

# **FISIOLOGIA AUDITIVA. NUEVAS APORTACIONES**

**Julio Sanjuán Juaristi. Mar Sanjuán Martínez –Conde.**

## **RESUMEN.**

### **Introducción y objetivos.**

Ante la evolución de las teorías sobre fisiología auditiva, planteamos cambios, respecto conceptos actuales, siguiendo recientes trabajos. El objetivo fundamental es exponer alternativas a los postulados vigentes basados en la acción de la onda viajera sobre la membrana basilar. .

### **Métodos.**

Esta aportación se fundamenta en el empleo esencial de instrumentación específica para el estudio funcional tonotópico de la actividad coclear y en la exposición de situaciones funcionales paradójicas.

### **Resultados.**

Aportamos tres primicias funcionales frente al criterio actual: latencia de los microfónicos cocleares, imposibilidad de enmascaramiento, sobre los receptores sensoriales y la ausencia de fatiga auditiva a nivel coclear.

### **Conclusiones**

Los receptores sensoriales, son los responsables fundamentales del análisis frecuencial, efectúan la conversión mecano eléctrica, actúan como amplificadores del estímulo sonoro y tienen latencia como corresponde a su participación electrobiológica activa.

## **PALABRAS CLAVE.**

Microfónicos cocleares.  
Membrana basilar.  
Celulas ciliadas externas. Onda viajera.

## **INTRODUCCION**

### **Revisión histórica.**

Coturno en 1760 pudo ser el primero en comparar la cóclea a las cuerdas de un laúd. Un anatomista francés, GJ Duvemey, examinando la estructura ósea de la cóclea, expuso el "Mecanismo analítico del oído interno" que fue traducido al inglés por J. Marshall, publicado en Londres en dos ediciones, 1737 y 1748. y citado por el Profesor Arthur Keith (Wright 163). Describió el oído interno como una serie de resonadores, teoría muy similar a la posterior de Helmholtz.

En el año 1807 también Thomas Young suponía que una serie de fibras dispuestas a lo largo de la cóclea eran susceptibles a vibraciones simpáticas a diferentes frecuencias.

En el siglo diecinueve, seguían pensando en alguna forma mecano acústica para explicar la función coclear. De una forma más precisa Hermann von Helmholtz (1) planteo su teoría de la resonancia.

Resumiendo la evolución conceptual, llegamos a Georg von Bekesy (2, 3, 4,5) que en 1918 estableció las bases de la "resonancia" de la membrana basilar y publicó su primer artículo sobre el patrón de vibraciones del oído interno en 1928.

Estudió el oído interno, mediante la construcción de modelos mecánicos de la cóclea y desarrolló su teoría de ondas de propagación, por lo que recibió el Premio Nobel en 1961.

Por observaciones microscópicas con luz estroboscópica de partículas de plata sobre la membrana de Reissner, von Bekésy expuso la teoría de la onda viajera, que aun sigue en vigor, aunque perdiendo protagonismo. Asumió que los movimientos de la membrana de Reissner, eran similares a los de la membrana basilar.

Estudió el oído interno, mediante la construcción de modelos mecánicos de la cóclea y desarrolló su teoría de ondas de propagación, por lo que recibió el Premio Nobel en 1961.

Por observaciones microscópicas con luz estroboscópica de partículas de plata sobre la membrana de Reissner, von Bekésy expuso la teoría de la onda viajera“, que aun sigue en vigor, aunque perdiendo protagonismo. Asumió que los movimientos de la membrana de Reissner, eran similares a los de la membrana basilar.

