



Ciliadas, los altavoces de nuestro oído

»**Biofísica**/ Un estudio en el que participan investigadores de Baleares descifra los secretos que permiten al oído amplificar sonidos muy débiles y la clave son un tipo de células denominadas ciliadas. **Elena Soto**

Un foco de calor produce un pequeño impulso que mueve una bola deslizando hasta una rampa, que tiene en su extremo una hilera de fichas. Las piezas caen, una tras otra, y la última pone en marcha una complicada reacción en cadena de efectos impactantes. Estos artificios, que nos sorprenden por su precisión, son un juego de niños comparado con el funcionamiento de nuestro sistema auditivo. Si fuéramos capaces de reproducir con una estructura semejante el complejo mecanismo de lo que sucede desde que las ondas sonoras comienzan su recorrido en el pabellón auricular hasta que son transmitidas al cerebro como información acústica, seguramente quedaríamos boquiabiertos.

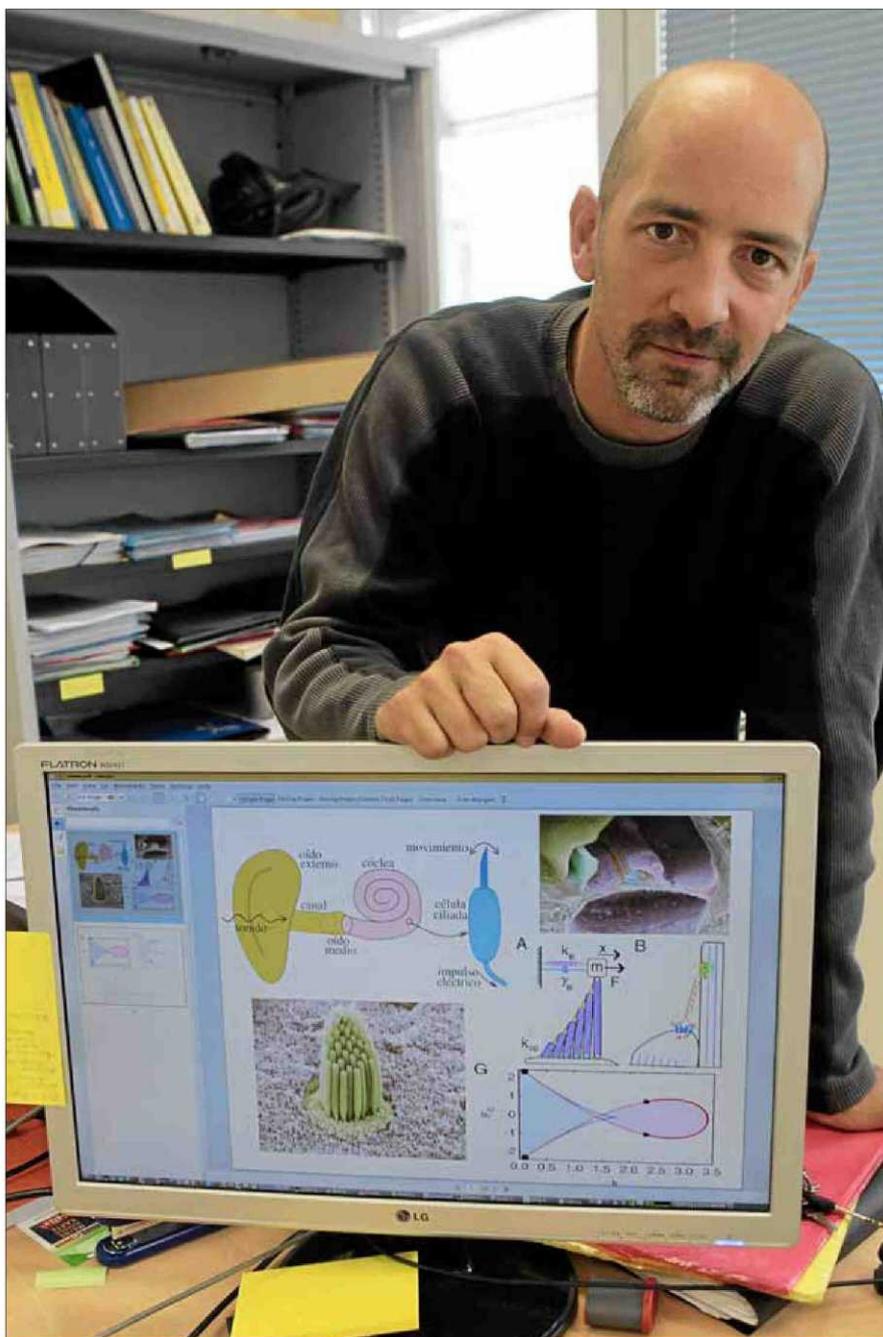
¿Qué sucede para que las oscilaciones de las moléculas que componen el aire acaben siendo interpretadas por la corteza cerebral como una frase musical, el canto de un pájaro, el repique de campanas o una voz humana?

