

# El refinado oído del saltamontes

Fernando Montealegre-Z

Publicado en

INVESTIGACIÓN  
**Y** CIENCIA

Mayo 2014

Copyright © 2014 Prensa Científica S.A. Muntaner, 339 pral. 1.ª 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista.

***COPIPHORA GORGONENSIS***

se ha descubierto, junto con otras nuevas especies de saltamontes, en el colombiano Parque Natural Gorgona. Su diminuto oído presenta una sorprendente semejanza con el de los humanos.



**Fernando Montealegre-Z** es entomólogo y profesor de biología sensorial y biomecánica en la Universidad de Lincoln, en Inglaterra. Centra su investigación en la comunicación acústica en insectos, con particular interés en la sensibilidad ultrasónica y la bioingeniería.



BIOFÍSICA

# EL REFINADO OÍDO DEL SALTAMONTES

Un caso de evolución convergente con el oído de los mamíferos

*Fernando Montealegre-Z*

**¿E** N QUÉ SE PARECE UN HUMANO A UN SALTAMONTES? A PRIMERA vista, en nada. Sin embargo, en 2012 se descubrió que ambos han desarrollado un mecanismo semejante para poder percibir los sonidos del mundo que los rodea. El hallazgo se realizó en ciertos saltamontes (o chapulines) de las selvas tropicales y ofrece un claro ejemplo de convergencia evolutiva, en la que dos organismos no emparentados filogenéticamente han resuelto los problemas biofísicos de la audición mediante estrategias semejantes.

## EN SÍNTESIS

**La percepción del sonido** se desarrolla en los humanos en tres etapas: captación, transformación y análisis de frecuencias. Se pensaba que era un proceso exclusivo de los vertebrados superiores, pero se ha descubierto que opera también en los saltamontes.

**Asimismo**, la exploración de estos insectos mediante microtomografía de rayos X ha revelado la existencia de un nuevo órgano, la vesícula auditiva, pieza clave en la audición.

**El conocimiento** derivado del estudio de estos oídos, diminutos y de gran eficiencia acústica, permitirá mejorar el diseño y las prestaciones de audífonos y microsensores.

Todo empezó en 2008, cuando, junto con Daniel Robert, experto en sistemas sensoriales de insectos de la Universidad de Bristol, y otros colaboradores, emprendimos un proyecto financiado por el Programa Científico Fronteras Humanas (HFSP, por sus siglas en inglés) con el propósito de ahondar en el funcionamiento del oído de los saltamontes.

En concreto, nos interesaba la tráquea acústica, un tubo derivado del sistema respiratorio que opera en estos diminutos organismos como una perfecta guía de sonido: lo conduce del tórax al oído (que en estos insectos se aloja en las patas delanteras) sin que escape por las paredes. Un sistema similar existe también en otros ortópteros como los grillos comunes y los grillos topo, pero en los saltamontes opera en un intervalo más amplio de frecuencias. Pensábamos que si lográbamos caracterizar los materiales de ese pequeño conducto de aire y sus estructuras adyacentes (fluidos, músculo y grasa), podríamos proponer mejoras en el diseño de los audífonos para las personas con sordera (en estos aparatos el sonido a veces escapa del tubo central y regresa al micrófono, causando interferencias muy molestas para el usuario).

Organizamos, pues, una expedición al Parque Nacional Natural Gorgona, una isla de selvas lluviosas del Pacífico colombiano, con el objetivo de recolectar unos cuantos saltamontes. Dado que antes de la última glaciación la isla había formado parte del continente y de la selva lluviosa costera que allí existe actualmente, suponíamos que debía albergar numerosas especies

de insectos. Logramos el apoyo económico de National Geographic y la colaboración de la Unidad de Parques Nacionales de Colombia. Después de pasar unas dos semanas trabajando de noche con linternas frontales (se trata de insectos nocturnos), capturamos varios ejemplares de saltamontes, algunos pertenecientes a especies desconocidas hasta la fecha.

### HALLAZGOS INESPERADOS

De vuelta al laboratorio en Bristol, acometimos una serie de experimentos. Nos centramos, sobre todo, en la especie *Copiphora gorgonensis*. Las pruebas consistían en enviar sonido a la pequeña tráquea acústica del saltamontes y monitorizar su desplazamiento a través de la cutícula de las patas anteriores mediante vibrometría láser (una técnica basada en el efecto Doppler que permite determinar el estado de vibración de una superficie). En general, no se observaron fugas. Sin embargo, para sorpresa de todos, al llegar a la tibia en la pata anterior (la zona donde se aloja el oído), detectamos una vibración intensa, totalmente inesperada. ¿Qué estaba ocurriendo?