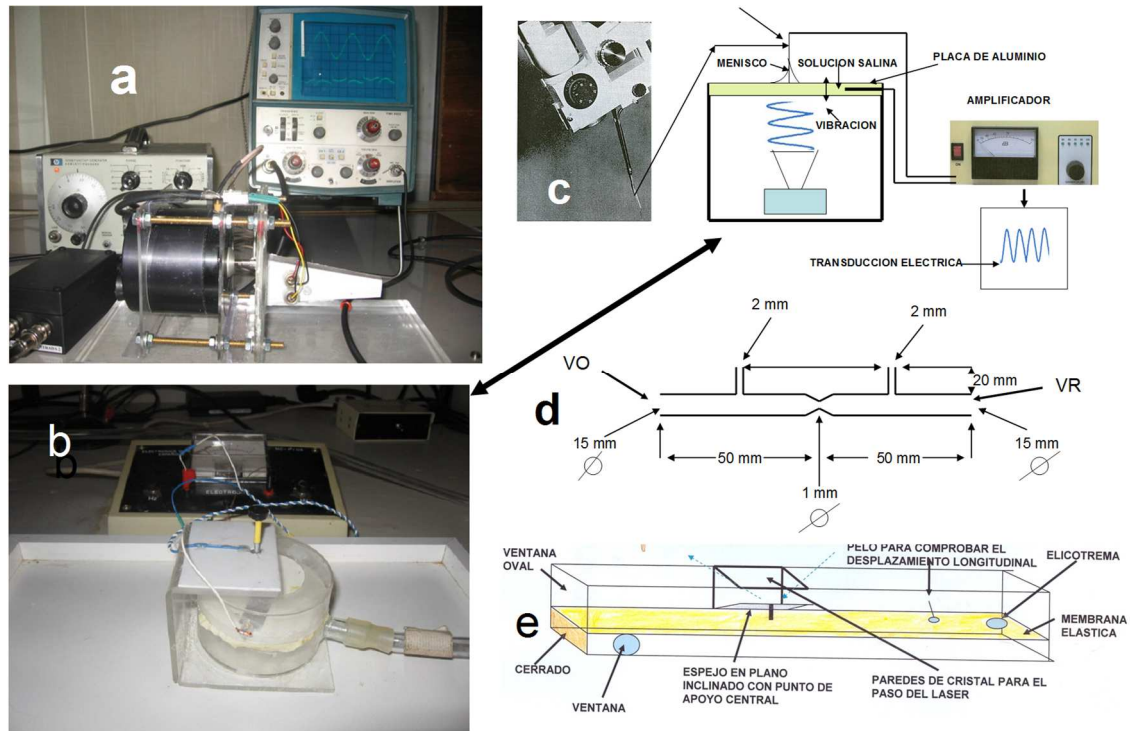
Experimentó sobre cócleas de diversas especies. Ocasionalmente consiguió la cóclea de un cadáver de elefante, con la que trabajo con más comodidad, ya que el canal auditivo del elefante, tiene nada menos que  $\pm 20$  cm de largo.

Coincidiendo con Bekesy, en 1.930 Ernest Gleen Wever y Charles Bray exponen la “teoría de la frecuencia”, también llamada *teoría de la periodicidad*. (6,7) Suponen que la membrana basilar vibra en su totalidad y que estas vibraciones las trasporta el nervio hasta el cerebro, que sería el elemento analizador.

A causa del periodo refractario, una fibra nerviosa tiene un límite en el transporte de los potenciales espiga, más o menos 1.000 por segundo, lo cual limita la posibilidad de conducir frecuencias superiores. Concepto erróneo ya que el número de potenciales espiga en el VIII par, está condicionado por la intensidad del estímulo, no por su frecuencia. En periodo refractario o cerca del mismo, otros receptores próximos, entran en actividad y producen espigas en sus propias fibras.

En 1.949 se propuso el “principio de andanada” .basándose en la idea de que una combinación de fibras transmiten “codificadas” frecuencias más elevadas.

William S. y Luis Robles en 1974 midieron en monos ardillas, la amplitud y fase de la membrana basilar y las vibraciones del martillo en oído medio, con la técnica de Mössbauer (8, 9,10,11,) Para ello utilizaron niveles presión sonora entre 70 y 120 dB. SPL. Todos los investigadores utilizan fuertes estímulos sonoros, para poder visualizar las vibraciones intracocleares...Llevados por un deseo de comprobaciones mecánicas y siguiendo a otros autores (12.13, 14, 15, 26) hemos realizado modelos de cócleas...