Un fragmento de la obra *Contrapunto*, de Aldous Huxley, resume este mecanismo. «El aire vibrante sacudió la membrana timpánica de Lord Edward. Los interconectados martillo, yunque y estribo fueron puestos en movimiento de modo que al agitar la

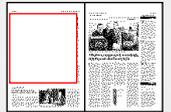
membrana de la ventana oval y causar una tormenta infinitesimal en los líquidos del laberinto. Las terminaciones ciliadas del nervio auditivo danzaron como algas en un mar bravo; un vasto número de oscuros milagros ocurrieron en el cerebro y Lord Edward susurró estático: «¡Bach!».

El oído es un órgano con capacidades extraordinarias. No solo puede distinguir de manera muy precisa entre sonidos de distintas frecuencias, sino también captar aquellos de amplitud muy débil y a la vez soportar los que son muy fuertes. Esta asombrosa sensibilidad se consigue a través de un mecanismo no lineal por el que los elementos que lo componen amplifican los primeros y atenúan los segundos. Su eficacia es tan grande que puede incluso detectar sonidos cuyas vibraciones producen desplazamientos de moléculas no mayores que el tamaño de unos pocos átomos.

Durante los últimos años los biólogos han podido analizar detalladamente los elementos que componen el oído, identificando las partes involucradas en la amplificación de los sonidos débiles, y han descubierto que los elementos clave son unos pocos miles de células llamadas ciliadas (*hair-cells* en inglés). SIGUE EN PÁGINA 2



Ernesto Nicola, investigador del Instituto de Física Interdisciplinar y Sistemas Complejos (CSIC-UIB). / CATI CLADERA



VIENE DE PORTADA «El oído humano funciona como un piano a la inversa», explica Ernesto Nicola, investigador del Instituto de Física Interdisciplinar y Sistemas Complejos, IFISC (CSIC-UIB). «En este instrumento las teclas corresponden a distintas notas –sonidos puros– y normalmente se toca más de una al mismo tiempo para conseguir un acorde. Lo que hace el oído humano es recibir un sonido que es complejo y descomponerlo en las notas que lo forman. Las células que se encargan de realizar esta transformación son las ciliadas».

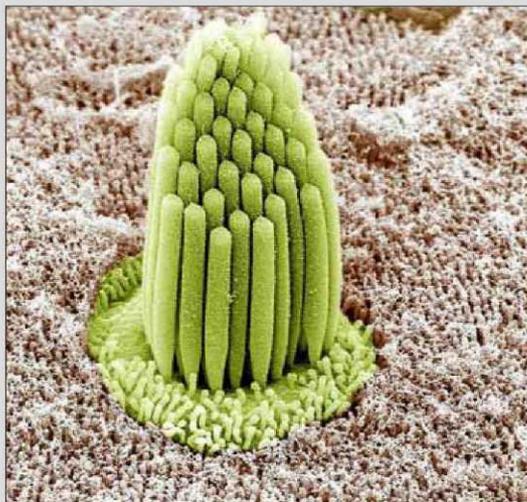
El haz de células ciliadas está organizado en columnas paralelas, ubicadas sobre una franja oscura de tejido llamada membrana basilar. Esta membrana, de un poco más de una pulgada de longitud, se enrolla en la cóclea, una estructura con forma de caracol ubicada en las profundidades del oído interno. Siguiendo con la comparación, sería como un piano con las altas frecuencias localizadas en la parte anterior y las bajas hacia el final. Y, dependiendo del tono, vibrará un área particular de esta membrana. Las células ciliadas, que se encuen-

Las células ciliadas transforman las vibraciones mecánicas en impulsos eléctricos

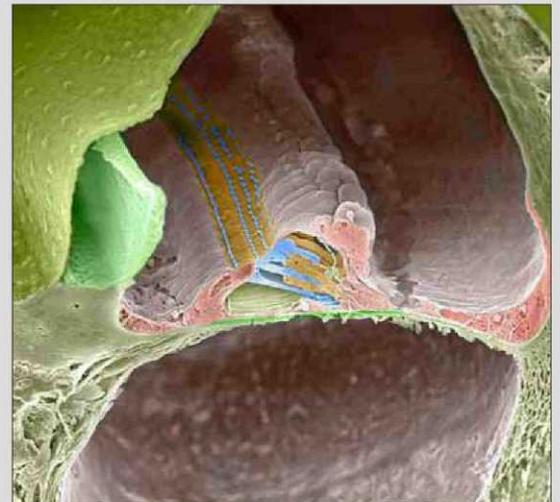
tran embebidas en ella, son las encargadas de transformar las vibraciones mecánicas, producidas por las ondas de sonido, en impulsos eléctricos que más tarde serán procesados por el cerebro. Y, aunque su labor típica es amplificar mecánicamente oscilaciones débiles, también son capaces de oscilar incluso cuando no hay sonidos externos que las estimulen. Por lo tanto se puede decir que gran parte de las propiedades extraordinarias del oído se deben a que estas células ciliadas actúan como amplificadores minúsculos y que tienen un comportamiento no lineal y por consiguiente complejo.