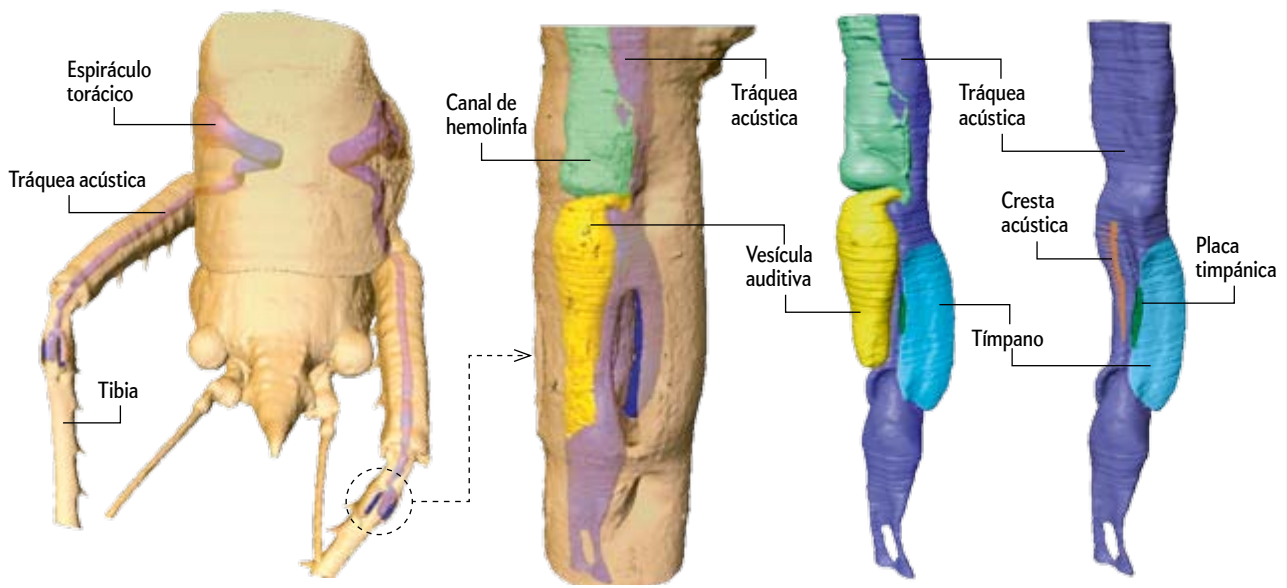
En ese momento, la investigación cambió de rumbo. Queríamos averiguar de dónde procedía esa señal: cómo se generaba. Pero ¿cómo podríamos desentrañar las complejidades de un sistema tan diminuto? Fue entonces cuando decidimos recurrir a la microtomografía computarizada de rayos X. Nos permitiría obtener imágenes del interior del oído del insecto. Ello sig-

## ANATOMÍA

# Un nuevo órgano auditivo

En los saltamontes, los oídos se alojan en la tibia de las patas delanteras. En cada uno, el tímpano (azul claro) se apoya en la tráquea acústica (violeta), un tubo lleno de aire que deriva del sistema respiratorio y se origina en el espiráculo torácico. Para comprender mejor el funcionamiento y la estructura de este conducto, el autor y sus colaboradores llevaron a cabo una serie de microtomografías de rayos X. Descubrieron así un nuevo órgano: la vesícula auditiva (amarillo), una pequeña bolsa que contiene el líquido en el cual se propagan las ondas sonoras procedentes del tímpano.

El sonido ambiental que se capta en el espiráculo torácico es amplificado en la tráquea y conducido hacia los tímpanos; estos transfieren luego las vibraciones a la vesícula auditiva a través de la placa timpánica, un parche de cutícula endurecida (verde oscuro). La placa timpánica acopla la membrana timpánica con la vesícula auditiva y la cresta acústica (naranja), estructura donde reposan las células receptoras. Allí se produce la descomposición de las ondas de presión en sus respectivas frecuencias. La energía sonora sobrante se libera finalmente hacia el canal de hemolinfa (verde claro).