**Fig. 1**

Diversos modelos físicos. a.- Vibrador excitado por un generador de funciones. Introduce en un modelo de cóclea diversas frecuencias a distinta intensidad. El modelo de cóclea dispone de sensores de presión en la seudo rampa vestibular y timpánica. b y c.- dispositivos para el estudio de la transducción mecano eléctrica. d.- Esquema de un tubo, para estimar el efecto del elicotrema respecto al tránsito de la presión sonora, desde la rampa vestibular a la timpánica, en función a la frecuencia. e.- Esquema de un dispositivo para estudiar las vibraciones de la membrana basilar. (Ver el trabajo “Modelos físicos de la cóclea”.

Ayudados por avances en electrónica y microscopia con luz estroboscópica, buscamos la medición y visualización de las vibraciones sonoras. Con ello perseguíamos las características de deformación de una membrana, seudo basilar, ya que a su inflexión se atribuye en gran medida el análisis frecuencial. Solo alcanzamos conclusiones físico acústicas básicas.

No nos parece correcto, establecer la comparación de un modelo mecánico respecto a la compleja función coclear.

Actualmente sigue en parte vigente, el concepto funcional de la onda viajera, según el cual actúa el estímulo sonoro, como “motor” de la deformación de la membrana basilar, es responsable de la selección tonotópica de los receptores sensoriales.

Respecto a esta concepción mecano-funcional, surgen importantes dudas.

En 1948, Gold, expuso la existencia de procesos mecánicos activos y en 1960 Johnstone y Boyle demostraron, en experimentación animal, que la inflexión de la membrana basilar, era insuficiente para explicar la precisa selectividad frecuencial de la cóclea. Comprobaron que en un animal vivo la “resonancia electrobilógica” era mucho más aguda, unos 50 dB más, que la encontrada por Bekesy.

La diferencia entre lo expuesto por Johnstone y Boyle respecto a Bekesy consiste en que añaden al análisis espectral, la participación activa de procesos de filtrado correspondiente a los receptores sensoriales, que modificarían la motilidad de la membrana, hipótesis que mantiene en parte el postulado sobre la resonancia basilar.

La participación activa de otros factores, en la agudeza selectiva, es seguida actualmente por numerosos investigadores. (17, 18) En 1980 las teorías sobre fisiología coclear, enfrentan a los neurofisiólogos que describen una elevada selectividad frecuencial a nivel de las fibras del nervio auditivo, frente al concepto de la onda viajera, que sólo permite atribuir a la cóclea la función de filtro mecánico pasivo.

El descubrimiento de las emisiones oto-acústicas y mediciones más precisas sobre la vibración de la membrana basilar, en respuesta a tonos puros, supusieron nuevas aportaciones en contra del escueto concepto de Bekesy.

Kemp, en 1977 (19, 20, 21) registró las otoemisiones, provocadas y las espontáneas, que considera producidas por el “amplificador coclear”, responsable de la agudeza selectiva.

Actualmente, las teorías mayoritariamente aceptadas, añaden a lo expuesto por Bekesy, la presencia de la actividad bioeléctrica de los receptores sensoriales. .

Los numerosos estudios realizados sobre la cóclea, son especialmente minuciosos, en cuanto a descripciones anatómicas, bioquímicas y electrobiológicas. Aspectos que admitimos, mientras no se aparten de los resultados obtenidos en las investigaciones, pero sujetos ocasionalmente a arriesgadas conclusiones. En esta aportación nos limitamos a exponer nuevos hallazgos y a plantear interrogantes respecto a particularidades funcionales y fisiopatológicas.

### **Material y método.**

La instrumentación empleada es la correspondiente a la expuesta en los artículos que citamos sobre microfónicos cocleares (MC) concretamente la destinada al estudio de diversos parámetros de las células ciliadas y de la función coclear.

