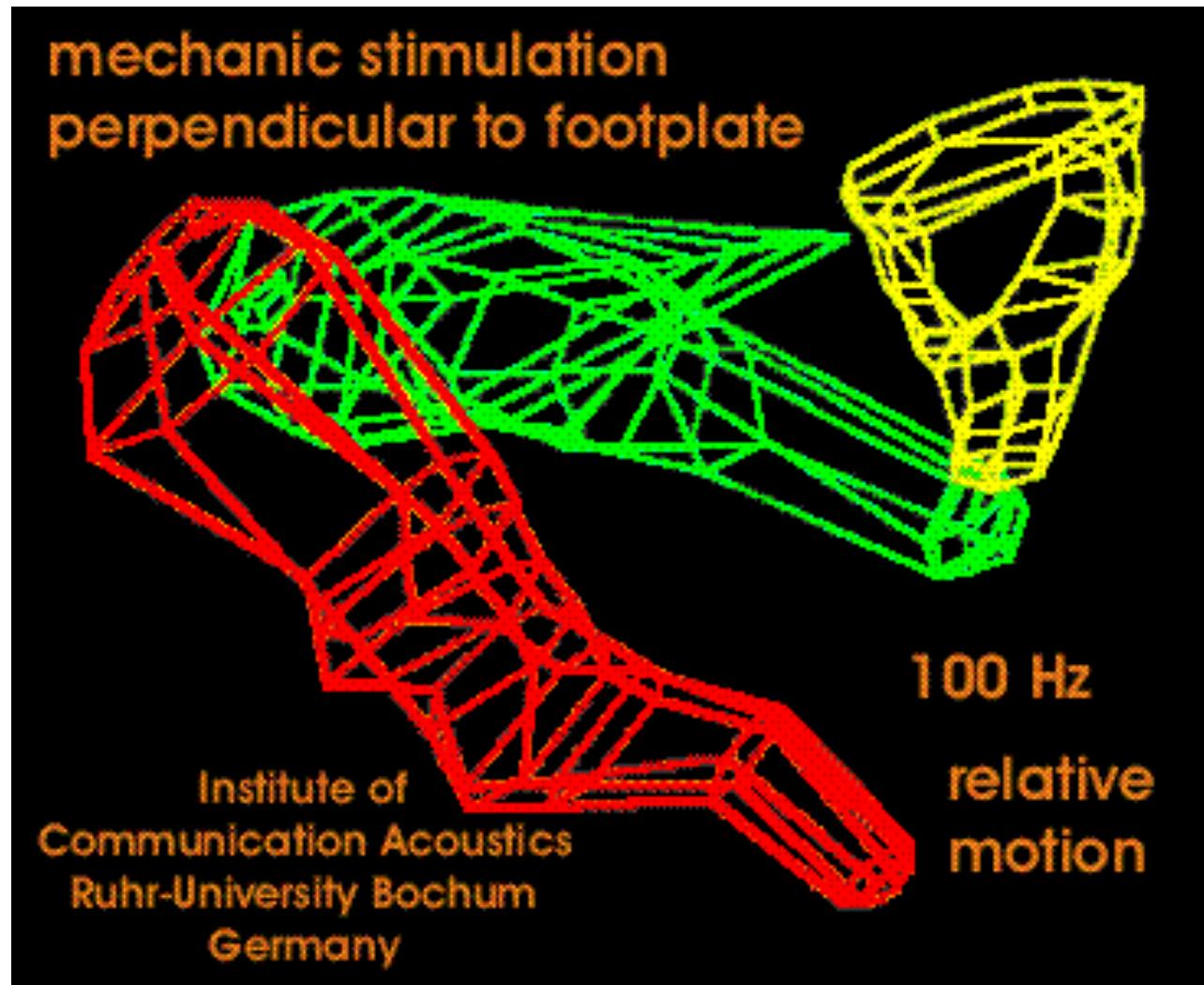
[http://biology.clc.uc.edu/fankhauser/Labs/Anatomy\\_&\\_Physiology/A&P201/Skeletal/skull/ossicles&dime.jpg](http://biology.clc.uc.edu/fankhauser/Labs/Anatomy_&_Physiology/A&P201/Skeletal/skull/ossicles&dime.jpg)

# The ossicular chain



<http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/ear/ear%20slides/Slide2.jpg>

# Movimiento de los huesecillos



<http://www.ruhr-uni-bochum.de/ika/ika/forschung/praesentationen/BC100Rel1.gif>

# Oído medio

- Impedancia acústica: Oposición al flujo de las ondas sonoras en una superficie

Problema:

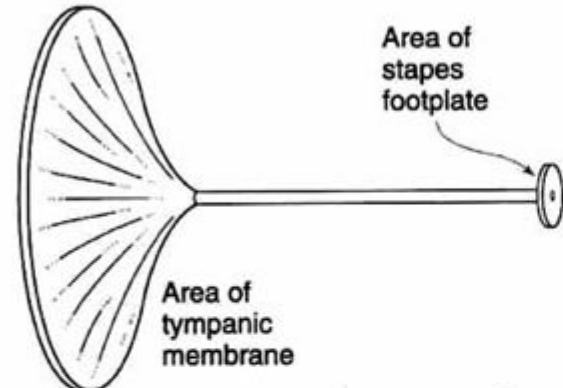
- El aire tiene una baja impedancia
- Los fluidos de la coclea tienen una alta impedancia (como el agua de mar)
- ¿Cómo se pueden igualar los bordes entre aire y fluido?

<http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/ear/ear%20slides/Slide3.jpg>

# Oído medio

Solución:

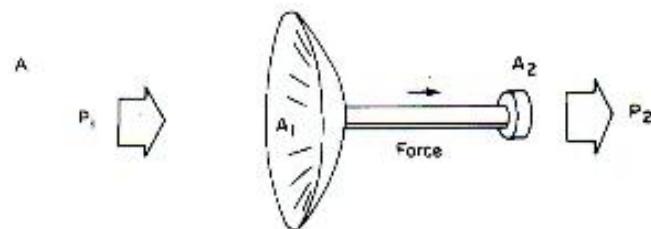
- Dos procesos mecánicos en el oído medio llevan a un marcado incremento en la presión entre el tímpano y la ventana oval
  - El tímpano es más grande que el área de la ventana oval
  - Acción “palanca” de la cadena de huesecillos



<http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/ear/ear%20slides/Slide3.jpg>