CORTESÍA DEL AUTOR



nificó un gran paso adelante en el proyecto y nos convirtió en pioneros en el uso de esta técnica para el estudio de estructuras tan pequeñas en insectos [véase «Microtomografías de invertebrados», por Javier Alba Tercedor, en *este mismo número*].

Las microtomografías demostraron que bajo la cutícula vibrante se alojaba una vesícula llena de líquido, a través del cual se propagaban las ondas procedentes del tímpano. Acabábamos de descubrir la vesícula auditiva, un nuevo órgano del oído del saltamontes. Pero eso no fue todo. Al juntar todas las piezas del rompecabezas nos dimos cuenta de algo más sorprendente todavía: que ese diminuto sistema auditivo guardaba una gran semejanza funcional con el nuestro. Veamos en qué consiste este parecido.

### CAPTAR, ADAPTAR Y ANALIZAR

En los mamíferos, la audición se divide en tres etapas básicas: captación y preamplificación del sonido; adaptación y segunda amplificación de la señal acústica, y análisis de frecuencias y tercera amplificación. Cada una de ellas se desarrolla en una parte anatómicamente diferenciada del oído: la captación de las ondas sonoras se realiza en la oreja, el canal auditivo y el tímpano; la transferencia de las ondas, que deben pasar de un medio gaseoso (aire) a uno líquido (el interior de la cóclea), se produce a través de los huesecillos del oído medio, y el procesamiento final de la señal ocurre en la cóclea (véase el recuadro «La audición en tres actos»).

Este complejo sistema auditivo se había identificado solo en los vertebrados superiores, entre ellos los mamíferos. Pero nuestra investigación ha demostrado que un mecanismo equivalente opera también en los saltamontes. ¿Cómo se desarrollan las tres etapas en ambos organismos?

### VÍAS DE ENTRADA

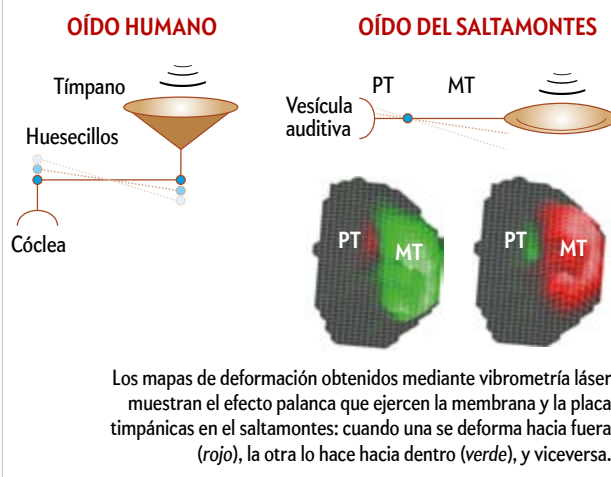
El sonido llega a cada uno de nuestros oídos y golpea la membrana timpánica en su superficie externa. En los saltamontes, en cambio, el sonido golpea ambas superficies del tímpano, la externa y la interna. El sonido se capta, por tanto, por dos canales: la superficie timpánica externa y la tráquea acústica, que conduce el sonido hacia la superficie interna. Cada vía de entrada produce diferentes modos de amplificación y de velocidad de propagación de la señal acústica. Las vibraciones que llegan a la superficie externa del tímpano viajan en el aire a la velocidad normal del sonido (340,29 metros por segundo a nivel del mar); las que llegan a la superficie interna viajan por la tráquea a una velocidad inferior (entre 150 y 250 metros por segundo). Por tanto, en los saltamontes, una señal tiene dos tiempos de llegada al tímpano. Como veremos a continuación, este «desfase» los ayuda a saber de dónde procede el sonido.

Para determinar la posición de la fuente sonora, los mamíferos comparan y analizan las diferencias entre la señal que capta el oído derecho y la que capta el izquierdo. Por un lado, debido a la distancia craneal que separa ambos oídos, estas señales llegan con tiempos distintos. Por otro, también presentan diferencias en intensidad, causadas por la dispersión del sonido que produce la cabeza (efecto de sombra).