### **Resultados.**

Resultados transcendentales alcanzados:

- 1.- Determinación y medida de la latencia de las células ciliadas externas. (22) Frente a lo postulado por Davis (23) que considera la respuesta microfónica exenta de latencia.
- 2.- Ausencia de fatiga auditiva coclear. Frente a todos los trabajos que estudian la fatiga auditiva, esencialmente por procedimientos subjetivos.
- 3.-Imposibilidad de enmascaramiento coclear. Frente al criterio actual de enmascaramiento periférico por “bloqueo de los receptores sensoriales, estudiado por procedimientos sicoacusticos.

El estudio de los microfónicos cocleares mediante tonos puros, amplificadores con filtros de paso muy estrechos, sintonizados sobre la frecuencia del estímulo y de la consecuente respuesta MC, más el programa informático de promediado, basado en el sincronismo de fase entre el estímulo y los MC, nos ha permitido aportar nuevos conceptos fisiológicos.

A estos resultados que aportan importantes conclusiones, añadimos observaciones funcionales que precisan explicación, y que nos aportan nuevos conceptos fisiológicos.

### **Transito del estímulo sono.**

El transito de las vibraciones sonoras, en las primeras etapas del aparato auditivo, no presenta interrogantes básicos. La presión sonora sobre el tímpano, se transmite por la cadena hósicular y a través de la ventana redonda, hace que vibren los líquidos endolabereínticos. Este movimiento vibratorio, tiene que incidir sobre estructuras de la cóclea, para que se efectue la transducción mecano eléctrica. Interesa conocer los elementos Intracocleares que pueden vibrar por ofrecer menor impedancia a la presión sonora.

Mediante un tono puro de 1.000 Hz, la presión sonora necesaria sobre el tímpano, para alcanzar el umbral auditivo, es de 20 micro pascals.

Un Pascal (Pa) es aproximadamente la presión que ejerce una capa de agua, de una décima de milímetro, sobre la superficie en la que reposa y un micro pascal ( $\mu\text{P}$ ) la millonésima parte de lo anterior.

La elongación del tímpano ante una presión de 20  $\mu\text{P}$  a 1.000Hz es equivalente al diámetro de una molécula de hidrógeno.

Esta mínima vibración reduce aún más su elongación, al propagarse por la cadena hósicular y traducir su amplitud en potencia, misión de acople de impedancias del oído medio. Lo expuesto da una idea de la ínfima amplitud del estímulo, para niveles de umbral auditivo.

. Las moléculas del líquido en vibración, inciden sobre los cilios de las células sensoriales, que son cadenas moleculares, que ofrecen una impedancia próxima a las del fluido de su entorno.

No parece razonable, que la considerable masa de la membrana basilar, se deforme con estas nano vibraciones. Nadie ha podido demostrar que existan desplazamientos con estímulos próximos al umbral. Los movimientos visualizados en experimentación, son “forzados” con una presión de al menos 70 dB, lo cual resulta 10, 000,000 de veces superior al estímulo umbral. La traspolación de los resultados experimentales, a la situación umbral no es correcta. Solo tenemos la evidencia vibratoria del líquido endolabirintico y con razonable fundamento la de los cilios.

### **Otros aspectos de la mecánica coclear.**

La rampa timpánica y la vestibular se comunican en el ápex por el elicotrema. La relación de superficies entre la ventana oval y el elicotrema± es de 20. El área de la ventana oval es de 6 mm y la del orificio del elicotrema de 0,3 lo que supone una impedancia al tránsito a la presión sonora de  $\pm -26$  dB, valor que también depende de la frecuencia. Importante diferencia de presión, entre la rampa timpánica y la vestibular. A mayor nivel sonoro, la membrana basilar se deprime más toda ella, hacia la rampa vestibular. Con 70 dB en la rampa timpánica tenemos solo 44 en la vestibular.

Sin embargo en esa posición forzada, puede que la MB también oscile a la frecuencia del estímulo.

La función de compensación de la ventana redonda, no corresponde al total de la presión sonora sobre la oval.

No es posible hacer representaciones esquemáticas sobre lo dicho, pero si podemos considerar, que a mayor estímulo sonoro, más se acercan, inclinan o tensan, en escala microscópica los cilios enclavados en la membrana tectoria.