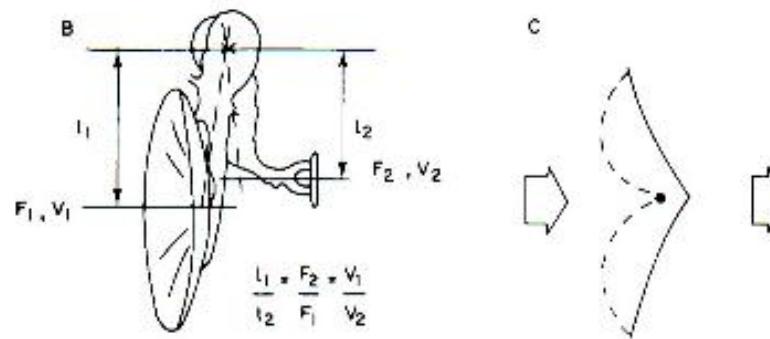
# Oído medio

## Middle Ear



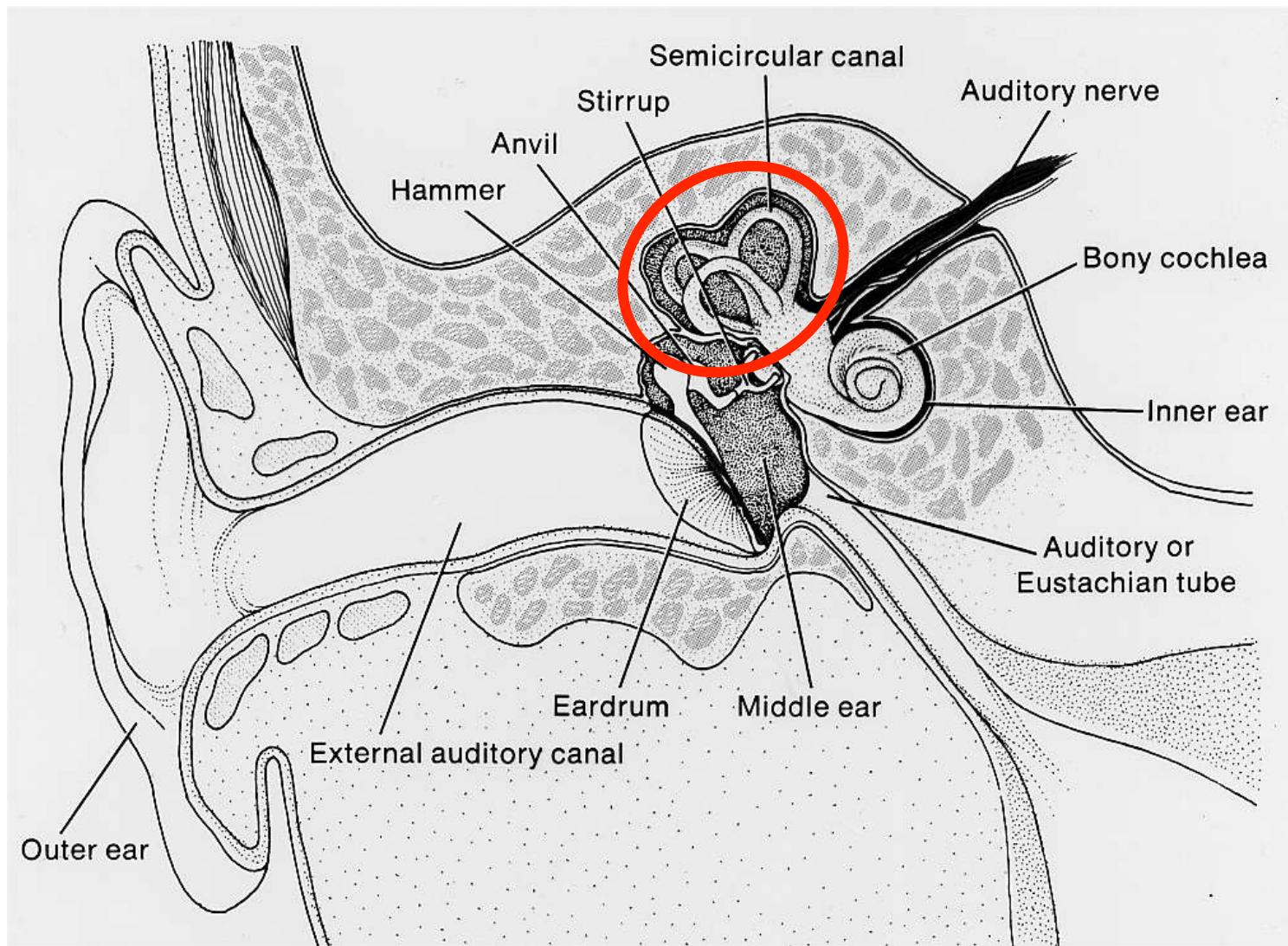
$$\text{Force} = P_1 A_1 = P_2 A_2$$

$$\text{Therefore } P_2 / P_1 = A_1 / A_2$$



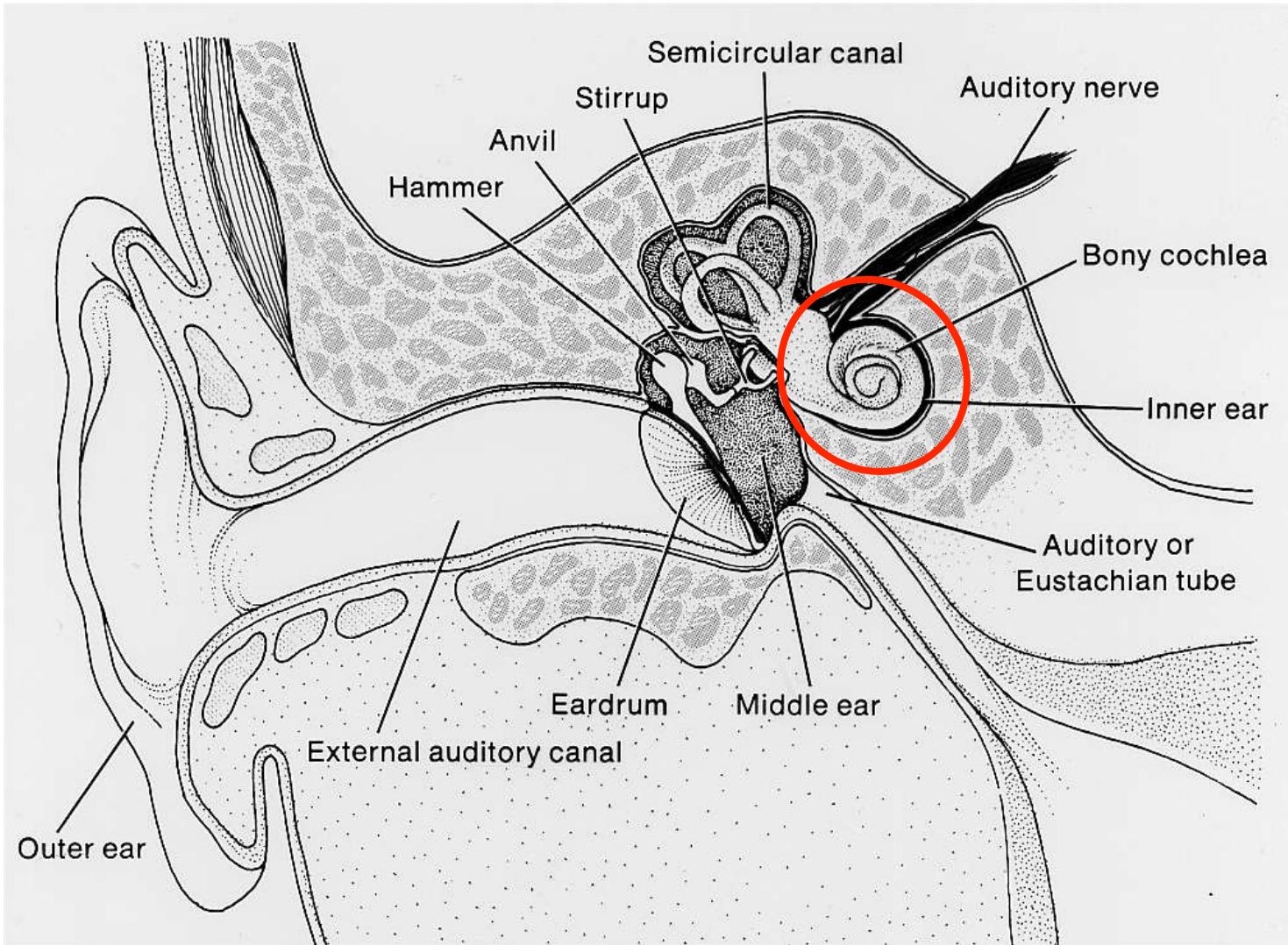
# Oído interno

# Oído interno: canales semicirculares



<http://www.owlnet.rice.edu/~psyc351/Images/Ear.jpg>

# Oído interno: cóclea

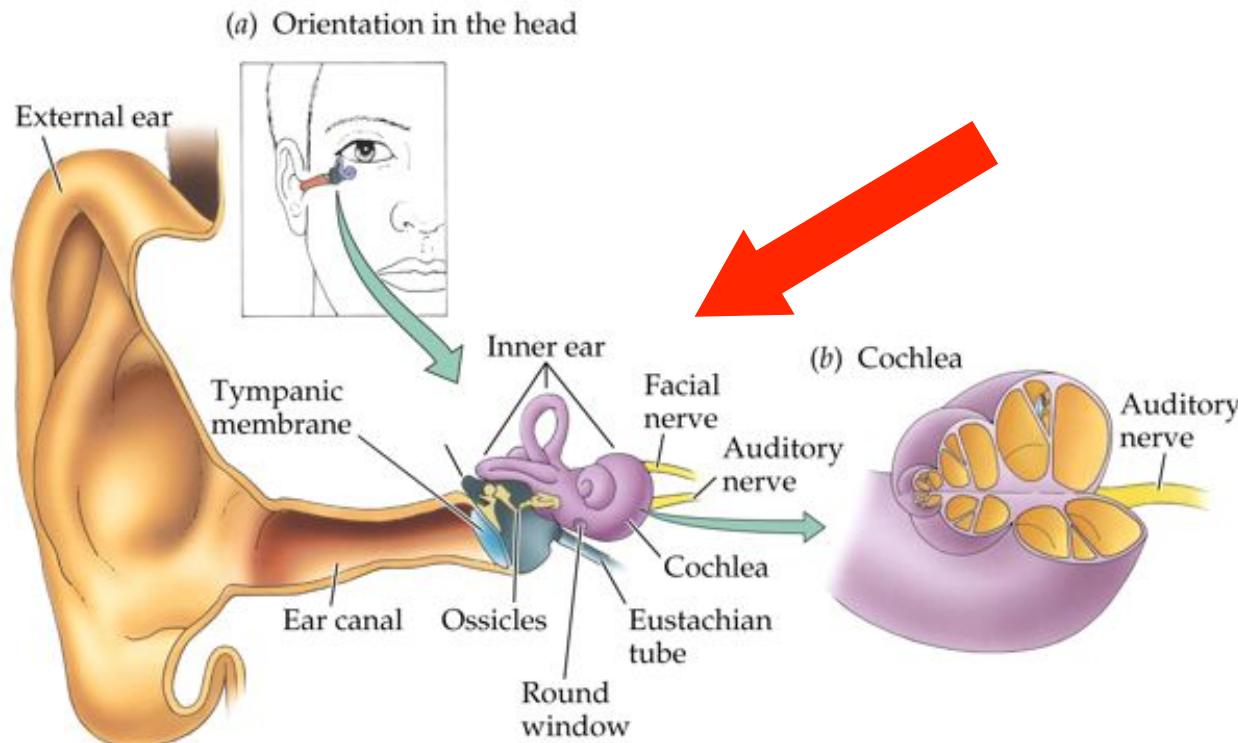


<http://www.owlnet.rice.edu/~psyc351/Images/Ear.jpg>

# Cóclea

- Es un pasaje angosto, con forma de caracol, lleno de líquido incompresible, largo y enrollado 3,5 veces sobre sí mismo
- El diámetro de este pasaje es de 2 mm y su largo 35 mm
- Está dividido en:
  - Scala tympani
  - Scala vestibula
  - Scala media
- Estas zonas están unidas por el helicotrema

# The ear



© 2001 Sinauer Associates, Inc.

<http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/ear/ear%20slides/Slide1.jpg>

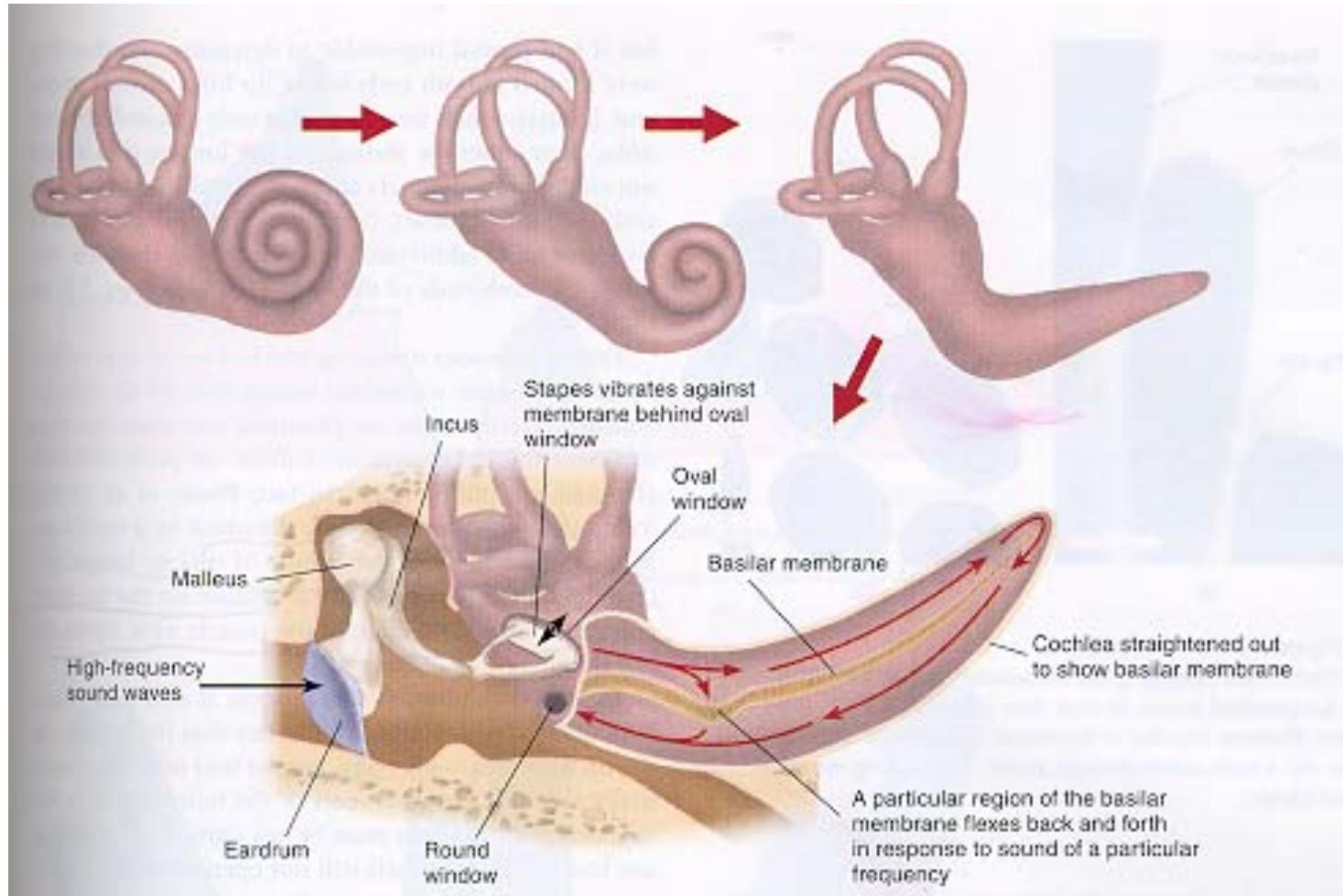
# Tamaño de la cóclea



[http://www.naughtycurry.com/photos/uncategorized/forkpea\\_3.jpg](http://www.naughtycurry.com/photos/uncategorized/forkpea_3.jpg)

<http://www.macalester.edu/psychology/whathap/UBNRP/Audition/site/inner%20ear%20&%20basilar%20membrane>

# Cóclea



<http://www.macalester.edu/psychology/whathap/UBNRP/Audition/site/inner%20ear%20&%20basilar%20membrane>

# Membrana Basilar

- Comienza en la base, conectada a la ventana oval y termina en el apex, en el helicotrema.
- Al presionarse lentamente la ventana oval, la ventana redonda también se ve presionada porque el volumen de líquido al interior de la cóclea es constante
- Si la ventana oval se presiona en forma rápida, se produce una onda en la membrana basilar que viaja desde la ventana oval hacia el helicotrema

# Membrana Basilar

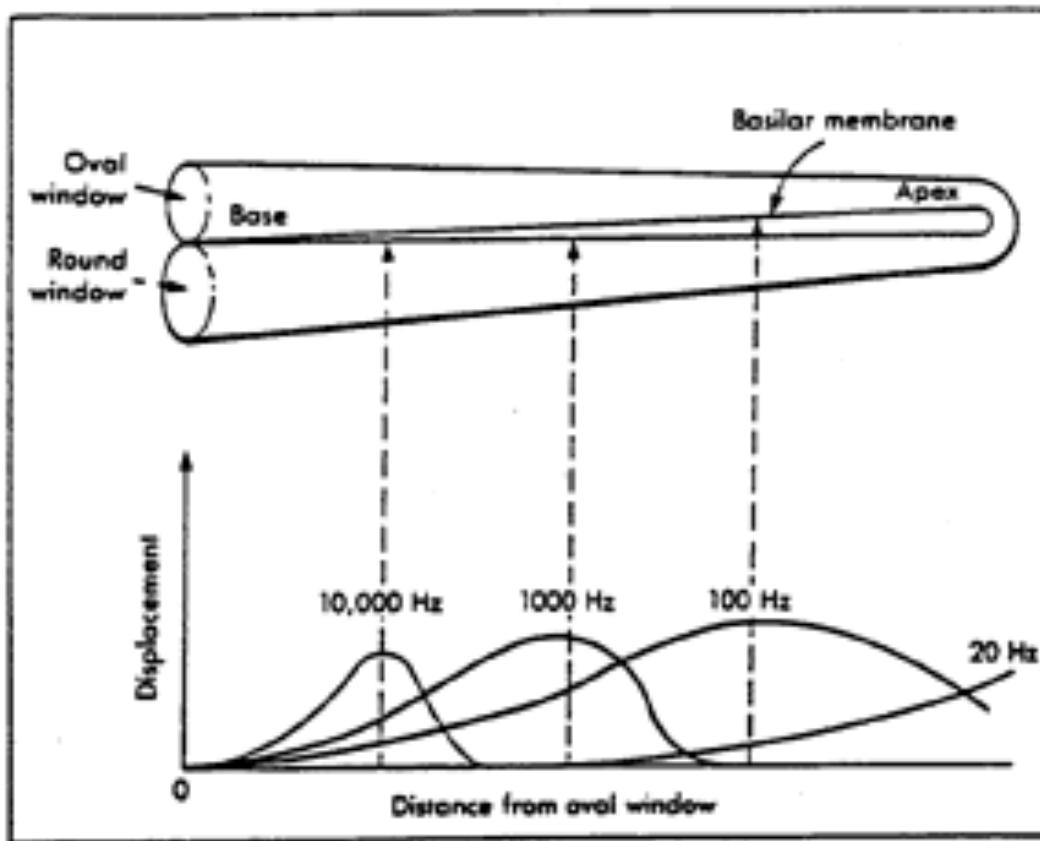
- Esta onda no puede pasar más allá de un punto determinado, dependiendo de la frecuencia a la cual vibra la membrana basilar
- La membrana basilar entonces responde en forma diferente dependiendo de la frecuencia presente en su base, que está conectada a la ventana oval.
- Esto significa que sonidos graves pueden enmascarar a sonidos agudos, pero no al revés.

# Membrana Basilar

- Punto de máximo desplazamiento está:
- Cerca del apex para frecuencias bajas
- Cerca de la base para las altas frecuencias
- Las frecuencias bajas estimulan tanto el apex como la base
- No así las altas frecuencias, que están confinadas a la zona basal

# Movimiento de la membrana basilar

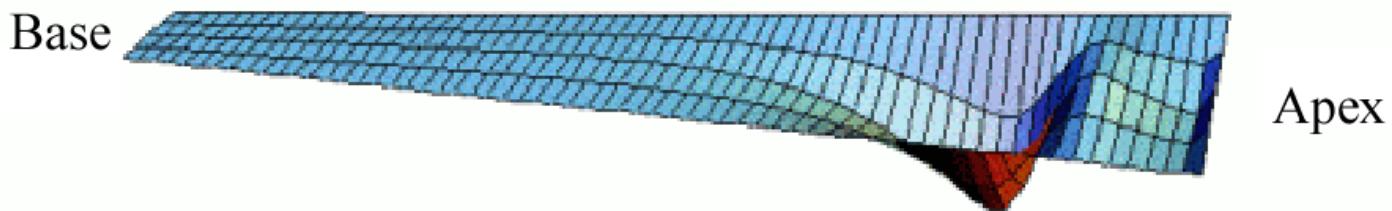
— Apex



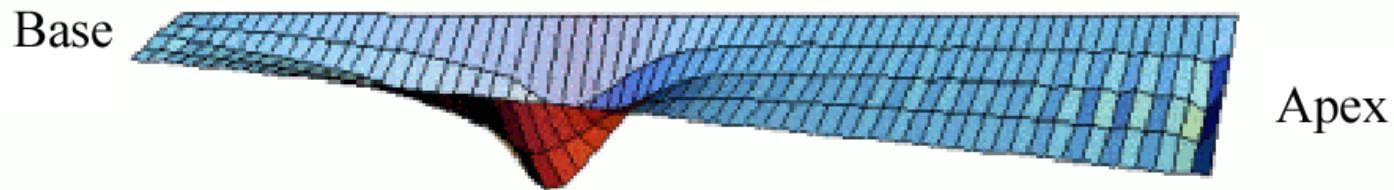
<http://www.medicine.mcgill.ca/physio/cullenlab/img209/Spiralopt.gif>