Los saltamontes, en cambio, al ser tan diminutos, requieren de un mecanismo todavía más refinado y sensible para averiguar la procedencia de un sonido. Aun cuando sus oídos se encuentran separados por la distancia entre patas (mayor que la que habría si estos se alojaban en la cabeza, como en los mamíferos), se trata de una distancia muy pequeña. Para estimar las diferencias entre las señales que reciben en cada pata, estos

## Efecto palanca

En humanos y saltamontes, el mecanismo que permite amplificar y transferir el sonido de un medio gaseoso a otro líquido se basa en un sistema de palanca. En el mamífero (*izquierda*), la micropalanca la forman los tres huesecillos que conectan el tímpano con la cóclea. En el insecto (*derecha*), de ello se encarga la placa timpánica (PT), que vibra con fase opuesta a la membrana timpánica (MT); mediante este acoplamiento se transfiere el sonido a la vesícula auditiva.



insectos comparan los tiempos de llegada y la intensidad de las vibraciones en cada una de las superficies timpánicas. Dado que en el interior de la tráquea acústica la velocidad del sonido se reduce hasta en un cincuenta por ciento, el sonido llega primero a la cara externa que a la interna del tímpano. Además, debido al efecto de amplificación que ejerce la tráquea acústica, la intensidad es mayor en el lado interno que en el externo. A través del análisis de todas estas variables, el saltamontes puede estimar de dónde procede el sonido.

### DE GAS A LÍQUIDO

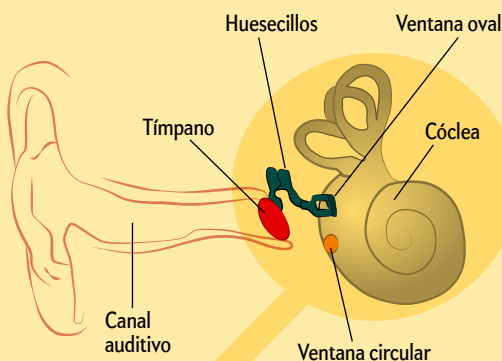
Una vez las vibraciones han llegado al tímpano, deben ser transmitidas al oído interno. Pero topan con una dificultad: han de pasar de un medio gaseoso (oído externo) a uno líquido (oído interno). En los mamíferos, esta transición se consigue mediante la acción de la cadena de huesecillos que conectan el tímpano con la cóclea: el martillo, el yunque y el estribo. El estribo es el hueso más pequeño del cuerpo humano; se incrusta en la cóclea a través de una pequeña ventana recubierta por una membrana, la ventana oval. La estrecha conexión de los huesecillos y sus longitudes desiguales hacen que el conjunto opere como una palanca: la vibración del martillo se transmite al yunque, y este golpea al estribo inmediatamente.

La superficie de la ventana oval es mucho más pequeña que la del tímpano: la proporción entre las dos áreas varía entre 12,5 y 21,1; en humanos, es de alrededor de 17. Esta diferencia de tamaño hace que las ondas, al pasar del tímpano a la ventana oval, se amplifiquen y aumenten su potencia. En el tímpano, las vibraciones procedentes del aire exterior presentan una gran amplitud y ejercen poca fuerza. Al pasar a la ventana oval, dado que esta posee una superficie inferior no tienen más remedio que perder amplitud; pero, como

# La audición en tres actos

Nuestro oído (así como el del resto de los mamíferos) y el del saltamontes presentan una gran semejanza funcional. En ambos operan tres etapas básicas: captación del sonido y preamplificación; transferencia de medio gaseoso a medio líquido y segunda amplificación, y análisis de frecuencias y tercera amplificación. El siguiente esquema ilustra el modo en que se desarrollan los tres pasos en ambos organismos. Pese a las particularidades que muestra cada uno, sorprenden las numerosas analogías, en especial en el mecanismo de transferencia de las ondas sonoras al medio líquido del oído interno.

## OÍDO HUMANO



## OÍDO DEL SALTAMONTES

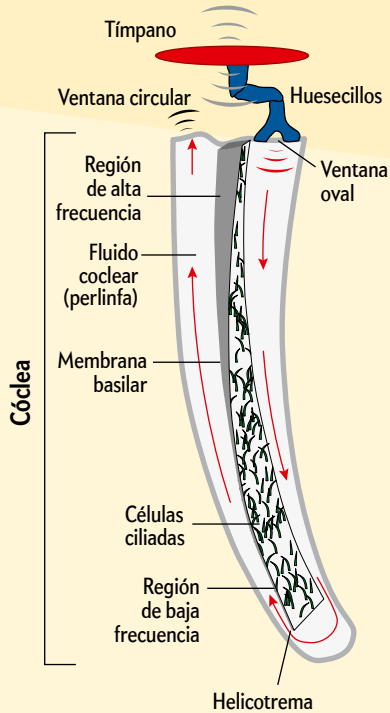


### 1. Captación del sonido

Las ondas sonoras entran primero por el canal auditivo, que las amplifica y las conduce hasta el tímpano. Los insectos cuentan, además, con una segunda vía de entrada del sonido: la superficie externa de la membrana timpánica, en contacto con el exterior.

