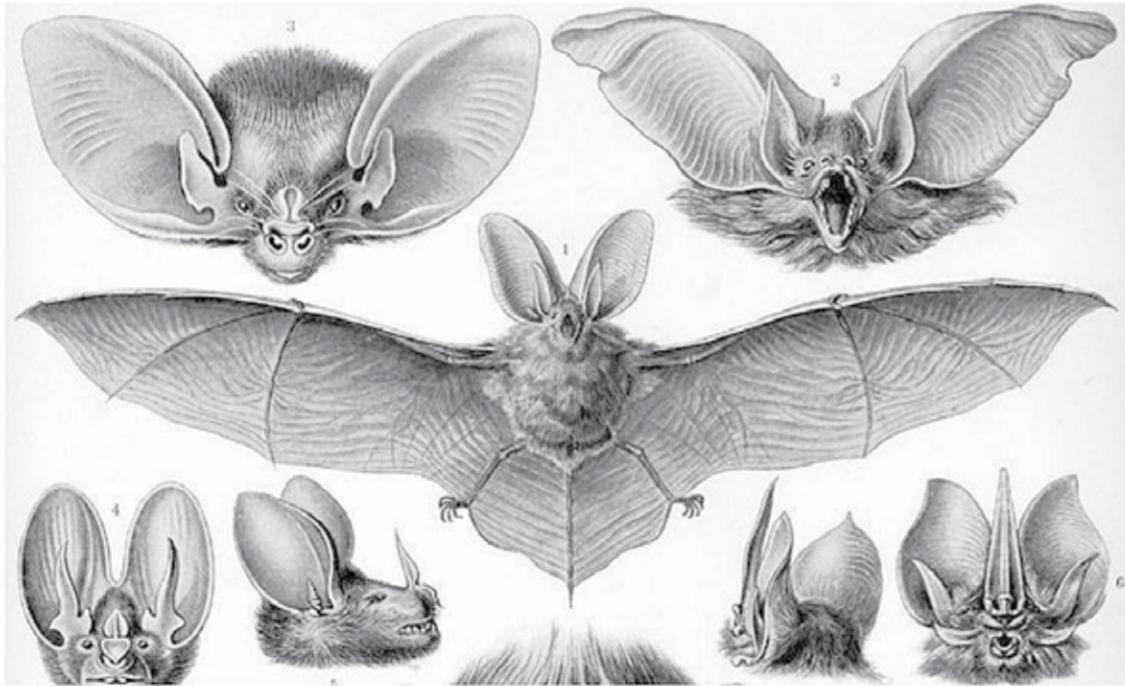


# El eco en tu cabeza



Agustín B. Ávila Casanueva  
ITESM Campus Cuernavaca.

**A**gustín Ávila es egresado de la carrera de Ciencias Genómicas de la UNAM y piensa que la divulgación de la ciencia puede llenar espacios culturales, de comunicación, científicos y lúdicos. Es profesor del Tecnológico de Monterrey campus Cuernavaca y es colaborador de Cienciorama. Forma parte del Taller de Escritura Creativa en Ciencia y Portal Cienciorama de la DGDC (<http://www.cienciorama.unam.mx/>). La ACMOR agradece a Cienciorama que nos comparta este texto. Presentación: Agustín López Munguía.

Hay una luz que sale por la boca y se percibe con los oídos. Así los murciélagos iluminan su noche y las orcas su mar. Nosotros la copiamos sin saber y las plantas encontraron una manera de sacarle ventaja.

## Los torpes murciélagos de un italiano

El italiano Lazzaro Spallanzani fue un genio; se encontraba en camino de convertirse en abogado cuando seducido por la ciencia, inició con ella un romance que duraría el resto de su vida. En 1768 Spallanzani refutó la generación espontánea propuesta por Buffon y demostró que las bacterias que aparecían de la nada en los alimentos dejados al descubierto, en realidad estaban en el aire, y que se podía prevenir su aparición hirviendo los alimentos por suficiente tiempo. También investigó acerca de la reproducción de los mamíferos y demostró que se necesitaba un óvulo y un espermatozoide para que sucediera la fecundación. Bajo esta lógica, logró hacer la primera fertilización *in vitro* utilizando los óvulos de una rana, y la primera fecundación *in vivo* en una perra: extrajo esperma de un

perro y lo introdujo en ella.