# Movimiento de la membrana basilar

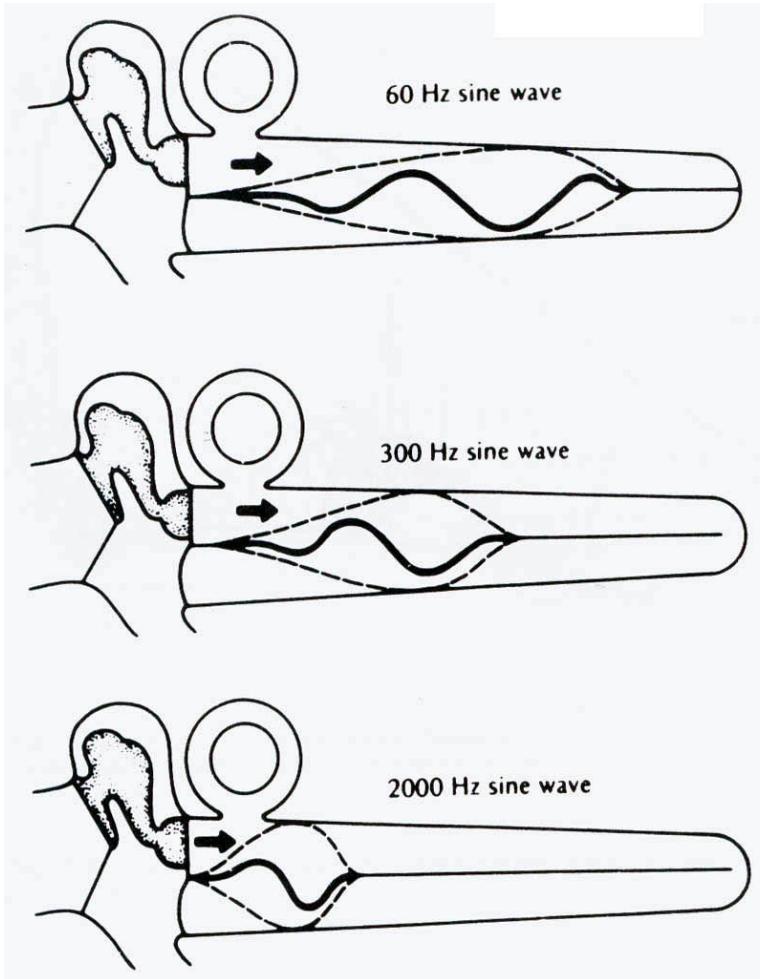
2 kHz



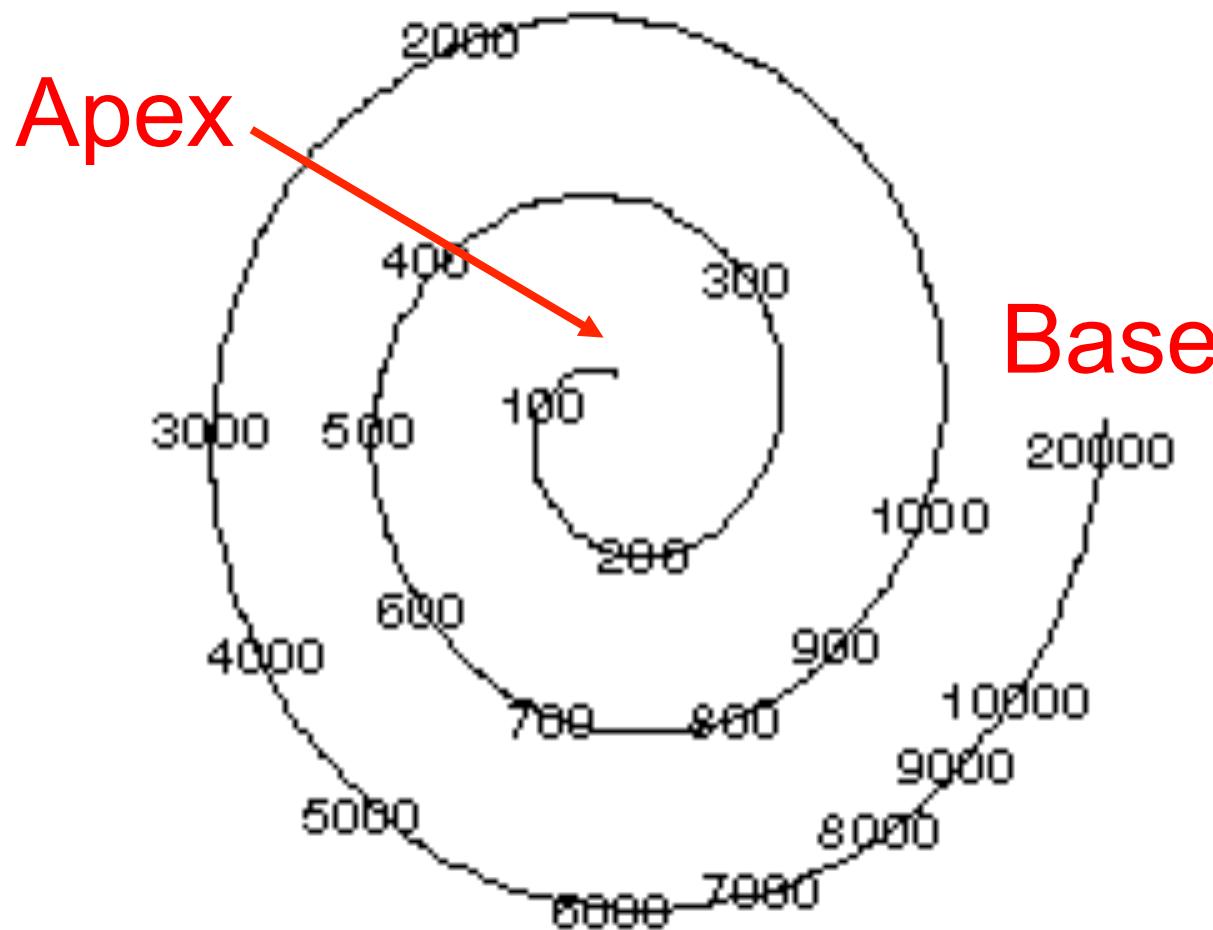
6 kHz



# Movimiento de la membrana basilar

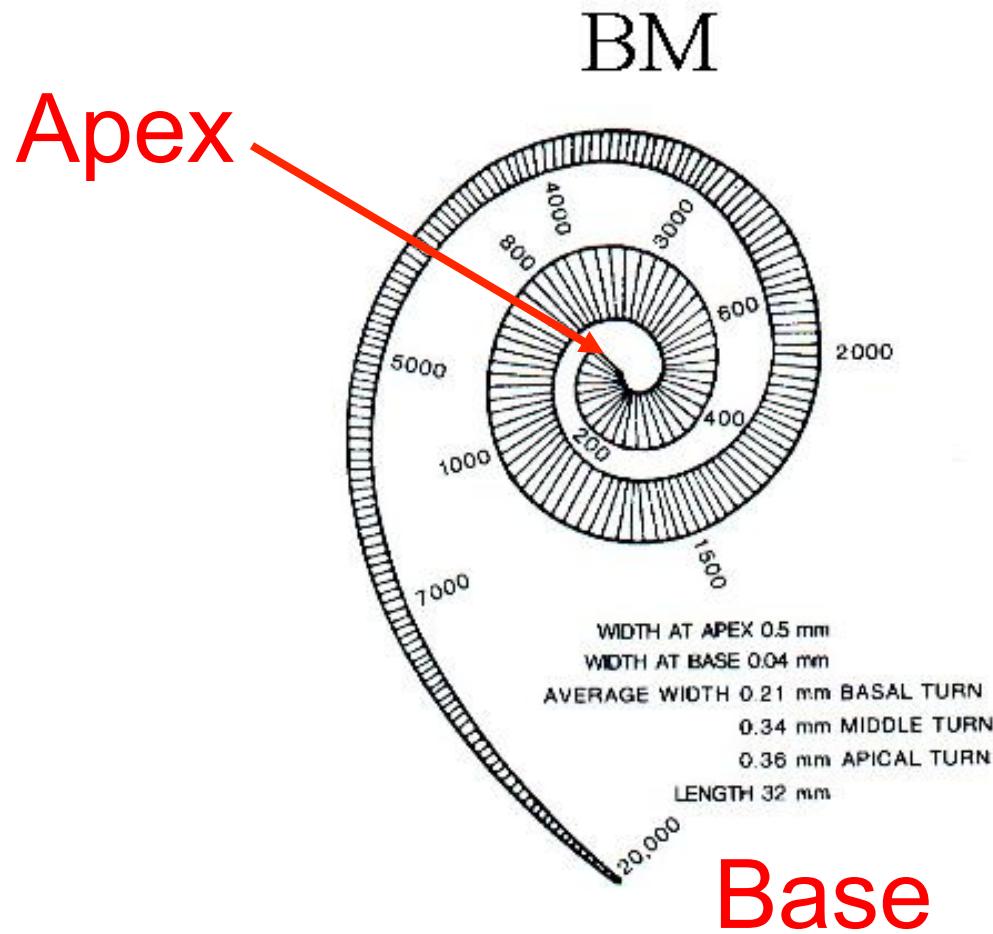


# Distribución de frecuencias en la membrana basilar

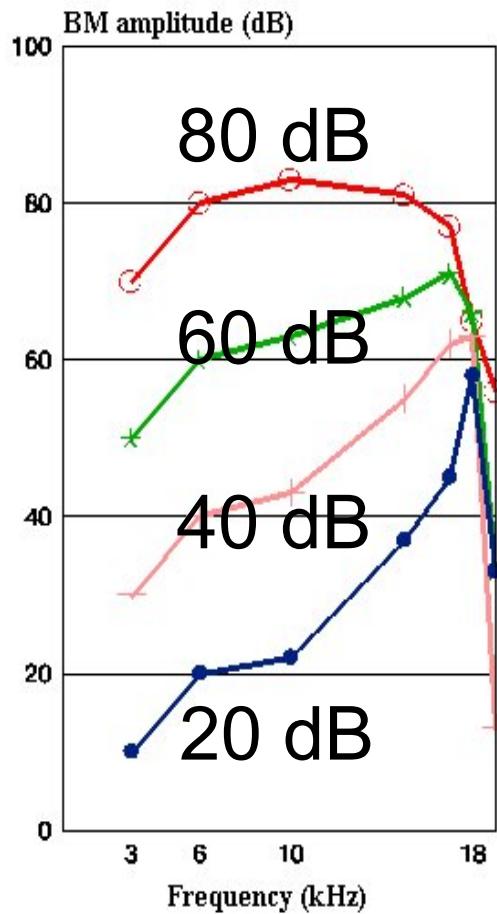


<http://www.hitl.washington.edu/publications/hollander/figure2.2.gif>

# Distribución de frecuencias en la membrana basilar



# Movimiento de la membrana basilar



La vibración en la membrana basilar está más afinada a estímulos de intensidades bajas

Johnstone, Patuzzi, and Yates (1986) Hearing Research 22, 147-153

<http://www.pd.istc.cnr.it/images/asr-lyon-Figure06.jpg>

# George von Bekesy (1899-1972)

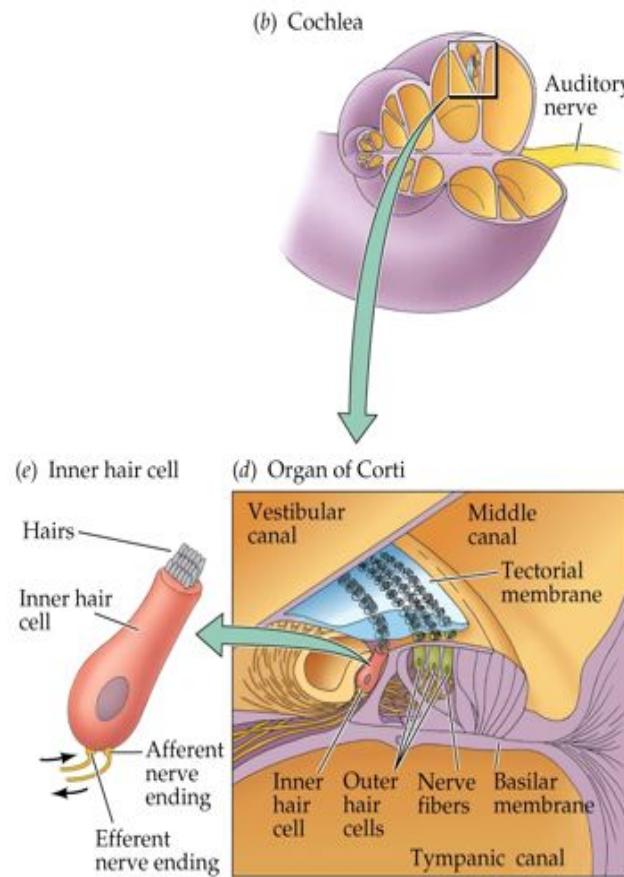


*George von Bekesy* 1961

1961: Premio Nobel Prize en Fisiología o Medicina por sus investigaciones sobre el funcionamiento de la cóclea en los órganos auditivos de los mamíferos.

[http://www.ling.su.se/fon/phoneticians/bekesy\\_in\\_lab.jpg](http://www.ling.su.se/fon/phoneticians/bekesy_in_lab.jpg)

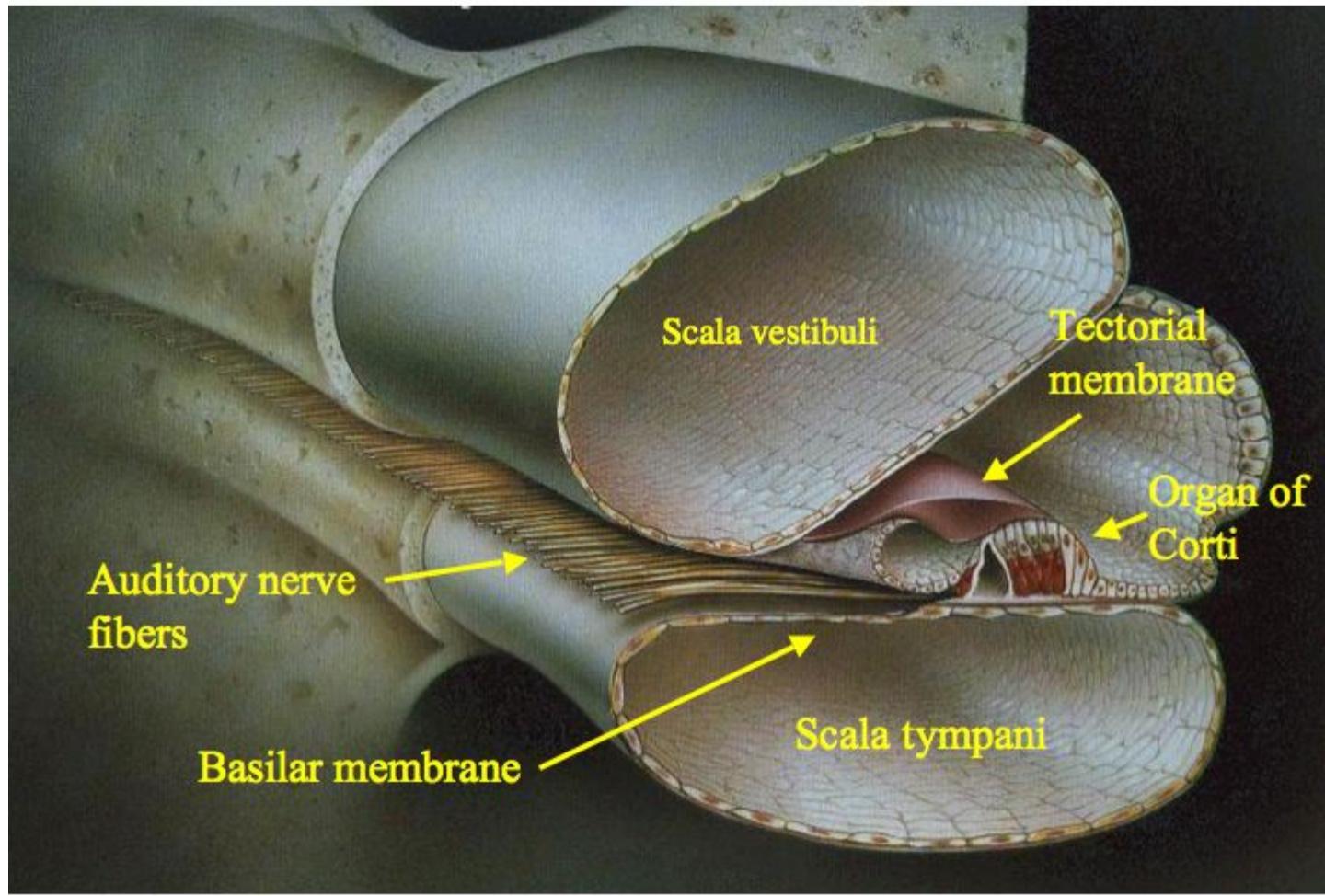
# Sección de la cóclea



© 2001 Sinauer Associates, Inc.