El desplazamiento de la membrana basilar, ante la diferencia de presiones descrita, no es sencillo. Depende a lo largo de su estructura, de múltiples factores morfológicos: longitud, anchura, masa, elasticidad y básicamente de su anclaje por la inserción de sus bordes. Compleja cuestión, para todas las especies, que nadie puede observar, sin producir alteraciones de la estructura que cuestionan los resultados. El desplazamiento altamente inespecífico, de nano deformaciones puntuales en la basilar, no tiene por qué deberse necesariamente a factores de resonancia, ni contribuir a la discriminación frecuencial.

### **Una paradoja, el reflejo estapedial**

La defensa frente a sobrecarga de la presión sonora, se atribuye a la contracción del músculo del estribo. La contracción se produce cuando la presión sonora de un tono puro alcanza entre 70 y 90 dB, con una latencia de 70 milisegundos, mientras que con un ruido blanco bastan 60 dB para su activación.

Este comportamiento es ilógico. Un sonido complejo es menos lesivo que un tono puro. Un ruido blanco, reparte su energía sobre toda la cóclea, mientras que un tono puro puede que lo haga sobre una zona crítica. Además el retardo de 70 milisegundos no protege los picos de gran presión sonora y corta duración. Recordemos la “sordera del calderero”.

¿Cómo es posible que el sistema de protección que se describe, tenga características paradójicas?

En su día pensamos que la membrana basilar lejos de asumir un papel de selectividad frecuencial, actuaba como primer sistema regulador de intensidad. El reflejo estapedial, se produce por el arco reflejo que partiendo de la cóclea, a través de una rama del nervio facial, hace que se contraiga el músculo estapedial y vemos que lo hace antes con estímulos sonoros menos lesivos. Hoy creemos por posteriores estudios sobre enmascaramiento (24) y las consideraciones derivadas, que nuestra hipótesis no era cierta. Seguimos sin comprender la paradoja de la función estapedial.

Sin embargo aún nos cabe la duda de que el desplazamiento global de la membrana basilar, por la diferencia de presión expuesta, entre la rampa timpánica y la vestibular, mayor para ruidos de amplio espectro, pueda dar lugar a las diferencias de latencia del reflejo.

La deficiencia del reflejo estapedial como protector de la audición tiene que estar compensada de algún modo. El sistema aferente lateral correspondiente al tracto olivococlear, se supone que actúa como inhibidor ante la exposición a elevados niveles sonoros.

### **Efecto de las alteraciones morfológicas.**

Persiste la importancia de la inflexión basilar, como responsable de la selección de frecuencias, aunque cada vez aceptando más la necesaria participación activa de procesos biológicos.

Nos llama la atención el hecho de que las alteraciones morfológicas cocleares no provoquen cambios cualitativos en la percepción tonal. Las más radicales alteraciones solo producen un descenso cuantitativo más o menos selectivo de la sensación. El perfil audiométrico desciende y se altera, pero sin ocasionar diploacusias.

Los frecuentes cambios morfológicos cocleares se producen por diversos motivos: traumatismos, distintas patologías, o intervenciones quirúrgicas.

Recordemos como caso extremo, en 1959, Fernando Antoli Candela y García Ibáñez, realizan diversas técnicas de inversión de la propagación de la onda sonora, que denominan «inversión funcional de las ventanas», o “sono inversión” Su procedimiento quirúrgico, para el tratamiento de la otosclerosis, consistía en conectar el tímpano con la ventana redonda, invirtiendo el tránsito de las ondas sonoras. Los resultados podían ser mejores o peores, pero nunca se produjeron cambios de percepción tonal, respecto al oído contralateral.

Un tono puro audiométrico, cambia su umbral de percepción, pero mantiene la misma sensación tonal en ambos oídos.

.Ninguna alteración tonal se produce con la estimulación por vía ósea, que supone una entrada global de la presión sonora, sobre el entorno de la cóclea.

Cambia el componente espectral, al escuchar grabada nuestra propia voz, por la ausencia de la conducción por vía ósea de las vibraciones laríngeas. Se atenúa el umbral de algunas frecuencias, pero solo se trata de cambios cuantitativos del espectro.