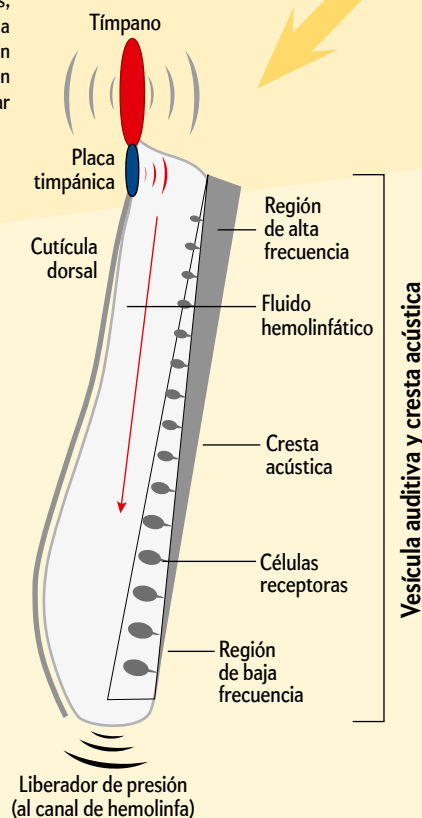
### 2. Transferencia al medio líquido

En los humanos, un engranaje de tres huesecillos amplifica las ondas sonoras y las transfiere del tímpano a la cóclea por la ventana oval. En los insectos, la transferencia (en este caso del tímpano a la vesícula auditiva) y la amplificación se producen mediante un fenómeno equivalente: el efecto palanca que ejercen la membrana timpánica y la placa timpánica al vibrar con fase opuesta.



### 3. Análisis de frecuencias

Una vez en el medio líquido, las ondas se propagan y van llegando a una batería de células que las transforman en impulsos nerviosos. En los humanos, de ello se encargan las células ciliadas alojadas en la membrana basilar; en los saltamontes, las células receptoras de la cresta acústica. Cada una responde a una frecuencia determinada según su posición: las sensibles a frecuencias altas residen en la región próxima al tímpano; las sensibles a frecuencias bajas, en el extremo opuesto. Dado que los fluidos (coclear y hemolinfático) son incompresibles, la energía sonora sobrante debe liberarse: en los humanos, ello ocurre a través de la ventana circular; en los saltamontes, a través de una abertura que conecta con el canal de hemolinfa.



contrapartida, ganan potencia (la energía se concentra en un espacio más reducido).

Por tanto, las vibraciones que llegan a la cóclea han sufrido dos etapas de amplificación: la primera en el oído externo (pabellón auricular y canal auditivo), cuya forma cónica produce un efecto de cuerno o bocina exponencial; y la segunda en el oído medio (tímpano, huesecillos y ventana oval).

Lo que descubrimos en nuestros experimentos es que también los saltamontes cuentan con un mecanismo que les permite amplificar y transferir las ondas sonoras de un medio gaseoso (aire del tímpano) a otro líquido (fluido de la vesícula auditiva). Nos referimos al acoplamiento de la membrana timpánica y la placa timpánica (un parche grueso de cutícula endurecida, derivada de la membrana timpánica), que vibran con fase opuesta. En conjunto, operan como una palanca de primera clase, en la que las vibraciones de la membrana se transmiten a la placa mediante una suerte de fulcro intermedio; desempeñan la misma función que los huesecillos del oído de los mamíferos. Debido a la diferencia de tamaño entre ambas estructuras (la membrana timpánica es entre 12 y 15 veces mayor que la placa), las vibraciones de gran amplitud y baja fuerza de la membrana se convierten, una vez transferidas a la placa, en oscilaciones de menor amplitud y mayor fuerza. La señal se amplifica en un factor de diez. Se desconoce si este mecanismo de transferencia opera en todas las especies de saltamontes (unas 6500 conocidas). Hasta la fecha, se ha observado en *C. gorgonensis*, *Panacanthus pallicornis*, *Artiotonus captivus* y *Metrioptera sphagnorum*.