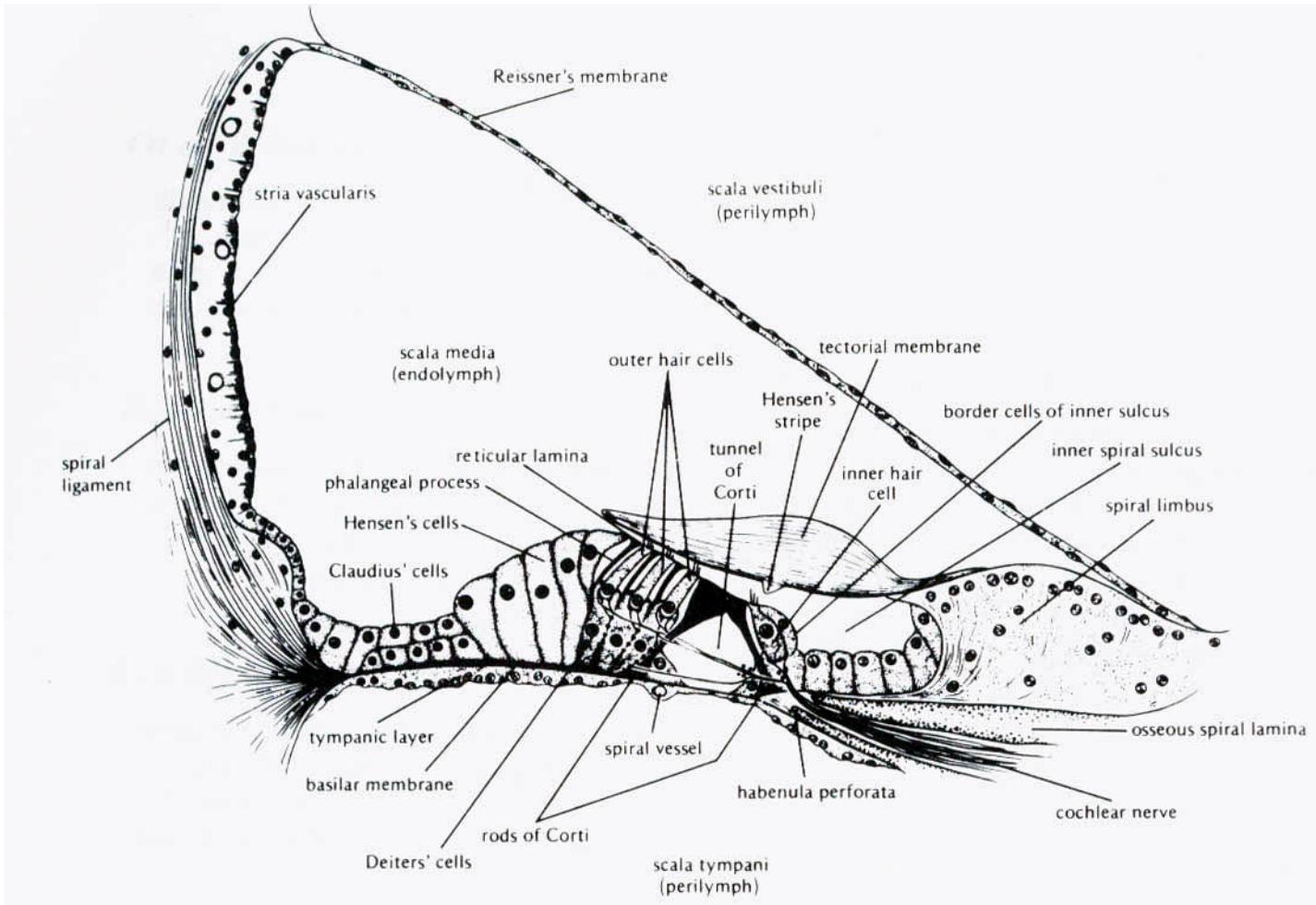
<http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/ear/ear%20slides/Slide5.jpg>

# Sección de la cóclea

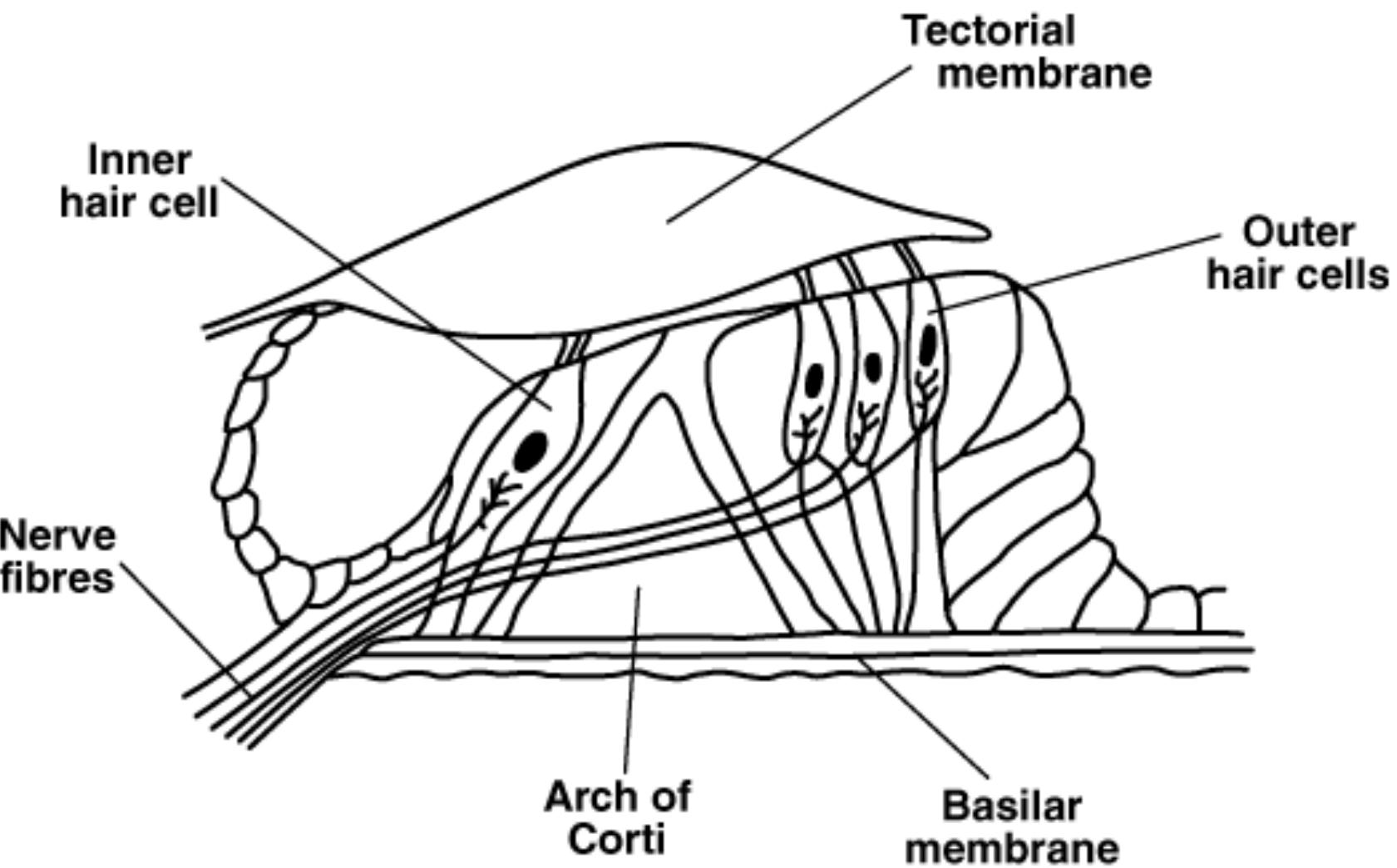


<http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/ear/ear%20slides/Slide6.jpg>

# Sección de la cóclea



# Organo de Corti



[http://cobweb.ecn.purdue.edu/~ee649/notes/figures/inner\\_ear.gif](http://cobweb.ecn.purdue.edu/~ee649/notes/figures/inner_ear.gif)

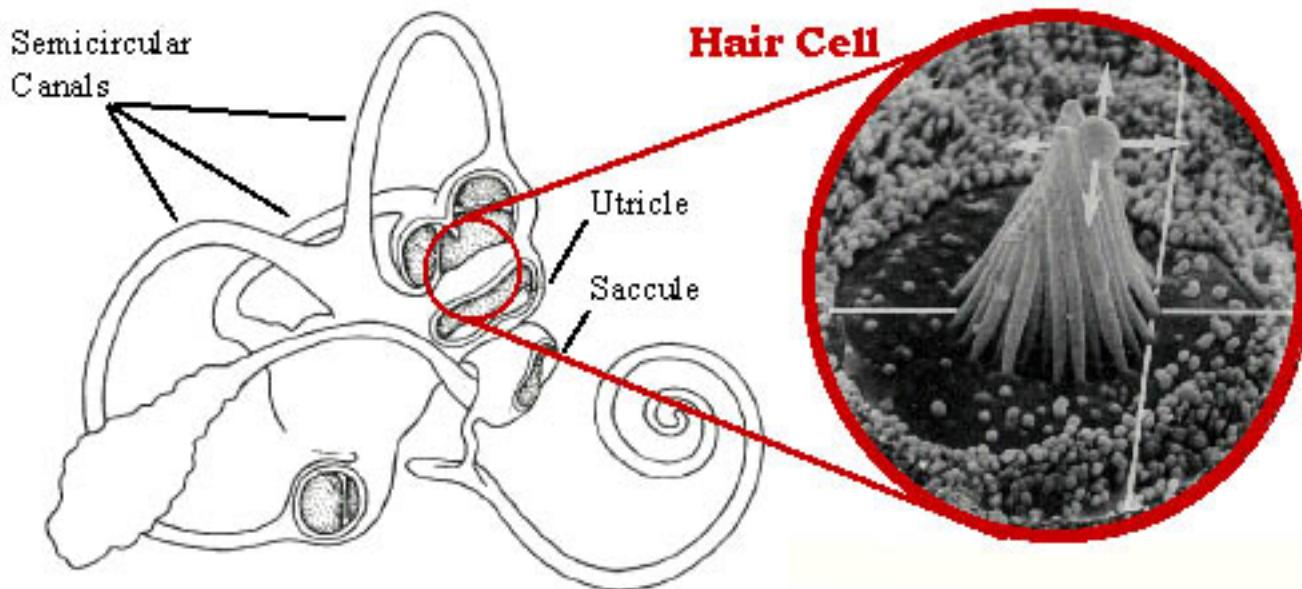
# Organo de Corti

- Lugar donde ocurre la producción de impulsos nerviosos En su fondo se encuentra la membrana basilar
- La membrana basilar separa la scala media de la scala tympani
- La membrana basilar responde a estímulos sonoros y causa vibración en algunas de las 3500 celulas ciliares, conectadas a la membrana tectorial encima de ellas
- Esta vibración es transmitida por el nervio auditivo al cerebro para su procesamiento

# Organo de Corti

<http://youtu.be/1JE8WduJKV4>

# Células ciliares

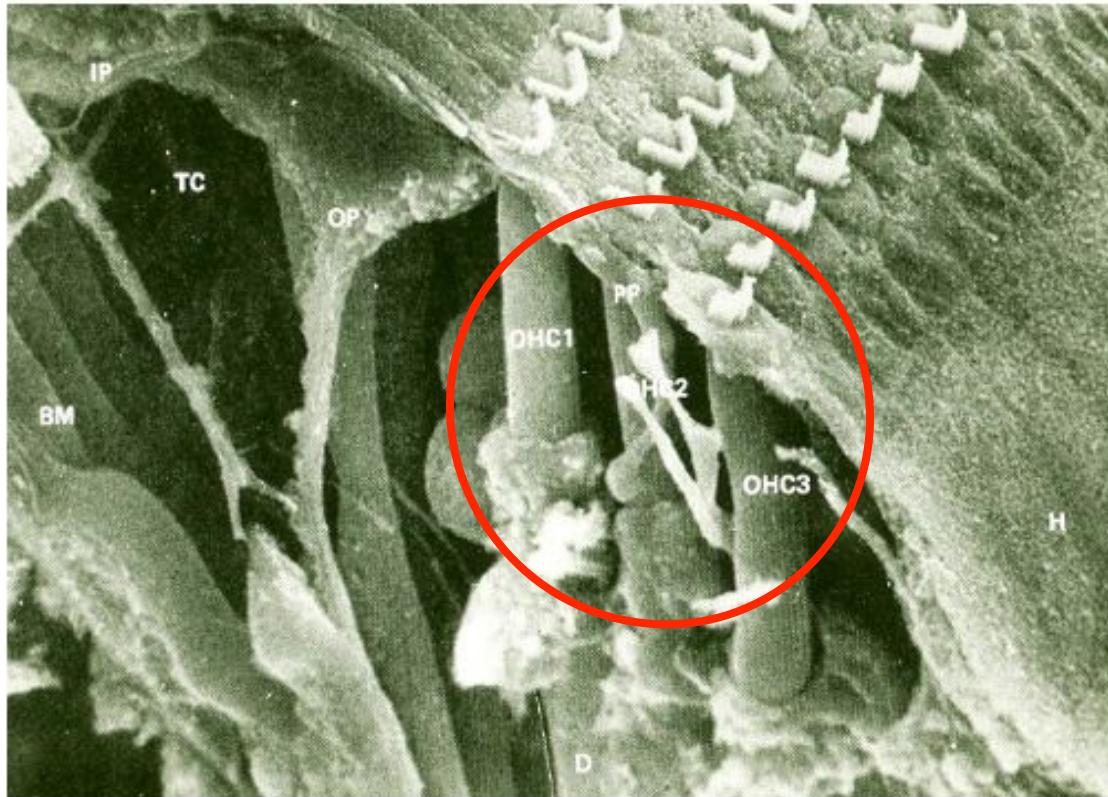


# Células ciliares

- Hay dos tipos: internas y externas
- Las células internas están compuestas por fibras que envían pulsos hacia el cerebro
- Las células externas están compuestas por fibras que reciben pulsos nerviosos provenientes de las áreas superiores del sistema auditivo