Numerosas consultas y estudios físicos revisados, coinciden, en que los puntos de resonancia dentro de la cóclea, deben de alterarse ante la más mínima variación de su morfología. En modelos mecánicos cocleares se observan importantes alteraciones de la resonancia pseudo intracoclear, ante cambios de estructura o punto de incidencia del estímulo sonoro.

Si reflexionamos sobre la inamovible respuesta cualitativa de los receptores sensoriales, ante alteraciones morfológicas radicales, tenemos que admitir que los cambios de la supuesta onda viajera en su progresión, no afectan al análisis espectral.

Todas las especies disponen de múltiples receptores específicos, externos e internos. La conversión de los estímulos externos, en los potenciales bioelectricos, que transportan la información al cerebro, requiere componentes morfológicos que podemos considerar en cada caso, más o menos trascendentes. Todos van a contribuir al propósito final. Las alteraciones patológicas influyen en los resultados, algunas de forma inapreciable, otras con anulación total de la función. Esta evidencia nos lleva poner en valor a cada una de ellas, consideración final que perseguimos.

### **Morfología coclear de las diversas especies.**

Todas las especies han ido adaptando la percepción de las vibraciones sonoras del entorno, en función a sus necesidades vitales: alimentación, defensa y comunicación. El área auditiva de todas, es bastante coincidente (Fig. 3) pese a que su morfología difiere, especialmente en tamaño, el elefante puede pasar de las 4 toneladas y la musaraña 3 gramos.

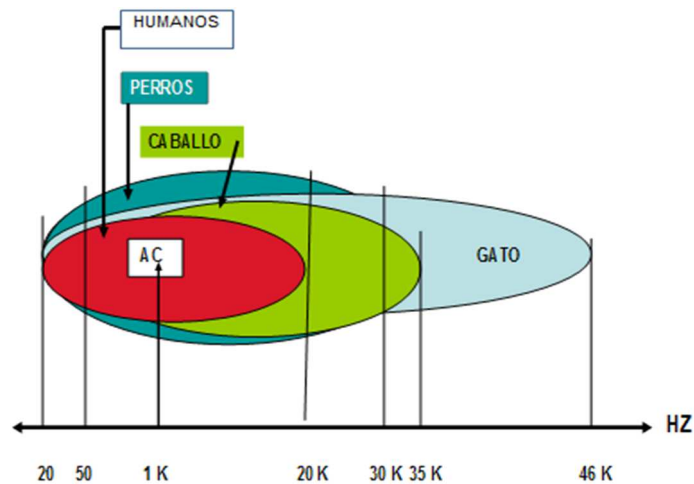


Fig. 2

En la actualidad, esta capacidad de escuchar y emitir ultrasonido se limita a los órdenes Chiroptera y Cetacea, es decir, en murciélagos, delfines, ballenas... Esta capacidad fue desarrollada por separado en cada género, pero poseen características comunes en el oído interno. El tamaño de la cóclea va desde solo 2 mm, a varios centímetros en los grandes mamíferos, como la del elefante, con la que trabajo Bequéis, 30 cm. Pese a ello las áreas auditivas se superponen especialmente en su zona central. Varían las especies, pero no el entorno sonoro al cual se adaptan. Contemplamos algunas excepciones por razones funcionales, en tierra los murciélagos como sistema de localización, en el mar los delfines y otros mamíferos, porque el entorno permite una favorable propagación de sus ultrasonidos.

Resulta extraño que diferencias anatómicas tan radicales tengan un comportamiento de resonancia acústica similar para la diferenciación espectral. Se puede estimar la resonancia timpánica incluso la del oído medio. Por el contrario pensamos que la cóclea tiene un comportamiento aperiódico. La especie humana tiene un poder diferencial de frecuencias muy superior a la de los animales, condición indispensable para la comunicación oral. La sensibilidad umbral es menor que la de otras especies y la extensión en frecuencias también menor. No es razonable que la membrana basilar tenga reglas acústicas diferentes en cada caso, pero sí que el número de receptores sensoriales, varíe en función a las necesidades de la especie.