Después de llegar a la cóclea, ¿qué camino sigue el sonido? En 1961, el físico húngaro experto en audición Georg von Békésy, entonces en la Universidad Harvard, fue galardonado con el premio Nobel de medicina por arrojar luz sobre esta cuestión. Mediante experimentos en cuerpos recientemente fallecidos descubrió las ondas de propagación en la cóclea humana. (Posteriormente, la existencia de estas ondas se ha demostrado en vivo, de forma indirecta, en numerosas especies animales.)

En efecto, en la cóclea las ondas sonoras se propagan en sentido único, hacia el interior de la misma. Y, debido al acoplamiento que se produce entre el fluido coclear y la membrana basilar, sufren una amplificación.

Ahora sabemos que un fenómeno equivalente tiene lugar en el oído de los saltamontes: allí, el fluido de la vesícula auditiva interacciona con la cresta acústica, amplificando las ondas. Estas intensas vibraciones son precisamente las que detectamos en nuestros experimentos iniciales de vibrometría láser a través de la cutícula dorsal de la pata del insecto.

### UNA BATERÍA DE RECEPTORES

La tercera y última etapa de la audición corresponde a la descomposición de la señal acústica en sus frecuencias constituyentes. Los oídos cuentan para ello con una batería de células mecanorreceptoras especializadas. Cada célula responde a una frecuencia determinada de acuerdo con su ubicación. Se trata, pues, de un caso de tonotopía.

En los mamíferos, son las células ciliadas de la cóclea las encargadas de desempeñar esta función. Responden a las vibraciones transmitidas por el fluido coclear y las transforman en excitación nerviosa. Se distribuyen de forma ordenada y lineal a lo largo de la membrana basilar. Esta presenta un gradiente de rigidez, anchura y grosor: es rígida, angosta y gruesa en su parte más próxima al tímpano, y más elástica, ancha y fina en el extremo opuesto. Dado que la frecuencia de resonancia de una

estructura vibrante es directamente proporcional a su rigidez, las células ciliadas sensibles a frecuencias altas se alojan cerca del tímpano (región rígida); las sensibles a frecuencias bajas, lejos del tímpano (región elástica), y las de frecuencias intermedias, entre los dos extremos.

Los saltamontes poseen también células mecanorreceptoras. Residen en la cresta acústica, una estructura triangular y ligeramente convexa. Las microtomografías de rayos X que hemos obtenido para las cuatro especies de saltamontes estudiadas muestran que es más gruesa en el extremo angosto que en el ancho. Como las células ciliadas de los mamíferos, las células receptoras de los saltamontes se organizan de forma tonotópica: las sensibles a frecuencias altas residen en la parte angosta, gruesa y rígida de la cresta acústica, próxima al tímpano; las sensibles a frecuencias bajas, en la parte opuesta, más ancha, fina y elástica. La cresta acústica sería, por tanto, el equivalente de la membrana basilar de la cóclea de los mamíferos: una estructura laminar con una anisotropía mecánica que produce el gradiente tonotópico observado.

La vesícula auditiva de estos insectos presenta la misma forma triangular que la cresta acústica —la recubre—, pero es más voluminosa. Se trata de una cavidad parcialmente cerrada: es angosta y cerrada en su extremo próximo al tímpano, y expandida y abierta en el lado opuesto, donde conecta con el canal principal de hemolinfa (la sangre del insecto) a través de una constricción que varía en diámetro según la especie. En las cuatro especies tropicales estudiadas, hemos observado en los dos extremos de la vesícula auditiva un tapón de material coloidal; sin embargo, se desconocen todavía su naturaleza y función.