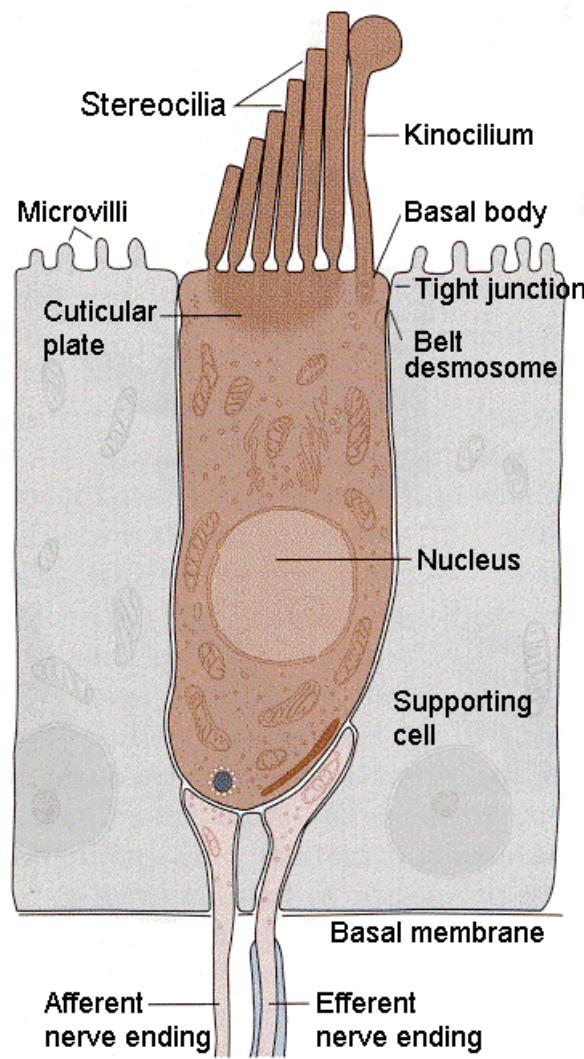
# Células ciliares

## Células ciliares externas(OHCs)



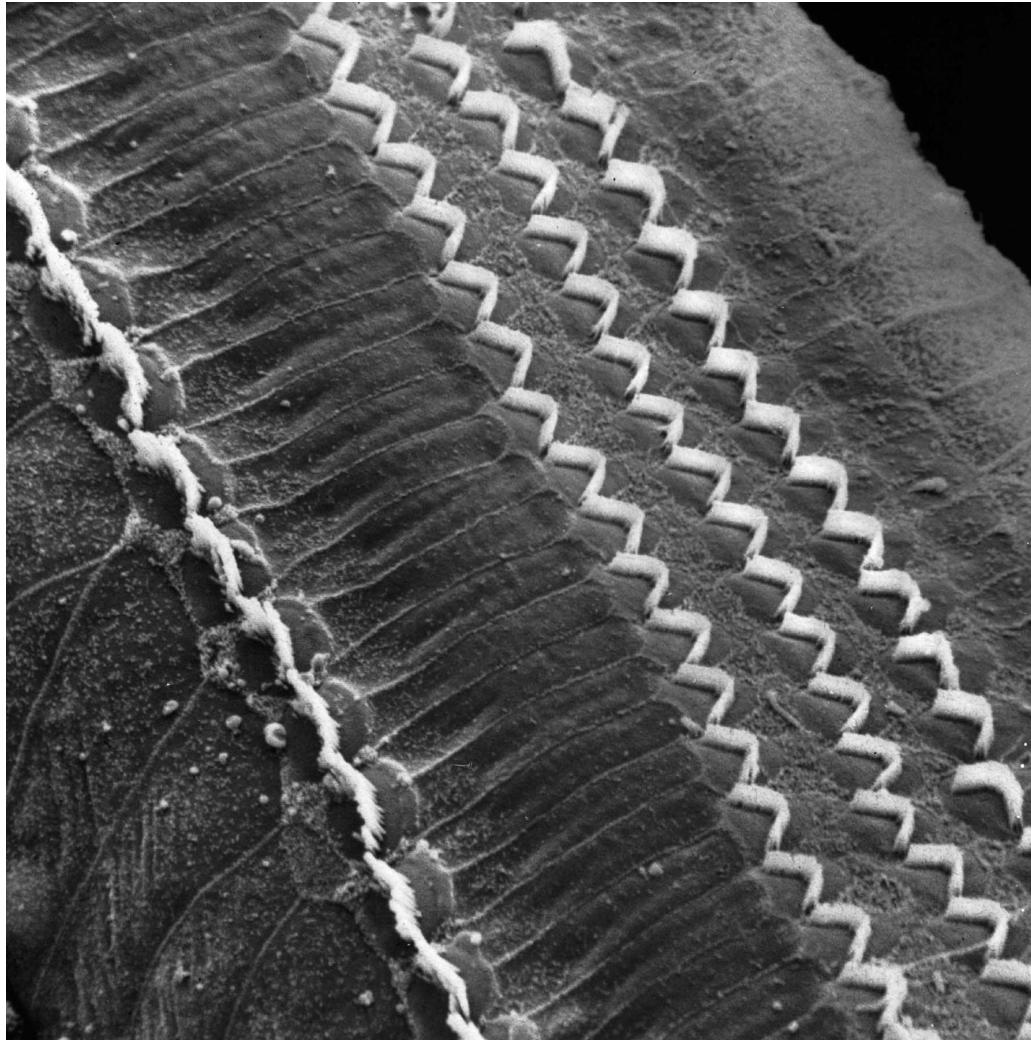
<http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/ear/ear%20slides/Slide14.jpg>

# Célula ciliar



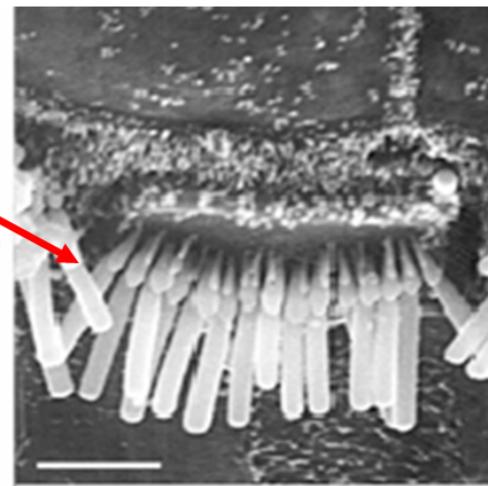
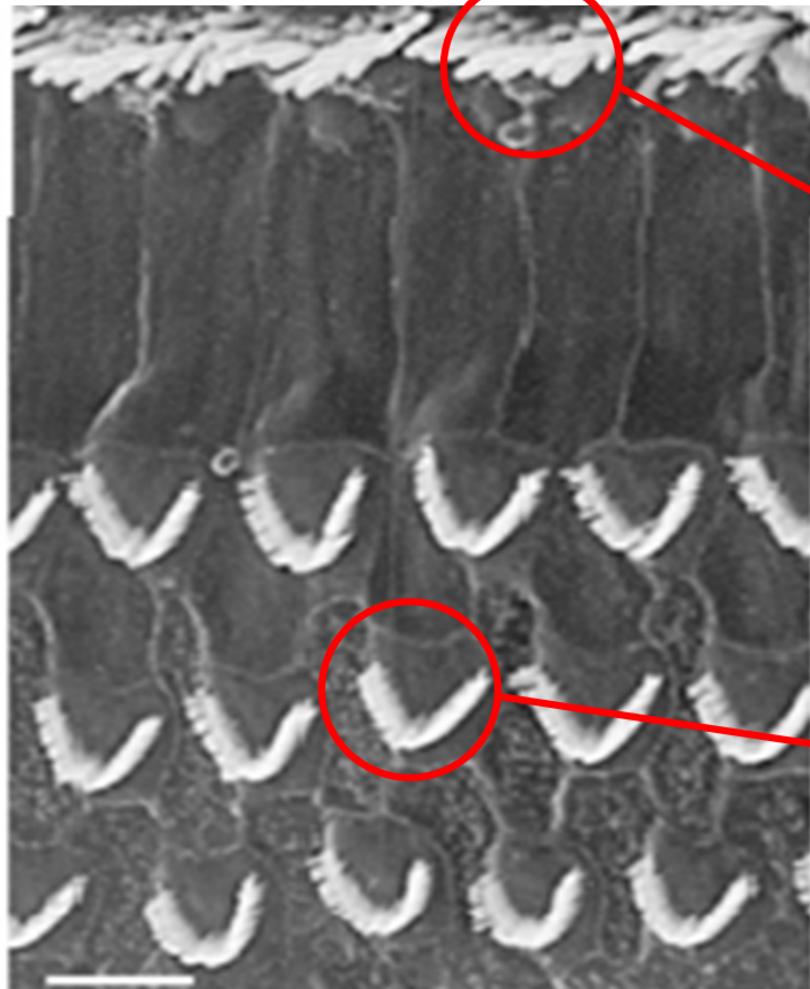
[http://www.unmc.edu/Physiology/Mann/pix\\_4b/hair\\_cell.gif](http://www.unmc.edu/Physiology/Mann/pix_4b/hair_cell.gif)

# Células ciliares: estereocilia

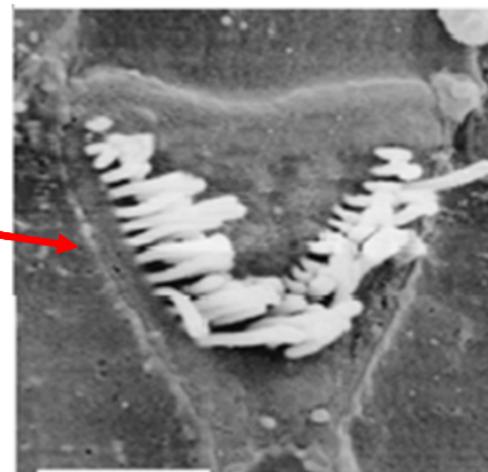


<http://www.hei.org/news/presskits/listen/normalhr.jpg>

# Células ciliares: estereocilia



IHC

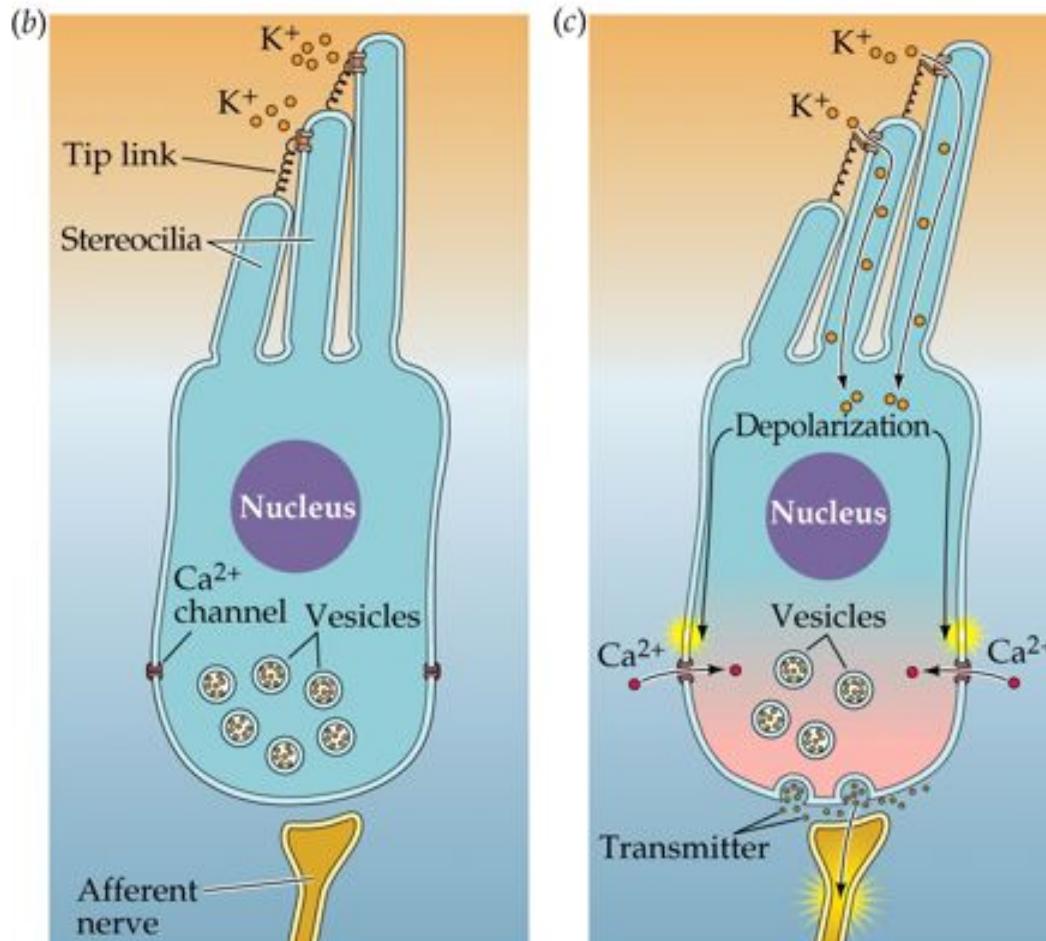


OHC

Quelle: Anderson et al. 2000

<http://www.uni-kl.de/FB-Biologie/AG-Friauf/seminar/link2/Stereocilien%20html/1detail.png>

