



SEBBM DIVULGACIÓN

ACÉRCATE A NUESTROS CIENTÍFICOS

El oído: de las células ciliadas al éxtasis

Fernando Giráldez
Universitat Pompeu Fabra de Barcelona

Biografía

Fernando Giráldez es catedrático de la Universitat Pompeu Fabra (UPF) de Barcelona. Nacido en Buenos Aires, de padres españoles, regresó a España en 1960. Estudió en el Instituto Ramiro de Maeztu de Madrid y Medicina en la Universidad de Valladolid, donde se doctoró. Continuó su formación postdoctoral en la Universidad de Cambridge, habiendo realizado numerosas estancias de investigación en centros internacionales. Su trabajo se ha centrado en el desarrollo embrionario del oído, habiendo contribuido a entender las bases moleculares de la generación de las neuronas y receptores sensoriales. Esta investigación, de carácter básico, tiene sin embargo implicaciones para el desarrollo de estrategias de regeneración auditiva. Ha publicado más de ochenta artículos y revisiones en libros y revistas internacionales. Experto y miembro de paneles de revisión de organismos de financiación y revistas científicas. Participa regularmente en actividades dirigidas a la promoción de la ciencia, incluyendo cursos, charlas en colegios y centros sociales.

<http://www.upf.edu/devbiol/>



Sociedad Española
de Bioquímica y
Biología Molecular

¡Qué profundo es el oído! Piensa en lo que significa comprender algo que solamente has oído. ¡El carácter casi divino del oído! Verte ante las iniquidades más profundas de una existencia por el sencillo procedimiento de permanecer sentado escuchando lo que te dicen.“ Philip Roth, Me casé con un comunista.

Resumen

Las células ciliadas del oído son el primer paso en la audición. Son mecano-transductores que transforman la energía de las ondas sonoras en impulsos nerviosos, el lenguaje del sistema nervioso. El cerebro entonces reconstruye esta información de acuerdo a principios internos que generan una sensación coherente: el sonido. El cerebro es kantiano.

Summary

Hair cells of the ear are the first step in hearing. They are mechano-transducers that convert the energy of sound waves into electrical impulses, the language of the Nervous System. The brain then reconstructs this information according to internal principles to generate a coherent sensation of sound. The brain happens to be kantian.

<http://www.sebbm.es/>

HEMEROTECA: http://www.sebbm.es/ES/divulgacion-ciencia-para-todos_10/acercate-a-nuestros-cientificos_107

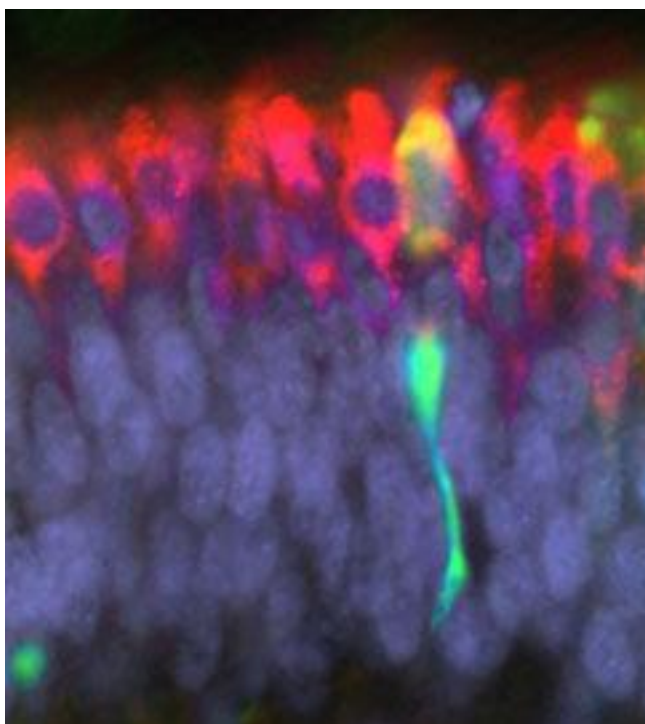
¿Cómo una combinación particular de vibraciones mecánicas del aire se convierte en sonidos en nuestro cerebro? La audición comienza con la activación de las *células ciliadas* del oído, ahí es donde tiene lugar la *transducción* de las ondas sonoras en impulsos eléctricos. Las células ciliadas están en el interior del oído, en *la cóclea*, y poseen unas finas extensiones, los cilios, con una sensibilidad exquisita al desplazamiento (en el orden de nm, 10^{-9} m). Las ondas sonoras propagadas al interior del oído inducen el desplazamiento de estos cilios. Esto abre canales iónicos que modifican el potencial eléctrico de las células ciliadas y con ello se produce la liberación de transmisores químicos que activan las neuronas auditivas. Las vibraciones mecánicas se han traducido así en impulsos nerviosos, el lenguaje del cerebro. El problema es ahora transformar esta actividad eléctrica en sonido. Recuerde que el sonido es una sensación, que no existe fuera de nuestro cerebro donde sólo hay compresiones y rarefacciones del aire.