Hemos estudiado el perfil audiométrico comprendido entre 250 y 4.000 Hz en los animales que habitualmente manejamos, así como su poder diferencial de intensidad, encontrando discretas desviaciones pese a su diferencia morfológica.

## **CONCLUSIONES**

Consideramos que los numerosos receptores sensoriales con sus múltiples funciones y precisa sintonización, son responsables, y más que suficientes para realizar el análisis de Fourier coclear. Aportan al córtex una información cualitativa y cuantitativa del espectro, correspondiente al estímulo sonoro.

Cada célula ciliada envía datos de su frecuencia e intensidad, dentro de un de espectro complejo. Cuando el estímulo aumenta entran en acción receptores próximos, aunque menos sintonizados respecto al tono incidente, por lo cual aumenta el ancho de banda de la información.

Los MC crecen en amplitud en función a la intensidad del estímulo hasta su saturación y la señal microfónica dispara potenciales espiga en las terminaciones dendríticas que contactan con el cuerpo de los receptores.

Los potenciales espiga son todos de la misma amplitud, y aumenta su frecuencia en función a la amplitud de los MC. Estamos ante un cambio de amplitud MC que ocasiona la alteración en frecuencia de los potenciales espiga. Cambio analógico digital. Cuando una fibra nerviosa se aproxima a la saturación el tránsito se efectúa simultáneamente por las próximas. La información al córtex se hace menos puntual, y la percepción tonal menos crítica.

Considerando así el análisis frecuencial, la membrana basilar a este propósito, no resulta esencial, aunque posiblemente contribuya de algún modo, o tenga otras funciones, o simplemente como su nombre indica, sea la base de los receptores sensoriales. La morfología de la membrana basilar y de otras estructuras, son los factores que inducen erróneamente a estimar significativamente el análisis espectral.

Las células ciliadas externas tienen una compleja y a la vez sencilla función. Su complejidad dimana de su condición de receptores sensoriales, que responden estímulos mecánicos, diferenciados por su velocidad angular, efectuándolo de forma selectiva a lo largo de la membrana basilar. Además de la transducción mecano eléctrica, aportan un proceso de amplificación, con latencia de microsegundos, e importante consumo energético.

Esta doble función de desarrollo mecánico, bioquímico y bioeléctrico, entre la célula y su entorno, es de una complejidad descrita en numerosas publicaciones, que no entra en contradicción con nuestro concepto funcional.

La sencillez de su función estriba en que aportan al córtex tan solo dos datos: frecuencia e intensidad. La distribución tonotópica de los receptores corresponde a una disposición similar en la corteza auditiva primaria. Las células ciliadas externas son inmunes a enmascaramiento y fatiga, efectos que se producen a nivel cortical, ejemplo muy evidente la olfacción. Nos parece incorrecta la denominación de fatiga auditiva, más bien parece un proceso central destinado a que fuertes y continuos estímulos sonoros, no bloqueen parcial o totalmente, la información simultánea procedente de otros receptores sensoriales. Ocurre igual con las percepciones de otra naturaleza,

## BIBLIOGRAFI

### A

(1) Hermann von Helmholtz and the foundations of Nineteenth century Science. Los Angeles: University of California Press, 1994

(2) Békésy G. von-Experiments in hearing. Mc Graw-Hili, New York – Toronto – Londres, 745p., 1960.

(3) Evans, Rand B. (2003), "Georg von Békésy: visualization of hearing", *The American Psychologist* (2003 Sep) 58 (9): 742–6, doi:10.1037/0003-066X.58.9.742, PMID 14584991

(4) Raju, T. N. (1999), "The Nobel chronicles. 1961: Georg von Békésy (1899–1972)", *Lancet* (1999 Jul 3) 354 (9172): 80, doi:10.1016/S0140-6736(05)75353-8, PMID 10406402.

(5) Hampo, M. A.; Kyle, R A (1993), "Georg von Békésy—audiology and the cochlea", *Mayo Clin. Proc.* (1993 Jul) 68 (7): 706, PMID 8350644.