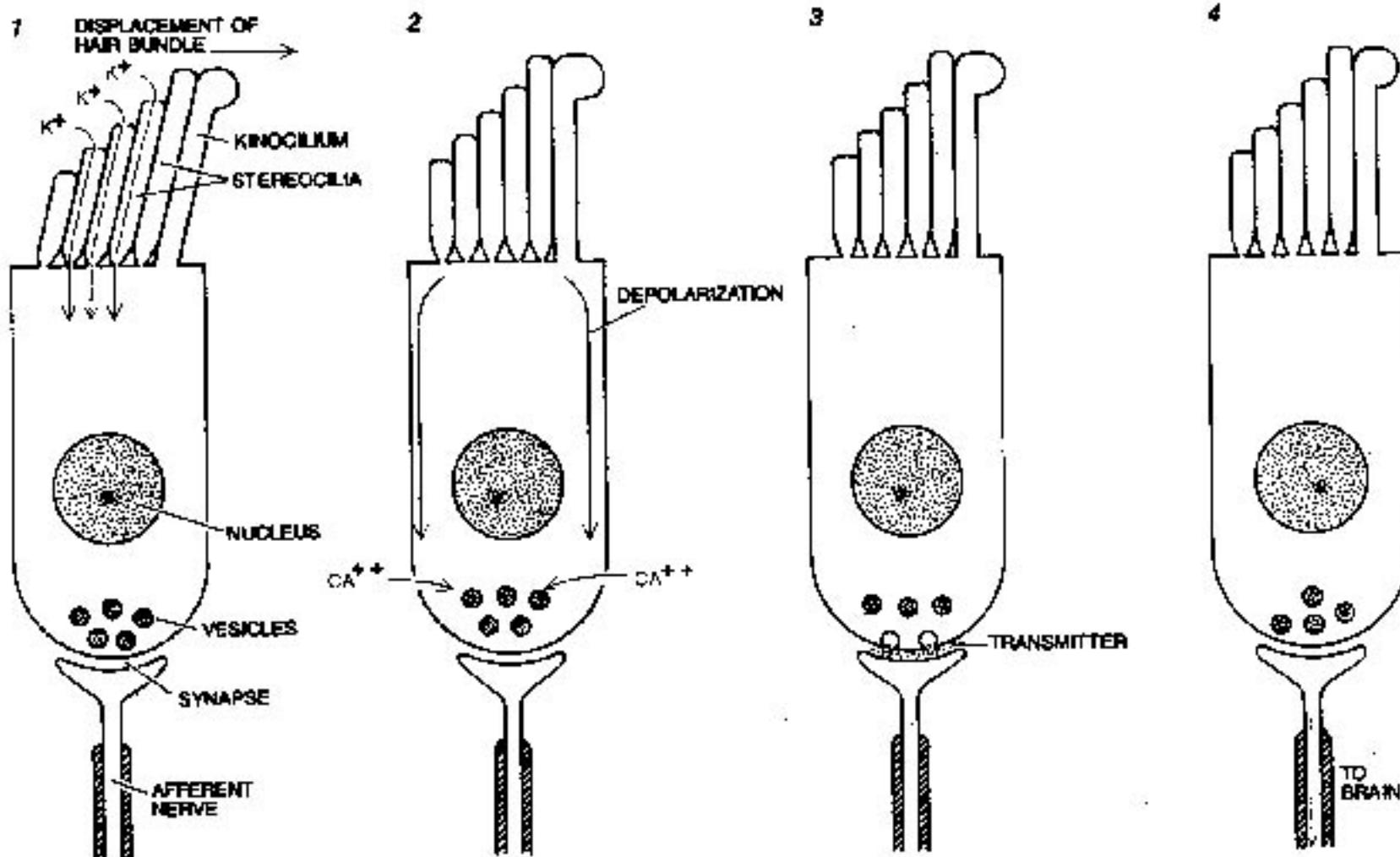
# Transducción



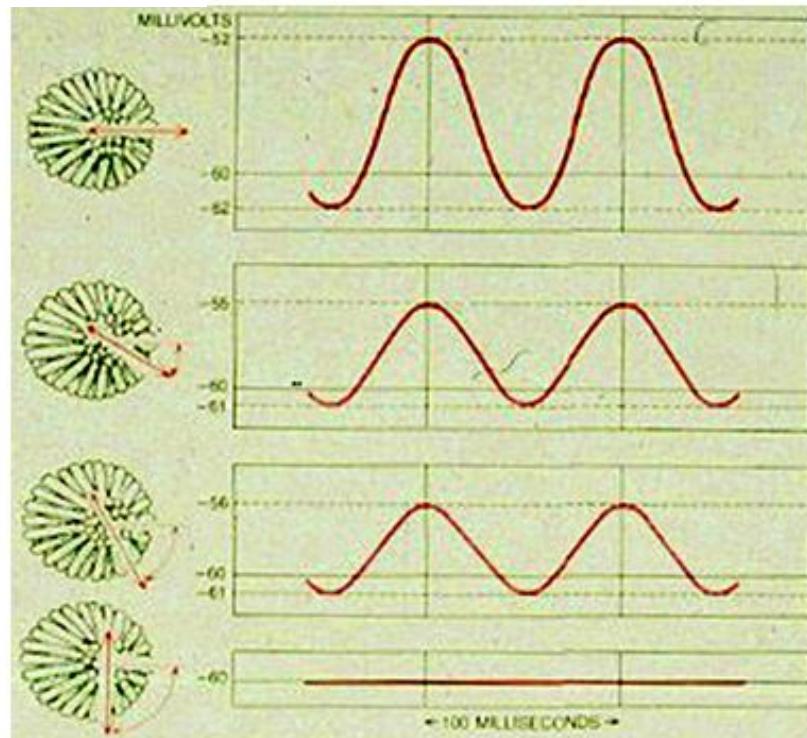
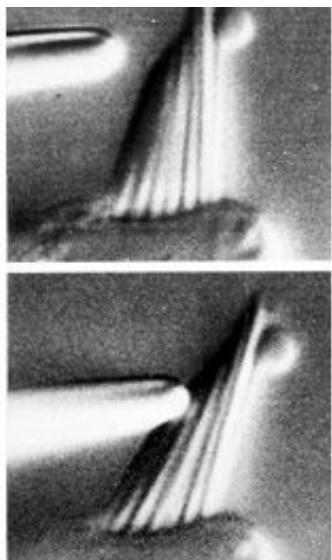
© 2001 Sinauer Associates, Inc.

<http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/ear/ear%20slides/Slide11.jpg>

# Transducción



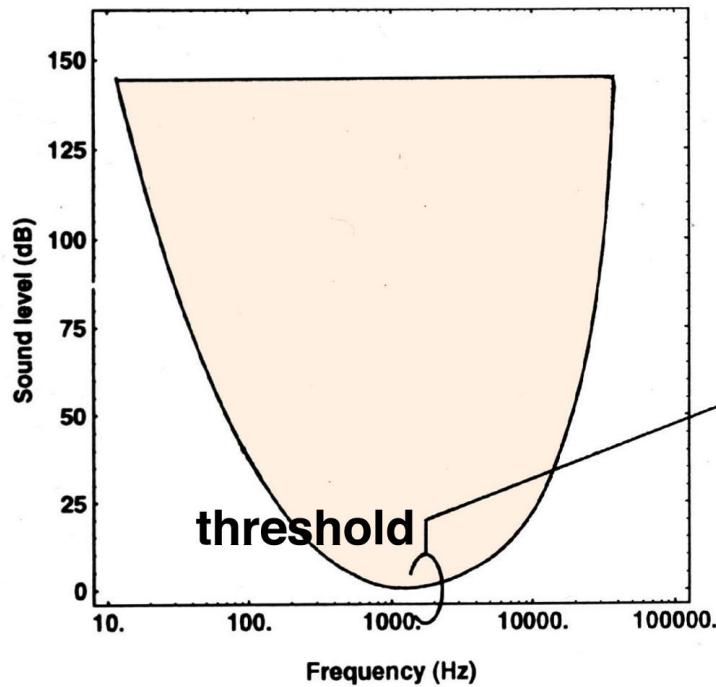
# Respuestas de las células ciliares



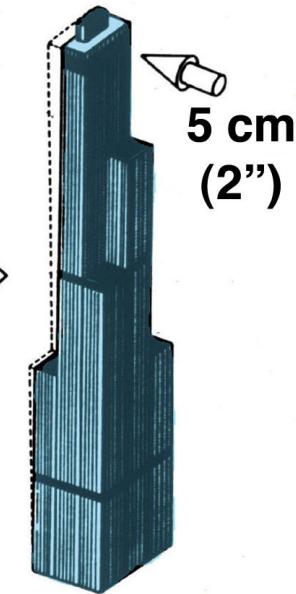
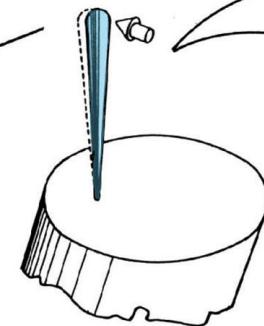
Minimum displacement to evoke response: 1 trillionth of a meter.  
Temporal delay: 1 millionth of a second.

<http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/ear/ear%20slides/Slide12.jpg>

# Sensitividad auditiva

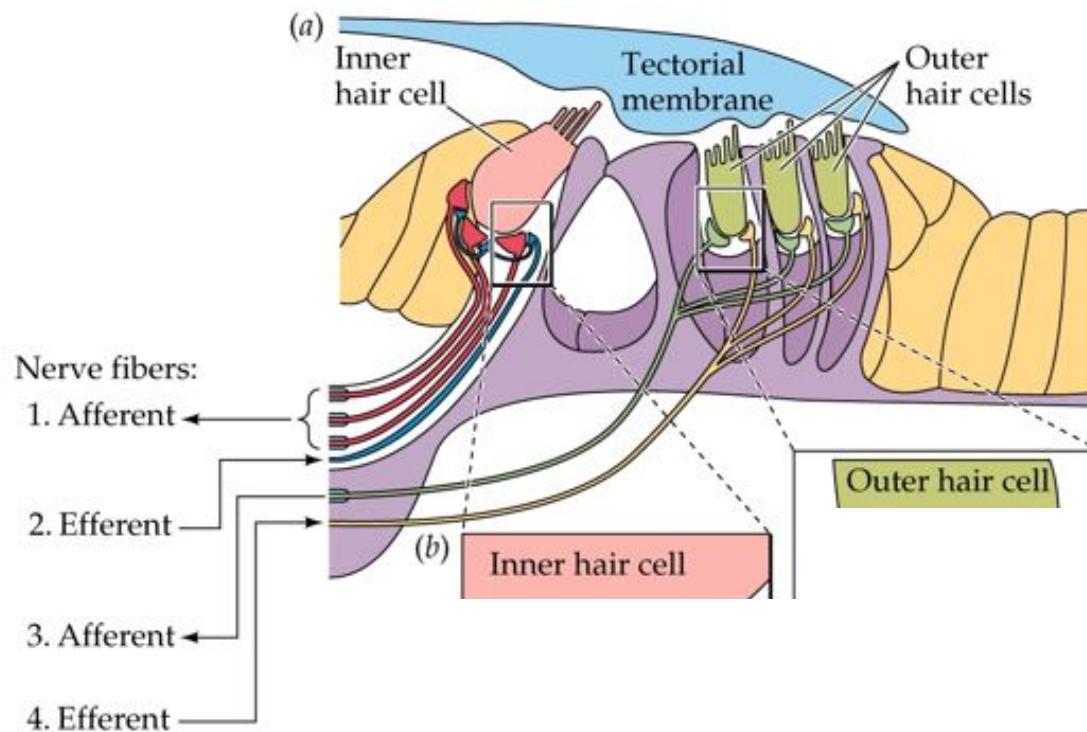


0.3 nm  
(0.00000001")



Cortesía de Peter Dallos

# Células ciliares



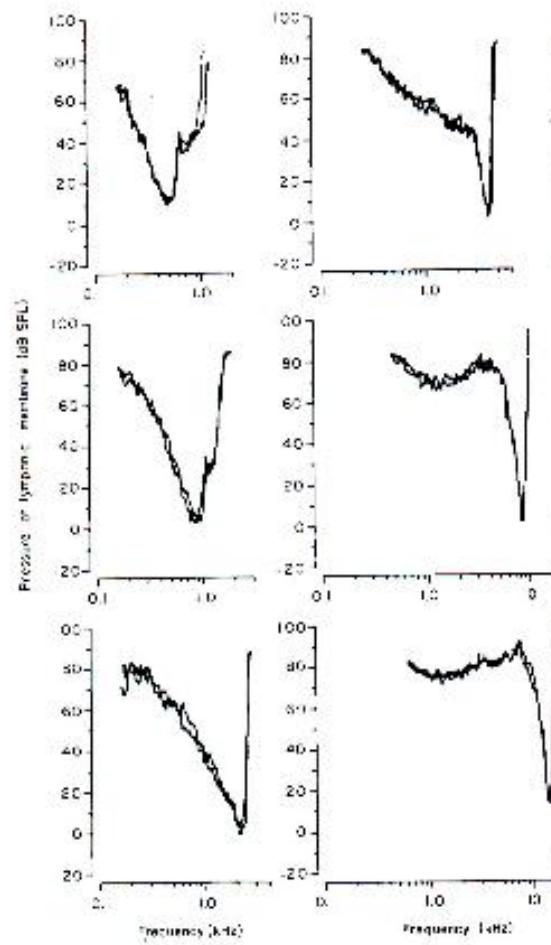
Aferente (hacia el cerebro)

Eferente (desde el cerebro)

<http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/ear/ear%20slides/Slide7.jpg>

# Células ciliares

Frequency  
selectivity of  
Individual  
Nerve Fibres



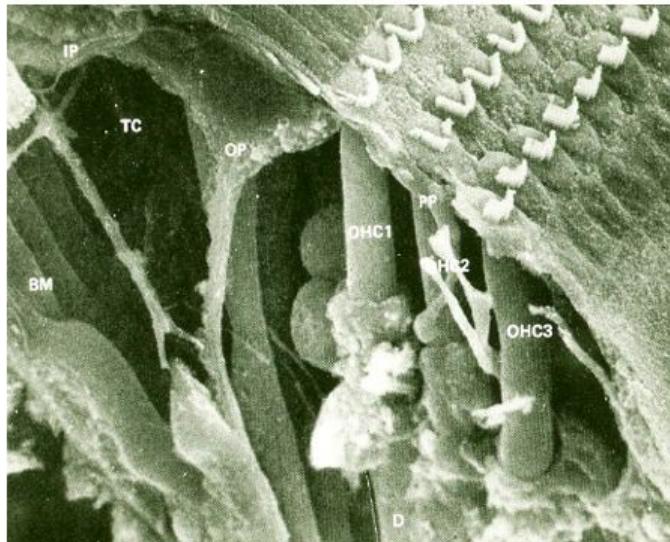
# Células ciliares

[http://youtu.be/rd6\\_zrvwk7U](http://youtu.be/rd6_zrvwk7U)

# Cóclea dañada por ruido

# Cóclea dañada por ruido

Cóclea normal



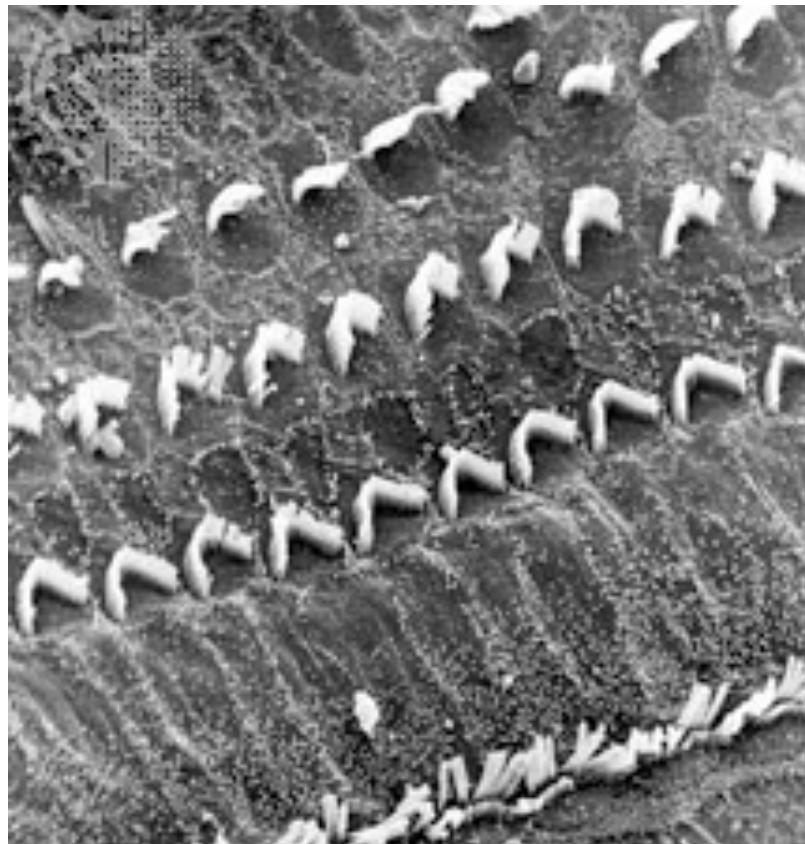
Cóclea dañada



Adapted from: <http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/ear/ear%20slides/Slide14.jpg>