Estos descubrimientos de la biología han permitido a los biofísicos generar modelos matemáticos de las distintas partes del oído. En particular, los modelos de las células ciliadas han permitido poner a prueba diversas hipótesis sobre su estructura y funcionamiento. Hasta el momento, la mayoría tanto de los estudios biológicos como de modelos matemáticos, considera-

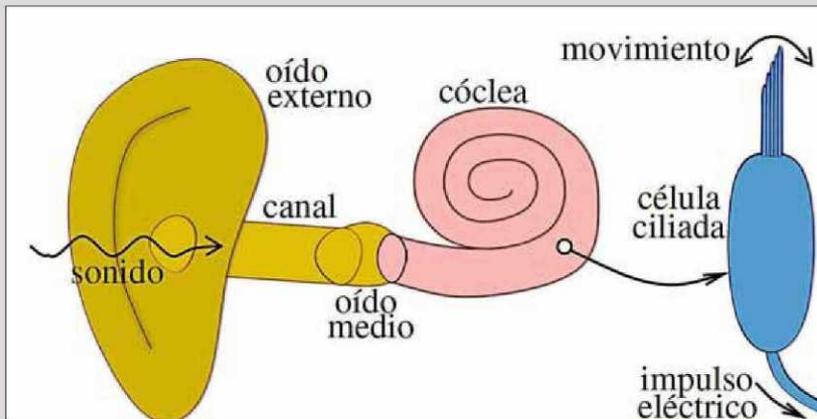
LA MECÁNICA DE LAS CÉLULAS QUE NOS PERMITEN ESCUCHAR



Haz de entre 50 ó 60 cilios, ubicados en el extremo de una célula.



Coloreadas en azul, las células ciliares en el interior de la cóclea.



Funcionamiento. El oído está compuesto por diferentes partes bastante complejas. Sin embargo, el elemento clave que le permite llevar a cabo proezas como amplificar sonidos extremadamente débiles, son las células ciliadas que se encuentran dentro de la cóclea, una estructura con forma de caracol ubicada en las profundidades del oído interno. Estas células son las encargadas en traducir las vibraciones mecánicas del aire en impulsos eléctricos que el cerebro puede procesar. / E. NICOLA (IFISC)

ban que estaban aisladas. Sin embargo, en el oído, las ciliadas se encuentran en contacto mecánico con otras células.

Ernesto Nicola es coautor de un estudio interdisciplinario aparecido recientemente en la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, en el que se ha analizado matemáticamente el efecto de este 'entorno' en las propiedades de las células ciliadas. «En casi todos los sentidos se produce un mecanismo de amplificación de la frecuencia», explica Nicola, «pero en el caso del oído lo que hace esta célula es bastante particular porque no amplifica la salida del impulso eléctrico sino

que bombea energía al movimiento generado por los sonidos. De forma que cuando éste es muy débil hace que oscile con más amplitud».

El modelo matemático realizado en este trabajo ha tenido en cuenta las observaciones fisiológicas que han sido llevadas a cabo por los biólogos y se basa en dos propiedades de las células ciliadas, la adaptación y la antielasticidad o elasticidad negativa ante perturbaciones muy pequeñas, con ambos mecanismos se reproduce un modelo esquemático y fácil de su funcionamiento.

La segunda parte de este estudio ha sido investigar que ocurre cuan-

do los cilios no están libres, sino inmersos en un entorno que puede ser elástico, viscoso o masa –que son las tres circunstancias que pueden ocurrir–. «Estas células no sólo sirven para detectar sonidos, informa Nicola, sino también para detectar aceleraciones y tienen que ver con el equilibrio».

En el oído interno, además de la cóclea, están los canales semicirculares –tres orientados en distintas direcciones– que contienen un fluido. Si, por ejemplo, se mueve la cabeza verticalmente, de un lado a otro o, incluso si se sube en un ascensor, el movimiento de los fluidos, es detectado por las células ciliadas. «Lo interesante, destaca es-

te investigador, es que la evolución ha usado el mismo tipo de célula, lo único que varía es el medio, lo que está en contacto con los cilios. Nosotros a partir de un modelo matemático somos capaces de predecir cómo puede afectar a su dinámica que se las ponga en contacto con algo elástico o viscoso, por ejemplo, permitiendo integrar un gran número de situaciones distintas en la que estas células pueden encontrarse o estar colocadas.

El estudio ha sido realizado por los biofísicos Ernesto Nicola y Daibhid O'Maoileidigh, junto con el biólogo James Hudspeth, éstos dos últimos son investigadores de la Universidad Rockefeller de Nueva York.