(6) With C. W. Bray. The nature of acoustic response: The relation between sound frequency and frequency of impulses in the auditory nerve. *J. Exp. Psychol.* XIII:373-87.1949

(7) With C. W. Bray. Action currents in the auditory nerve in response to acoustical stimulation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 16:344-50.

(8) William S. Rhode and Luis Robles. Evidence from Mössbauer experiments for nonlinear vibration in the cochlea. *J. Acoust. Soc. Am.* Volume 55, Issue 3, pp. 588-596 (1974); (9 pages)

(9) G. K. Wertheim, Mössbauer Effect, Principles and applications, Academic Press. New York 1964.

(10) U. Gonser, Topics in Applied Physics, Mössbauer Spectroscopy, Springer- Verlag, 1975.

(11) N. N. Greenwood, T.C. Gibb, Mössbauer Spectroscopy, Chapman and Hall Ltd. London, 1971.

(12) Schroeder, M. R. y Hall, J. L.: "Model for mechanical to neural transduction in the auditory receptor", Journal of the Acoustical Society of America, vol. 55, nº 5, pp. 1055-1060, Mayo 1974.

(13) Zwicker, E. y Fastl, H.: Psychoacoustics: Facts and Models, Springer, Berlín, 1990.

(14) Allen, J. B.: "Cochlear modeling", IEEE ASSP Magazine, vol. 1, nº 1, pp.3-29, Enero 1985.

(15) Lyon, R. y Mead, C.: "An analog electronic cochlea", IEEE Transactions on ASSP, vol. 36, nº 7, pp. 1119-1134, Julio 1988.

(16) • Montaña DC & Hubbard AE (1994). Un modelo piezoeléctrico de la función de las células ciliadas externas. J Am Soc Acoustic 95,350-354.

(17). Martin P, Hudspeth AJ. Active hair-bundle movements can amplify a hair cell's response to oscillatory mechanical stimuli. Proc Natl Acad Sci USA 1999;96:14306-11.

(18). Ricci AJ, Crawford AC, Fettiplace R. Active hair bundle motion linked to fast transducer adaptation in auditory hair cells. J Neurosci 2000;20:7131-42.

(19) Kemp DT. Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. J Acoust Soc Am. 1978; 64: 1386-91.

(20) Oostenbrink P, Verhaagen-Warnaar N. Otoacoustic emissions. Am J Electroneurodiagnostic Technol. 2004; 44 (3):189-98.

(21) Kennedy CR, Kimm L, Caferelli Dees D, Evans PIP, Hunter M, Lenton S, et al. Otoacoustic emissions and auditory brainstem responses in the newborn. Arch Dis Child. 1991; 66: 1124-1129.

22.- Latencia de los microfónicos cocleares. (artículo incluido en esta selección)

23.-Davis H. Principles of electric response audiometry.



Ann Otol Rhinol Laryngol. 1976 May-Jun; 85 SUPPL 28(3 Pt3):1-96.

24.- Determinación tonotópica del enmascaramiento (Artículo incluido en esta selección).

25.- Fatiga auditiva, (Artículo incluido en esta relación)

26.- Peyser, A: Audiometerischer Ermüdungstest zum Zwecke der Berufsauswahl. Acta oto-laryng (Estocolmo) 28 81:940,443

27.- Lic. Hinalaf, María de los Ángeles. "Identificación de la fatiga auditiva en adolescentes como predictora temprana de hipoacusias inducidas por ruido" Universidad Nacional de Córdoba. Secretaría de Extensión Universitaria. Año 2007.

28.- Antoli-Candela y García Ibáñez. Ponencia «Cirugía funcional de las otorreas». Congreso Nacional de la Sociedad Española de Otorrinolaringología (1956).

## COMENTARIO

Los supuestos comentarios y conclusiones de este artículo, espero que despierten críticas lógicas. Siempre ocurre cuando se tienen en cuenta arraigados postulados. Sin embargo espero que también induzcan a la reflexión y siembren la duda y la inquietud en los que la verdad es importante para sus convicciones.