# Cóclea dañada por ruido

Cóclea normal



Cóclea dañada



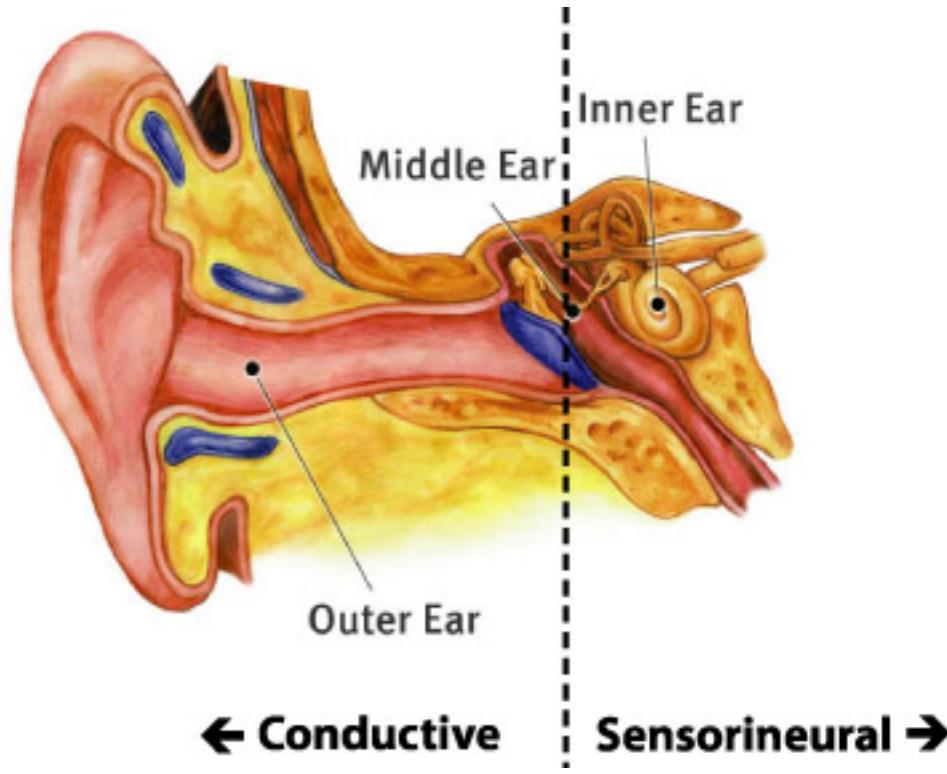
<http://cache.eb.com/eb/image?id=4070&rendTypeId=4>

# Cóclea dañada por ruido



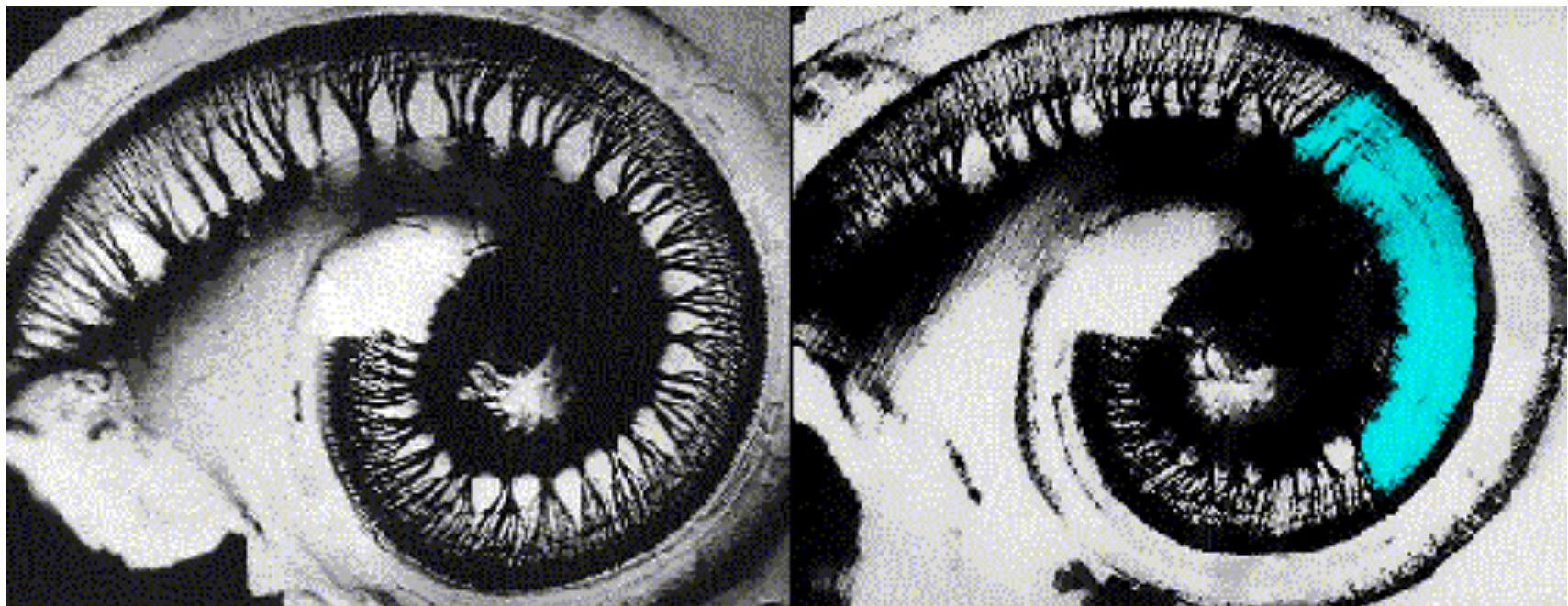
<http://www.hei.org/news/presskits/listen/damagedhr.jpg>

# Pérdidas auditivas



<http://www.absolutehearing.com/hearing.html>

# Pérdida auditiva Sensorineural



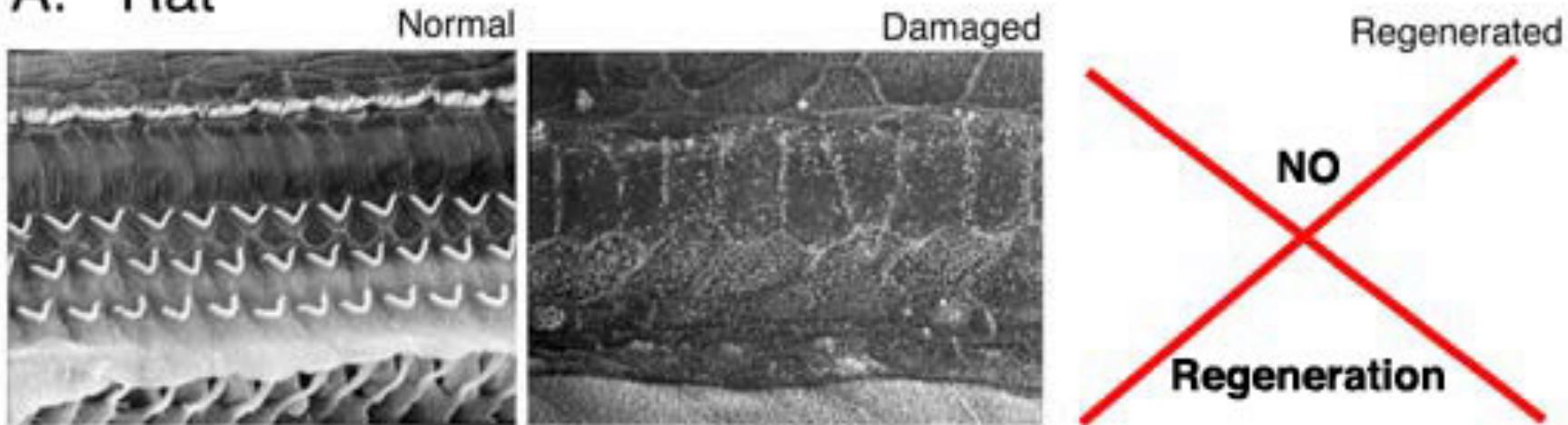
[http://www.batalaliverpool.com/health\\_&\\_safety\\_files/image003.gif](http://www.batalaliverpool.com/health_&_safety_files/image003.gif)

# Pérdidas auditivas

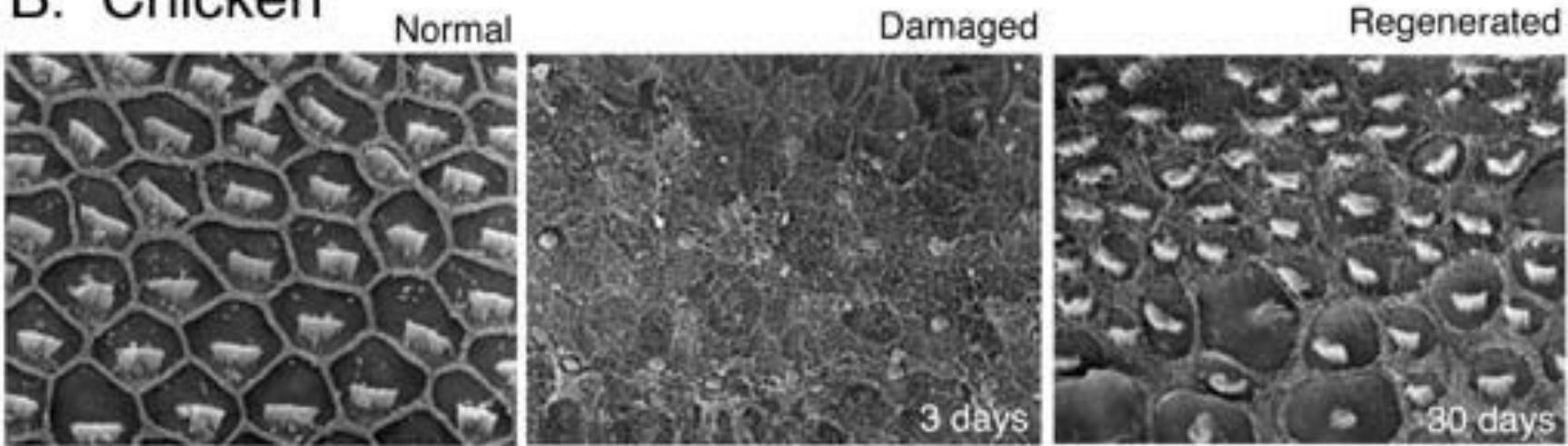
<http://youtu.be/WX8mcFfQXCE>

# Células ciliares dañadas

A. Rat



B. Chicken



[http://depts.washington.edu/hearing/images/IHCR\\_Fig4.jpg](http://depts.washington.edu/hearing/images/IHCR_Fig4.jpg)

# Pérdida auditiva

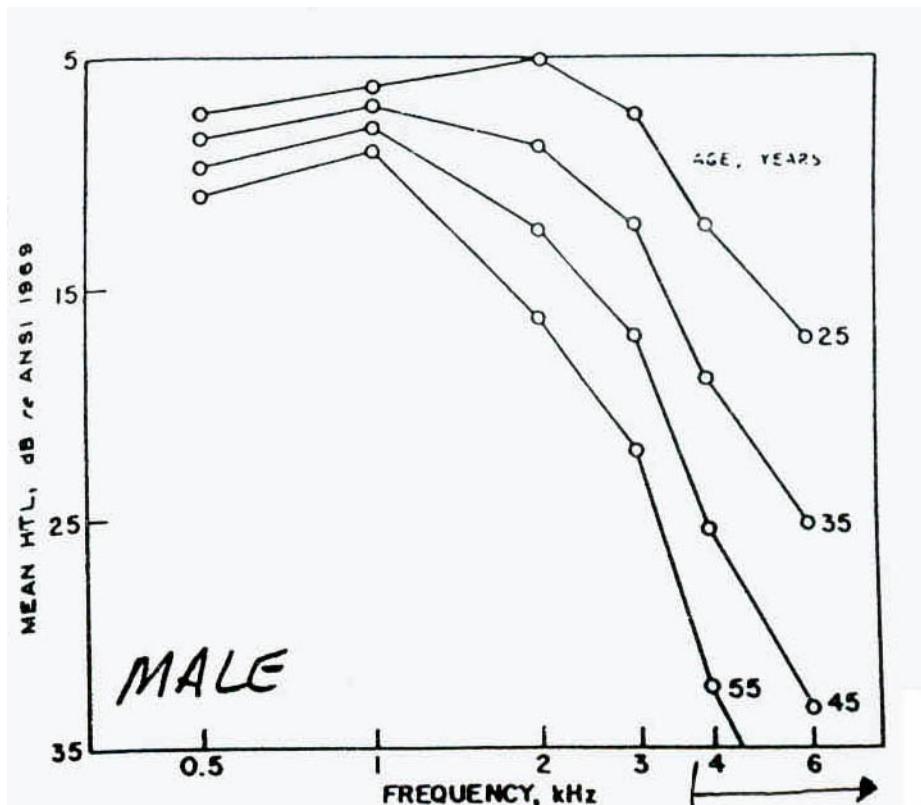


FIG. 1. Audiogram format of the North Carolina male aging curves (non-normalized) (1976).

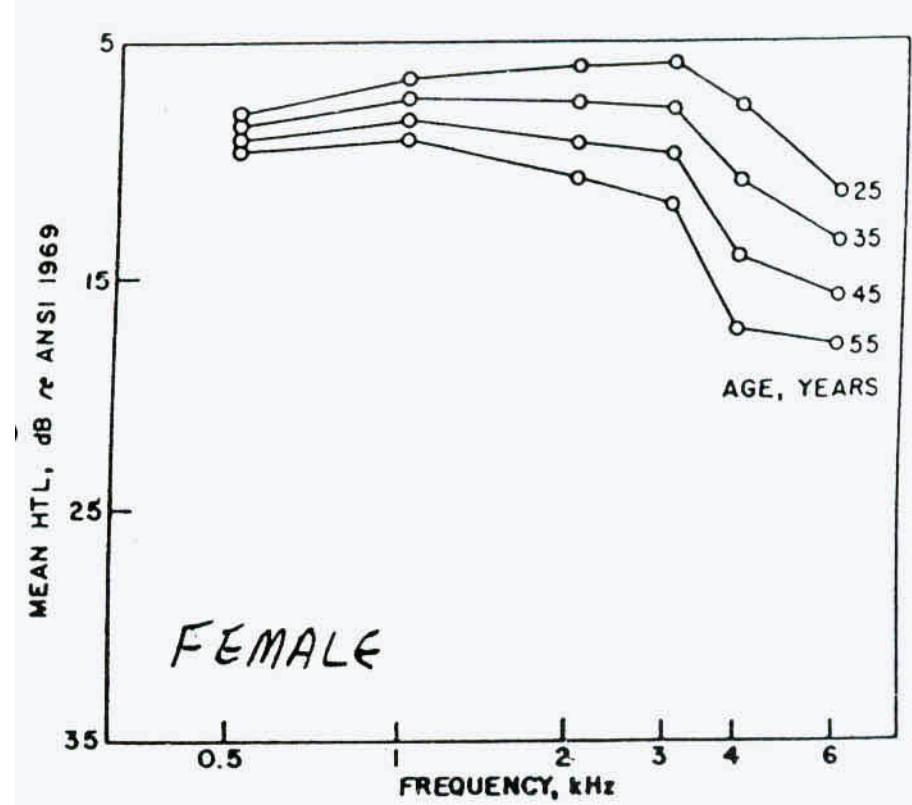


FIG. 2. Audiogram format of the North Carolina female aging curves (non-normalized) (1976).