A pesar de que Lazzaro era un científico de tiempo completo, hubo algunas dudas que nunca logró resolver. La más famosa se conoció como *el misterio de los murciélagos de Spallanzani*, un misterio que tardó casi 150 años en ser resuelto. En 1793 empezó una serie de experimentos diseñados para responder una simple pregunta: ¿cómo logran ver de noche los murciélagos? Lo primero que hizo fue vendar los ojos de los murciélagos pero ¡pudieron volar sin problema!, después les tapó las narices y les cerró los hocicos, pero ¡pese a ello volaban sin tropiezo! y por último les cerró los canales auditivos ¡y seguían librando todos los obstáculos a su paso! Sus experimentos fallaron hasta que escuchó acerca de lo que realizaba un contemporáneo suyo, el genovés Louis Jurine: sus murciélagos chocaban con cualquier cosa en su camino y parecían desorientados. Spallanzani, un poco incrédulo, repitió los experimentos de Jurine utilizando un tapón más apretado dentro de las orejas de los murciélagos, y observó cómo daban tumbos contra distintos obstáculos.

Bueno, una parte quedó resuelta. “La oreja del murciélago funciona para ver o al menos para medir distancias de manera más eficiente que su ojo” escribió el italiano (Ver Figura 1). Pero los resultados generaron más preguntas de las que logró responder y la principal era ¿cómo logran los murciélagos utilizar el sonido para navegar si no hacen ningún ruido?



**Figura 1. El murciélago *Corynorhinus townsendii* en pleno vuelo. El tamaño de sus orejas debió de haber sido una buena pista para darse cuenta de que el oído es muy importante en estos animales. Fotografía del dominio público.**

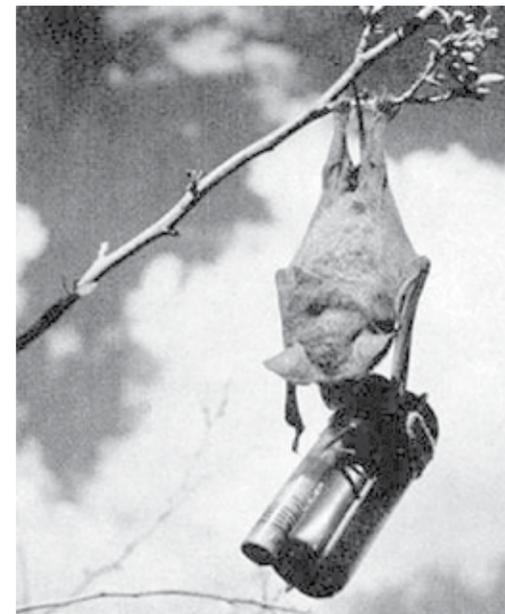
## Escuchando en la oscuridad de un granero

A finales de la década de 1930, un par de jóvenes de la Universidad de Harvard, tuvieron las mismas dudas que Spallanzani acerca de la visión nocturna de los murciélagos; el zoólogo Donald Griffin y el neurólogo Robert Galambos construyeron una pista de obstáculos para murciélagos dentro de un granero y observaron a sus compañeros alados recorrerlo una y otra vez. Otros investigadores ya sospechaban que los murciélagos en realidad sí hacían ruido, y mientras debatían teóricamente si estos sonidos estaban por arriba o por debajo de los niveles auditivos humanos --es decir, si eran sonidos de alta o baja frecuencia--, Griffin y Galambos buscaron maneras de medir las señales directamente.

En 1938 el dúo contactó a otro colega de Harvard, un físico de nombre George Pierce, quien para entonces ya contaba con 66 años. La carrera científica e inventiva de Pierce había sido bastante fructífera, y uno de sus últimos inventos había sido una máquina lo suficientemente sensible como para convertir ondas de alta frecuencia en impulsos eléctricos. Griffin y Galambos pidieron prestada esta máquina a Pierce y la colocaron dentro de su laberíntico granero. En cuanto acercaron al primer murciélago al aparato salió, como la luz de un faro en la oscuridad, la señal eléctrica que indicaba que los murciélagos sí emitían sonidos, y que éstos se encontraban una octava por arriba de lo que los humanos podemos percibir. También notaron que tapando fuertemente el hocico de los murciélagos y colocando en su granero obstáculos más difíciles de esquivar, los murciélagos, al emitir un sonido muy apagado, tropezaban con ellos. Ahora Griffin y Galambos sabían que los murciélagos emitían

sonidos, unos potentes chillidos a manera de pulsos que incrementaban su frecuencia dependiendo de qué tan cerca se encontraran los obstáculos o si estaban cerca de aterrizar.