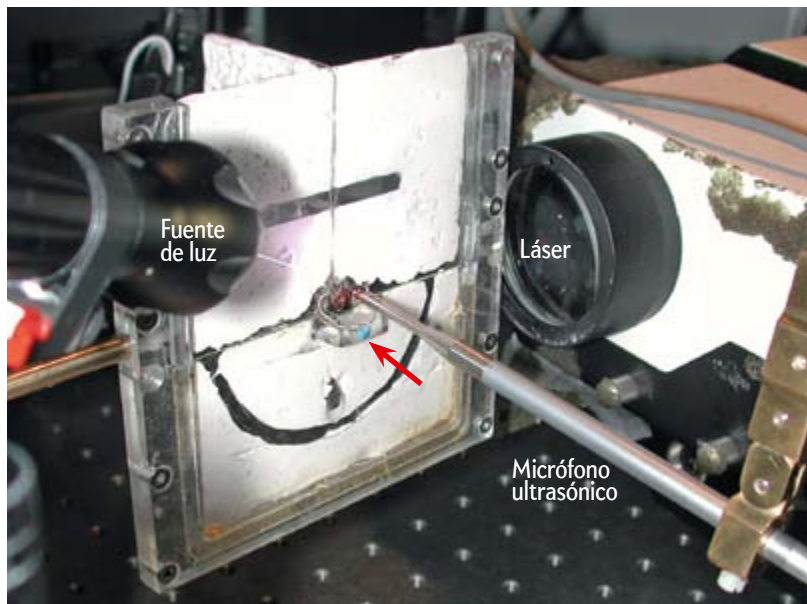
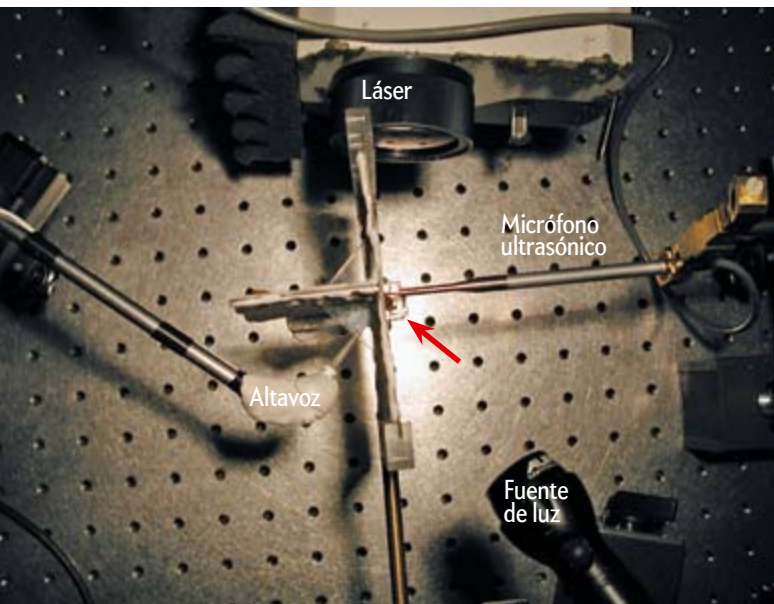
La estrecha relación entre la vesícula auditiva y la cresta acústica de los saltamontes no se conocía, ya que tradicionalmente la cavidad de la vesícula se consideraba simplemente una continuación del canal hemolinfático en la pata delantera. Nuestros hallazgos han demostrado, en cambio, que se trata de una pieza clave en la audición de estos artrópodos, ya que proporciona un medio para la propagación de ondas y además facilita la descomposición de frecuencias y la amplificación final de la señal.

El fluido de la vesícula auditiva reviste especial interés. Mediante experimentos en los que se ha procedido a su evacuación, se ha demostrado que su ausencia altera notablemente el sistema: cambia la fase de vibración de la membrana y la placa timpánicas, dificulta la propagación de las ondas y parece que disminuye la respuesta eléctrica de las células receptoras de la cresta acústica. Ello sugiere que, además de estabilizar la vibración de todo el sistema (tímpanos, placas timpánicas y cresta acústica), posee una composición química especial. Análisis preliminares realizados en nuestro laboratorio indican que este líquido no es hemolinfa. Contiene lípidos y quizá cationes, que facilitarían la transformación de las ondas de propagación en impulsos eléctricos. Podría tratarse de otra forma de convergencia con el fluido coclear de los mamíferos.

### VENTANAS LIBERADORAS

¿Qué ocurre con la energía sonora sobrante, la que no es convertida en señal eléctrica por las células mecanorreceptoras? Dado que ni el fluido coclear de los humanos ni el que llena la vesícula auditiva de los saltamontes pueden comprimirse, debe existir algún mecanismo que permita compensar los cambios de presión que causa la llegada del sonido.