# Implante de oído medio

[http://youtu.be/F\\_VFwO2dco0](http://youtu.be/F_VFwO2dco0)

# Implante de cóclea

<http://youtu.be/LOhj1Ypp-sY>

[http://youtu.be/-WA7-k\\_UcWY](http://youtu.be/-WA7-k_UcWY)

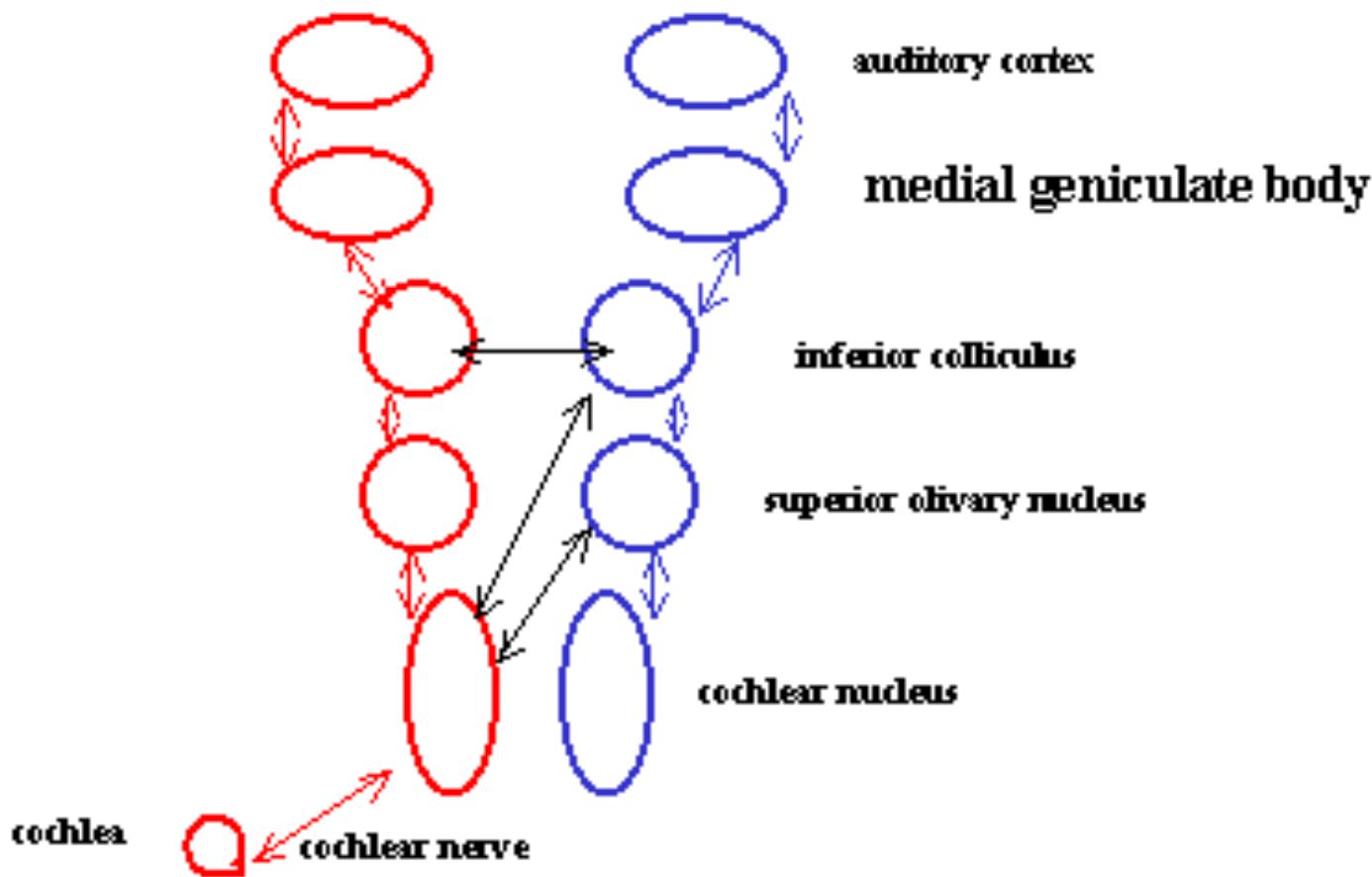
<http://youtu.be/lkSF2ALgIGk>

<http://youtu.be/O8MFt5rz1lc>

<http://youtu.be/k9dTntdC9s4>

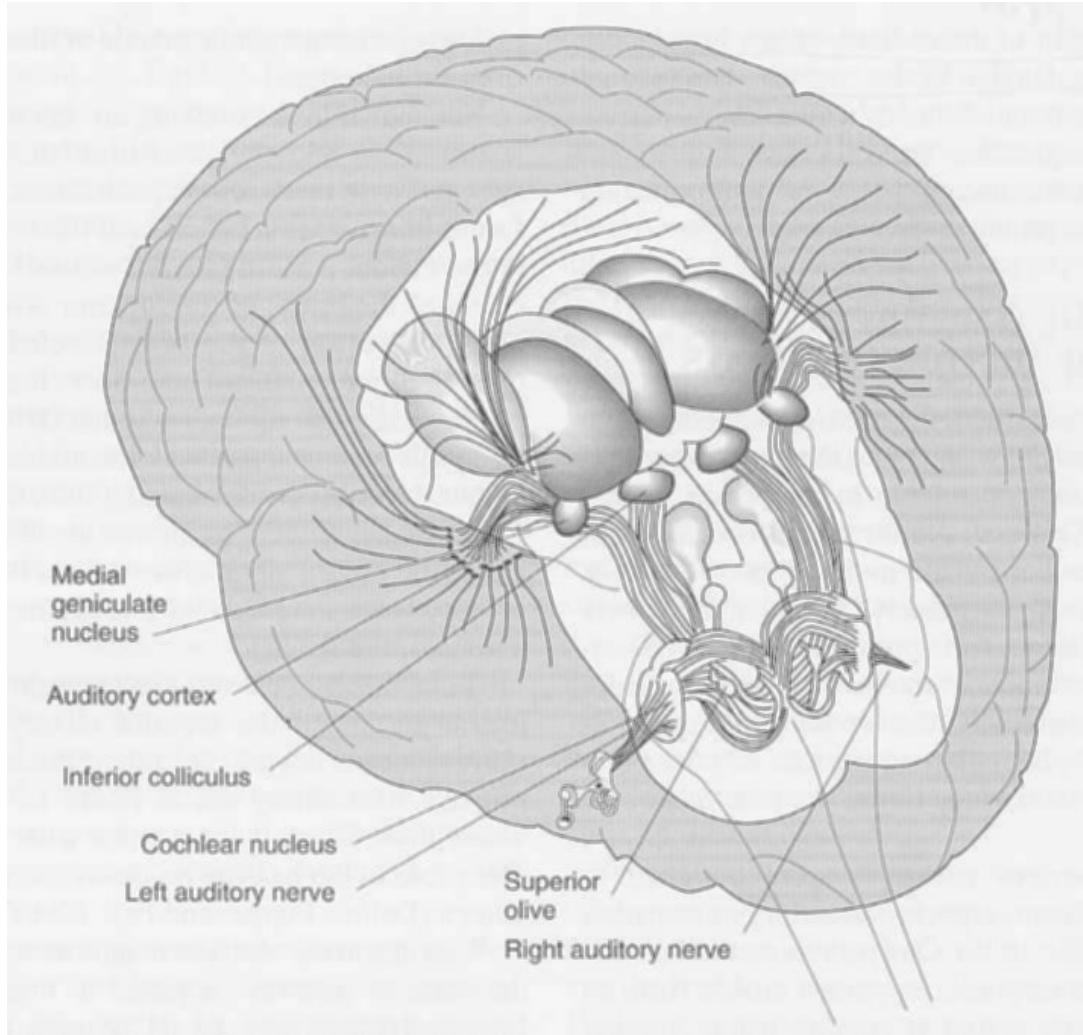
# Ruta del sistema auditivo

# Ruta del sistema auditivo



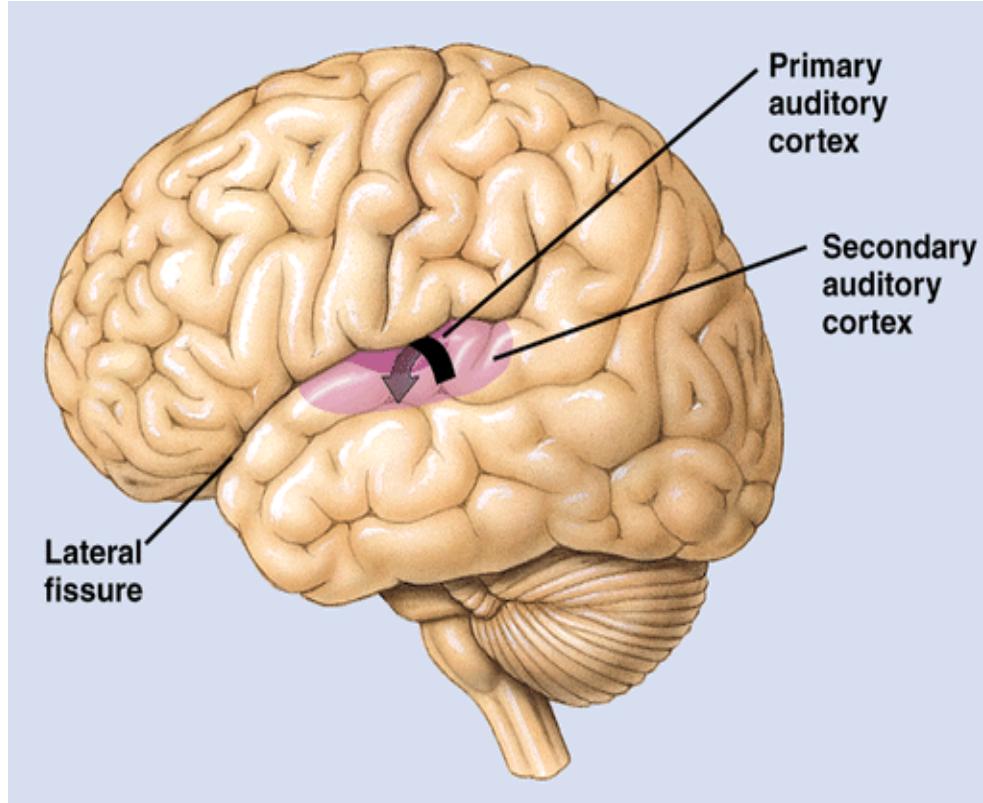
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/d/d4/Aud\\_pathway.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/d/d4/Aud_pathway.png)

# Ruta del sistema auditivo



<http://www.owlnet.rice.edu/~psyc351/imagelist.htm#Auditory%20Perception>

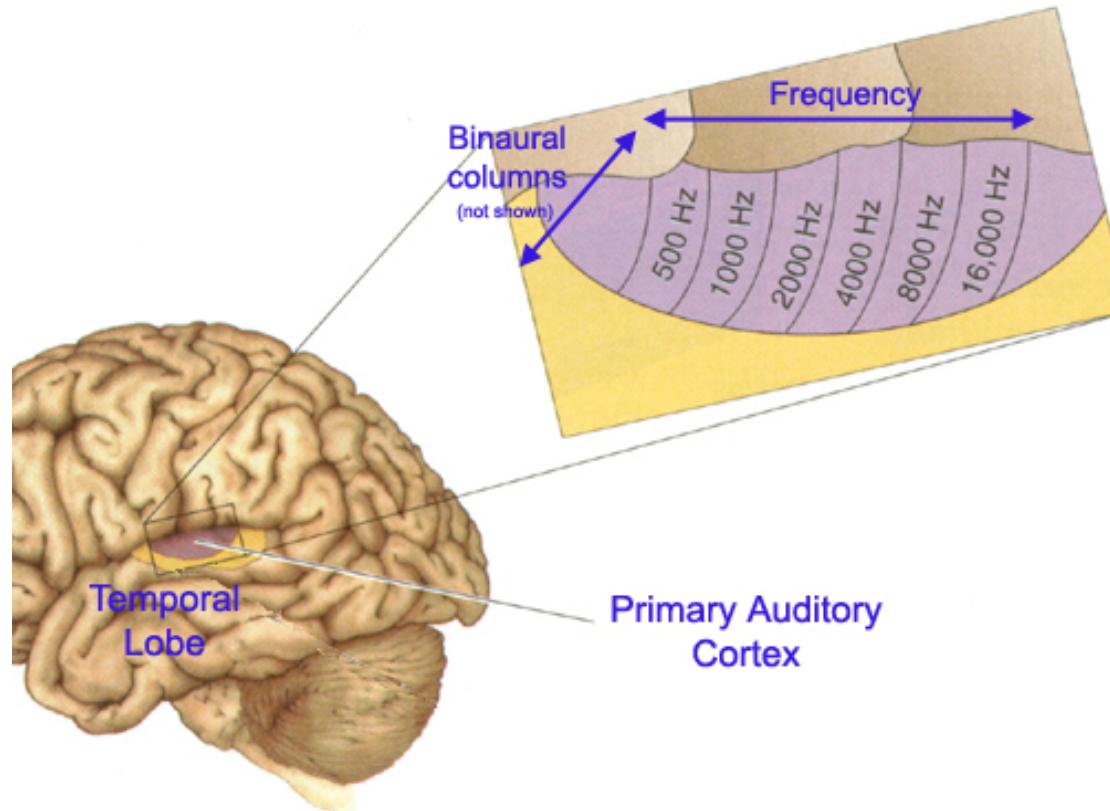
# Corteza auditiva



La corteza auditiva primaria se localiza en la fisura lateral  
La corteza auditiva secundaria (6 áreas en los humanos)  
envuelve la corteza auditiva primaria.

# Corteza auditiva

Tonotopic Map Has Columnar Organization



La corteza auditiva es tonotópica.

<http://www.d.umn.edu/~jfitzake/Lectures/UndergradPharmacy/SensoryPhysiology/Audition/TonotopicMaps.html>