En 1944 Griffin acuñó el término *ecolocalización* para referirse a la manera en que los murciélagos utilizan el sonido para volar a oscuras. La idea fue lo suficientemente controversial como para que Griffin fuera acusado por sus colegas de no entender lo que hacía y de estar loco. Griffin siguió trabajando con murciélagos durante muchos años e incluso, bajo petición del gobierno estadounidense, revisó y aprobó un plan para bombardear Japón durante la segunda guerra mundial con bombas que contenían murciélagos. Estas bombas al abrirse liberarían a los murciélagos que saldrían volando en distintas direcciones y gracias a un cronómetro liberarían bombas incendiarias que cargaban en su espalda. Sin embargo, tal bomba nunca llegó a usarse en combate (Figura 2).



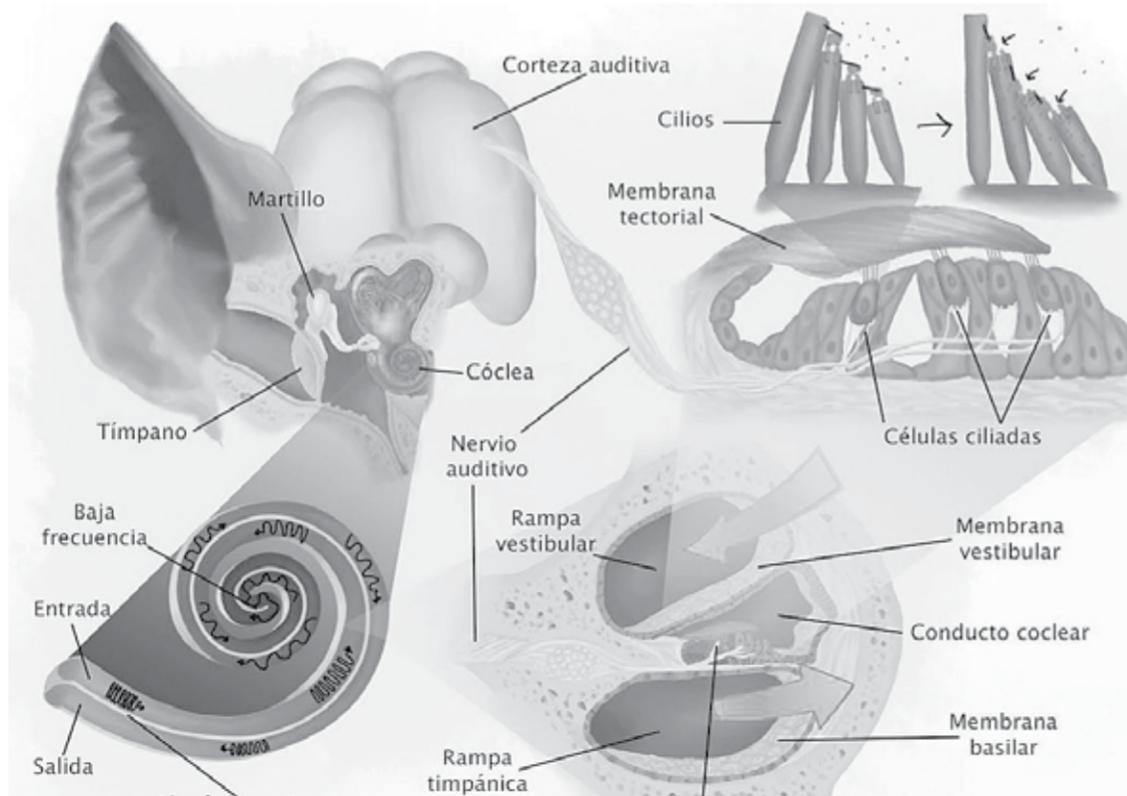
**Figura 2. Un murciélago cola de ratón cargando un prototipo de bomba. Fotografía de United States Army Air Forces.**

## La luz en la noche, la luz en el mar

El hundimiento del Titanic logró hacer conciencia de la necesidad de un buen método para que los barcos detectaran icebergs en el mar. Los esfuerzos para construir dicho aparato se vieron redoblados al dar inicio la primera guerra mundial pues además de icebergs había que localizar submarinos. Los ingleses desarrollaron un prototipo, pero poco eficiente. Fue hasta la segunda guerra mundial cuando los estadounidenses, basándose en el prototipo inglés, desarrollaron *el sonar*. El *sonar* (Sound Navigation and Ranging o navegación y medición por sonido) es la versión humana de la ecolocalización de los murciélagos, ya que el principio es el mismo. Los pulsos de sonido se emiten como si fueran latidos, con una frecuencia específica y a un ritmo constante. Las ondas de sonido se internan en el mar o en el aire hasta encontrar un obstáculo. Entonces rebotan, es

decir, hacen eco. La medición de este eco permite saber si hay un iceberg a la derecha, un submarino debajo, o si eres murciélago, si hay una rama u otro obstáculo.