La intensidad del sonido está ligada a la amplitud de las ondas sonoras, el tono y el timbre a su frecuencia. ¿Cómo se codifica esta información? La codificación de la intensidad es sencilla: cuanto mayor es la amplitud de las ondas sonoras, más se desplazan los cilios y más se activan las neuronas auditivas. Pero la frecuencia requiere un mecanismo adicional. Las células ciliadas están distribuidas en una fila y ordenadas a lo largo de la cóclea. Ahora bien, las propiedades de las células ciliadas y de la membrana sobre la que reposan no son homogéneas a lo largo de la cóclea lo que hace que las ondas sonoras resuenen preferentemente en una u otra región de la misma dependiendo de su frecuencia. La consecuencia es que, dependiendo de la posición que ocupa en la fila, cada célula ciliada responde preferentemente a una u otra frecuencia (tonotopia). El cerebro construye así un mapa espacial de las frecuencias del sonido y

de sus intensidades, una representación interna de las frecuencias del sonido.

Las ondas sonoras son transparentes como el cristal. Así como los objetos visibles se tapan unos a otros y ello nos permite diferenciarlos, las ondas sonoras se suman y el tímpano no sabe si una vibración viene de un violín o de un estornudo, *pero nosotros sí*. La identificación del sonido requiere de mecanismos de reconocimiento de combinaciones particulares de intensidades, frecuencias y duraciones. De los murciélagos hemos aprendido cómo pueden ser estos mecanismos. Un murciélago distingue los objetos en la oscuridad a través de la ecolocalización. Por ejemplo, identifica el agua para beber por sus propiedades auditivas, de tal manera que si se sustituye el agua por una superficie plana con iguales propiedades de reflexión acústica, intenta igualmente beber de ella. En la corteza auditiva de los murciélagos hay neuronas que computan las varias combinaciones de parámetros y con ello identifican la identidad de los emisores, sean insectos, posibles presas o el agua para beber. En otras palabras, las neuronas de los murciélagos (y las nuestras) construyen *objetos auditivos*.

Un caso simple de nuestra capacidad auditiva es percibir como similares dos sonidos diferentes, pero separados por una octava: son aquellos que decimos están en el mismo tono. El *mi* de la bordona de una guitarra y el de la primera cuerda son diferentes, uno grave y el otro agudo, pero ambos tienen una cualidad similar y decimos están en el mismo tono, que son la misma nota. La diferencia entre ambos es que la frecuencia de la primera es doble que la de la sexta. Es decir, percibimos como igual algo que físicamente es diferente (una frecuencia duplicada). ¿Dónde está la magia? Pues en nuestro cerebro.



Recientemente se han descubierto neuronas en la corteza auditiva que responden a múltiples frecuencias o a combinaciones armónicas asociadas a una frecuencia fundamental. Es decir, neuronas que identifican tonos con independencia de la frecuencia. Esto ilustra bien el carácter constructivo y *a priori* de nuestras percepciones. Los tonos no están en la naturaleza, son más bien relaciones particulares de los sonidos que son detectadas por neuronas especializadas de nuestro cerebro. Las neuronas “están esperando” una combinación particular de sonidos. Así como el cerebro visual convierte la longitud de onda en color, los tonos son el color del sistema auditivo.

En resumen, todo empieza en las células ciliadas del oído que descomponen la voz de Juan Diego Flórez en un mapa de actividad eléctrica generado por las células ciliadas. Las neuronas cerebrales analizan entonces los múltiples aspectos de esa actividad y extraen de ellos regularidades y rasgos específicos que generan en nosotros una sensación coherente: el éxtasis. Estas neuronas tienen sus propias reglas, sus preferencias, constituyen un *a priori* estético, y quizá sea ahí en donde residan algunos de nuestros ideales de belleza.

Referencias

1. Bat Sense, Nature Video: <https://www.youtube.com/watch?v=gZxLUNHEmPw>
2. Bowling D.L. & Purves, D. (2015) A biological rationale for musical consonance. Proc Natl Acad Sci U S A. 112:11155-60.
3. Block, S.M. (2004) Hair cells in youtube. From Essential Cell Biology, 2nd ed. Albers et al., (2004) <https://www.youtube.com/watch?v=ulAISCEQzRo>
4. Goutman, J.D. et al. (2015) Cochlear hair cells: The sound-sensing machines: FEBS Lett. 589: 3354–3361
5. Koelsch, S. (2011) Toward a neural basis of music perception - a review and updated model. Front Psychol. 2:110.
6. Wang, X. (2013). The harmonic organization of auditory cortex. Front. Syst. Neurosci. 7:114.

Figura. Células ciliadas en la mácula de un embrión de pollo, identificadas mediante un anticuerpo anti-MyoVIIIa (en rojo). A una célula se le transfirió el gen de la proteína GFP (verde) mediante electroporación.