En el oído de los mamíferos, la energía sobrante se libera a través de la ventana circular, una estructura con capacidad de



**LAS PRUEBAS DE VIBROMETRÍA LÁSER** con organismos tan diminutos requieren una gran paciencia. Los investigadores tardaron unos dos años en completar el diseño de este experimento (en las fotografías, vista superior y lateral del montaje). El insecto intacto se inmoviliza en una plataforma especial (*flecha roja*) que permite acceder a su oído mediante un láser, que detecta las vibraciones generadas por un altavoz. Este transmite el sonido mediante una sonda, que lo dirige hacia el espiráculo y la tráquea acústica con el propósito de que llegue solo a la superficie interna del tímpano y así tener más control sobre el experimento. El micrófono ultrasónico verifica que el sonido del altavoz no pase al otro lado de la pared, de modo que no pueda alcanzar la superficie externa del tímpano y producir interferencias. Se trata de un procedimiento no invasivo; una vez finalizada la prueba, el insecto se devuelve a la jaula (en la que se intenta reproducir su hábitat natural).

plegamiento. La ventana circular y la ventana oval vibran, por tanto, con fase opuesta: cuando una sufre una presión hacia dentro, la otra la sufre hacia afuera.

En los saltamontes, las ondas de propagación se disipan a través de la zona que conecta la vesícula auditiva con el canal de hemolinfa. Este elemento liberador se halla acompañado por un tapón de material coloidal. La cantidad de energía sobrante disipada varía de una especie a otra y quizá guarde relación con la estrechez de esta conexión.

### PRÓXIMOS RETOS

A diferencia de Von Békésy, que tuvo que diseccionar cadáveres para investigar la mecánica de la audición en los humanos, nosotros lo hemos tenido mucho más fácil para ahondar en el oído del saltamontes. Al ser un órgano de fácil acceso, el estudio de su funcionamiento puede realizarse de forma no invasiva. Por un lado, presenta una estructura lineal (a diferencia de la cóclea de los mamíferos, que se halla enrollada en forma de caracol —de aquí su nombre—). Por otro, su composición facilita el seguimiento de las vibraciones internas mediante vibrometría láser a través de la cutícula que lo protege, sin tener que destruirlo ni evacuar el fluido para exponer la superficie de la cresta acústica. Esta facilidad de experimentación, sin duda, nos anima a seguir avanzando en este campo.

Entre los nuevos proyectos que estamos desarrollando destaca el estudio de una especie de saltamontes con una capacidad sorprendente: se comunica a través de canales ultrasónicos (150 kilohercios) imperceptibles para los humanos (que oímos frecuencias máximas de 20 kilohercios). La descubrimos también en el Parque Natural Nacional Gorgona y la bautizamos con el nombre de *Supersonus aequoreus*. Nuestro objetivo es ahora

comprender su sistema auditivo, con el propósito de mejorar las prestaciones de los microsensores y micrófonos sensibles a estas frecuencias.

Asimismo, a raíz de las investigaciones descritas en este artículo se nos han planteado nuevas incógnitas. Hemos estudiado el fenómeno de la audición en cuatro especies de saltamontes. Sin embargo, existen unas 6500 —o quizá más— especies de estos insectos en todo el planeta. ¿Poseen todas ellas el mismo oído refinado que *C. gorgonensis*? ¿Cuál es la variabilidad funcional de este mecanismo sensorial? ¿Cuál sería la mejor especie modelo para futuros estudios comparativos entre la cóclea de los mamíferos y la vesícula auditiva de los insectos? Confiamos en que las próximas investigaciones nos ayudarán a resolver estas y otras cuestiones sobre la biofísica de la audición.

### PARA SABER MÁS

- Experiments in hearing.** G. von Békésy. McGraw-Hill, Nueva York, 1960.
- Mechanics of the mammalian cochlea.** L. Robles y M. A. Ruggero en *Physiological Reviews*, vol. 81, n.º 3, págs. 1305-1352, julio de 2001.
- Cochlear outer hair cell motility.** J. Ashmore en *Physiological Reviews*, vol. 88, n.º 1, págs. 173-210, enero de 2008.
- Tonotopically arranged traveling waves in the miniature hearing organ of bushcrickets.** A. Palghat Udayashankar et al. en *PLOS One*, vol. 7, n.º 2, pág. e31008, febrero de 2012.
- Convergent evolution between insect and mammalian audition.** F. Montealegre-Z et al. en *Science*, vol. 338, n.º 6109, págs. 968-971, noviembre de 2012.

### EN NUESTRO ARCHIVO

- Células ciliadas del oído interno.** A. J. Hudspeth en *lyC*, marzo de 1983.
- Recibido y oído.** Jean-Michel Courty y Édouard Kierlik en *lyC*, abril de 2009.