Uno de los mayores problemas para desarrollar el sonar fue encontrar un material lo suficientemente sensible para registrar todas las variaciones de los ecos que regresaban. El equipo de ingenieros estadounidense encontró que si colocaban varios cristales de cuarzo en una antena para recoger los ecos del sonar, las ondas de sonido movían los cristales y el movimiento generaba suficiente carga eléctrica como para producir una señal. Los cristales convierten una fuerza física, el sonido, en una eléctrica; un fenómeno llamado *piezoelectricidad* (ver figura 3). De esta misma manera y también con cristales funcionaba la máquina de Pierce que logró medir los sonidos de los murciélagos.



**Figura 3. El sonido que los murciélagos emiten rebota hacia ellos cuando choca contra algún objeto y entra a su oído. Ya adentro es separado por tonos en la cóclea, los sonidos más agudos hacen vibrar la zona más estrecha de la espiral, mientras que los más graves hacen vibrar la parte más amplia. Cuando una parte en específico de la cóclea vibra, las membranas del conducto coclear se mueven apretando su superficie contra unos minúsculos pelos hipersensibles o cilios. Estos cilios están conectados al nervio auditivo, el cual manda suficientes señales al cerebro para transformar este movimiento mecánico de vibración, en sonido. Crédito de la imagen: Silvia Zenteno.**

¿Acaso los murciélagos tienen pequeños cristales en sus oídos? No, en lugar de ellos tienen pelos muy sensibles. Así es, los murciélagos escuchan con los pelos, aunque no es nada alarmante, todos los mamíferos escuchamos así. En nuestro oído y para ser más específicos, en la cóclea, existen unos pelos muy sensibles, que al igual que el cuarzo del sonar, cuando son movidos por la fuerza de las ondas de sonido, amplifican su vibración y mandan señales eléctricas al nervio auditivo, que registra el movimiento de estos pelos e inician las señales de que se percibió un sonido son unas proteínas llamadas prestinas.

En el 2010 un grupo de investigadores de la Universidad de Shanghai, en China, encontró que las prestinas de los murciélagos tienen adaptaciones que los hacen especialmente sensibles a las frecuencias que emiten mientras vuelan y pueden percibir y amplificar mejor los ecos que recuperan. Pero los murciélagos no son los únicos mamíferos con este tipo de adaptaciones. Los delfines, las orcas, los cachalotes y todas las ballenas con dientes –a este grupo de cetáceos se les conoce como *odontoceti*– tienen también prestinas afinadas especialmente para los sonidos que produce cada uno de ellos (ver *El neutrino y la*

*ballena*). Si sólo nos fijáramos en las prestinas, los delfines y los murciélagos estarían más emparentados que nosotros con los chimpancés. Desde 1947 se sospechaba que los delfines navegaban en el mar de manera similar. Pero fue hasta 1961 cuando Ken Norris realizó los experimentos que llevó a cabo Spallanzani en 1793: vendó los ojos de un grupo de delfines y los enfrentó a una pista con obstáculos. Observó los resultados y después los complementó con los experimentos de Griffin y Galambos para medir los sonidos que emitían los pequeños cetáceos. Una muestra de que los métodos de una ciencia bien hecha, pueden servir aun después de 150 años.



**Figura 4. La planta carnívora *Nepenthes hemsleyana* hace sentir a los murciélagos lanudos como si estuvieran en casa (Fuente: T. Ulmar Grafe et al.)**

Así, murciélagos, delfines y humanos encontramos la manera de ver con el sonido.

#### Una antena vegetal para un sonar animal

Las plantas carnívoras tienen distintas trampas para atrapar a sus presas, que generalmente consisten de pequeños invertebrados. Algunas las atrapan con una especie de tenaza, otras los retienen a partir de superficies pegajosas. Incluso hay un tipo de plantas acuáticas que genera una corriente de agua que jala a su presa rumbo a una muerte segura. Existen también unas plantas que comen insectos cuyo mecanismo se llama trampa de caída y consiste en tener una forma de jarra con un aroma atraente para los insectos; cuando éstos entran a la jarra descubren que sus paredes son muy resbaladizas y terminan en el fondo, flotando dentro de un cóctel de enzimas que los digiere poco a poco.

Ulmer Grafe, de la Universidad de Brunei, buscaba dentro de la selva de Borneo una especie en particular de estas plantas con jarras asesinas, *Nepenthes hemsleyana*, sin sospechar que se toparía con una gran sorpresa. Cuando miró dentro de varias de estas jarras de las plantas, no sólo encontró siete veces menos insectos que en otras plantas con jarras, sino que en algunas de ellas ¡encontró murciélagos! (Ver figura 4). Como el resto de los científicos protagonistas de este artículo, Grafe supo que era momento de pedir ayuda, y buscó a un experto en murciélagos. El grupo de Michael Schöner de la Universidad de Greifswald en Alemania, los estudió. Todos los murciélagos que estaban dentro de las jarras de *N. hemsleyana*, eran de una sola especie, la *Kerivoula hardwickii*, también llamada murciélago lanudo de Hardwicke. Pero los murciélagos no estaban siendo devorados por las enzimas de la planta; sólo parecían estar reposando o durmiendo, preparándose para salir a buscar alimento por la noche. Incluso en algunas de las jarras había parejas de murciélagos con sus crías. Hacían de la planta su casa.

¿Por qué a esta planta, en lugar de cazar insectos le convenía albergar murciélagos? Las plantas obtienen nitrógeno a partir de los insectos pues los suelos de la selva son muy pobres en este elemento, que utilizan para hacer proteínas y ADN. Los murciélagos no sólo duermen en la planta, también defecan en ella y ¡esto es lo que la planta busca! El excremento de murciélago, o *guano*, es muy rico en nitrógeno y sustituye casi por completo una dieta de insectos. Esto explica toda la historia del resguardo y la nutritiva recompensa entre las dos especies. Pero faltaba algo por explicar. Mientras atravesaban la selva de Borneo, al grupo de investigadores le costó trabajo encontrar a las *N. hemsleyana* ya que es bastante parecida a otras plantas carnívoras y no tiene colores brillantes que faciliten su localización. ¿Es igual de difícil para los murciélagos encontrar las plantas para resguardarse y descansar? Para contestar la pregunta los investigadores sabían que tenían que ver como murciélago, esto es, con sonido. Llegó el momento de llamar a otro experto.

Ralph Simon de la Universidad de Erlangen-Nürnberg, en Alemania, tenía el instrumento preciso, una cabeza robótica de murciélago – ¡los juguetes de los científicos son maravillosos! – con una bocina en la boca y dos pequeños micrófonos en los oídos. Con esta cabeza emitieron los sonidos propios de un murciélago lanudo, y al encontrarse cerca de la *N. hemsleyana* recibieron de regreso, a través de los micrófonos de los oídos, un fuerte eco. La hoja que se encuentra arriba de la jarra de *N. hemsleyana* es como una antena parabólica afinada justo a la frecuencia de los chillidos del murciélago lanudo. Estas plantas encontraron el equivalente auditivo de un gran anuncio con luces que dice “Cuartos disponibles”.

Los murciélagos ven el mundo por los oídos de una manera muy especial. Entender cómo lo hacen nos permitió ver el mundo de una nueva manera, y encontrar más sorpresas y belleza a nuestro alrededor.

#### Bibliografía

- Imagen de portada: Ernst Haeckel - *Kunstformen der Natur* (1904), plate 67: Chiroptera  
 Donald Griffin, “Return to the magic well: Echolocation behavior of bats and responses of insect prey”, *Biosciences*, julio, 2001.  
 Gareth Jones, “Echolocation”, *Current Biology*, julio 2005.  
 Yang Liu, James A. Cotton, Bin Shen, Xiuqun Han, Stephen J. Rositerand Shuyi Zhang, “Convergent sequence evolution between echolocating bats and dolphins”, *Current Biology*, 2010.  
 T. Ulmar Grafe, Caroline R. Schöner, Gerald Kerth, Anissa Junaidiand Michael G. Schöner, “A novel resource–service mutualism between bats and pitcher plants”, *Biology Letters*, 2011.  
 Ed Yong, “With sonar-reflecting leaves, plant lures bats to poo in it”. Not Exactly Rocket-Science. *Phenomena*, *National Geographic*, 9 de julio 2015. <http://phenomena.nationalgeographic.com/2015/07/09/with-sonar-reflecting-leaves-plant-lures-bats-to-poo-in-it/>