

MURCIÉLAGOS FUTURISTAS: DE LA INSPIRACIÓN A LA INNOVACIÓN

Luis David Vargas-López^{1*}, M. Cristina MacSwiney G.¹ y Sandra Milena Ospina Garcés²

¹Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana. Xalapa de Enríquez, Veracruz, México. luisdavid_vargaslopez@hotmail.com (LDV-L), cmacswiney@uv.mx (MCMG).

²Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México. ospinagarcess@gmail.com

*Autor de correspondencia

Inspirados en la asombrosa capacidad de vuelo y el sofisticado sistema de ecolocalización de los murciélagos, los científicos e ingenieros están enfocados en el diseño de micro vehículos, tanto terrestres como aéreos, que imiten el movimiento de las alas y la emisión de sonidos de estos mamíferos.

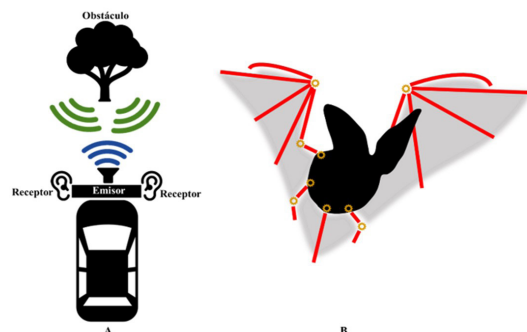
En la naturaleza existen criaturas que desafían nuestra comprensión y nos asombran con sus habilidades únicas. Los murciélagos, enigmáticos mamíferos de la noche, nos muestran un mundo lleno de adaptaciones extraordinarias entre las cuales se encuentran dos características sobresalientes: sus estrategias de vuelo y su habilidad para ecolocalizar. El orden Chiroptera alberga poco más de 1,400 especies con diferencias en su modo de vuelo y su morfología alar. Asimismo, cada especie tiene un llamado de ecolocalización específico, algo así como la huella dactilar en los humanos. Estas diferencias sutiles les permiten hacer uso de diferentes nichos ecológicos minimizando así la competencia por recursos, es decir, es como si cada especie de murciélago tuviera un puesto distinto en una gran empresa llamada naturaleza.

La capacidad de vuelo en los murciélagos es una adaptación que desafía las limitaciones impuestas al resto de los mamíferos. Sus manos, modificadas y adaptadas para funcionar como alas, están cubiertas por una membrana de piel delgada y flexible que se extiende desde los huesos de los dedos hasta el costado del cuerpo. Además, las alas presentan variaciones en el número de articulaciones y exhiben distintas modificaciones en las falanges. Estas modificaciones pueden incluir una punta cartilaginosa, un hueso osificado o, en algunos casos, hueso osificado con punta cartilaginosa e incluso las falanges pueden estar equipadas con tendones que les permiten flexionarse. Estas adaptaciones influyen en la compleja forma tridimensional del ala, lo que resulta en una amplia diversidad de movimientos que otorgan a los murciélagos la capacidad de maniobrar con destreza en ambientes complejos, lo que les permite explotar y colonizar desde la cima de los árboles hasta la profundidad de las cuevas.

Aunque el vuelo de los murciélagos es una adaptación sorprendente, su habilidad para ecolocalizar desafía la lógica humana y nos muestra que la naturaleza sigue siendo la más hábil de las ingenierías. La ecolocalización consiste en la emisión de sonidos de alta frecuencia, en su mayoría ultrasónicos e inaudibles para los humanos, que rebotan en los objetos del

entorno. Al interpretar el eco de estos sonidos, los murciélagos crean un mapa acústico de su ambiente con una precisión que les permite, por ejemplo, detectar presas. Para llevar a cabo todo el proceso, han desarrollado estructuras vocales y auditivas especializadas y, adaptado algunas de sus regiones cerebrales.

Una característica morfológica notable en los murciélagos son las orejas. Este órgano muestra una alta diversidad en la forma, tamaño y estructuras, ya que varía significativamente entre las especies. En lo que respecta a las dimensiones, el tamaño de las orejas puede ir desde una pequeña fracción de la cabeza, como en el caso del murciélago lengüilargo sin cola (*Anoura geoffroyi*), que se alimenta de néctar, hasta ocupar la mitad de la longitud de la cabeza y el cuerpo en el murciélago mula de Allen (*Idionycteris phyllotis*), que es insectívoro. Respecto a la forma la diversidad también es amplia, las especies exhiben desde simples elipses, como en el falso vampiro lanudo (*Chrotopterus auritus*), que es carnívoro, hasta estructuras altamente complejas y elaboradas, como las que encontramos en el murciélago cara de perro de Mato Grosso (*Neoplatymops mattogrossensis*), que se alimenta de insectos. Además del tamaño y forma, las orejas también incluyen otras estructuras asociadas que pueden desempeñar un papel en la recepción del sonido, como surcos, vellosidades o protuberancias. La variabilidad del órgano auditivo en términos de tamaño, forma y estructuras adicionales plantea preguntas intrigantes sobre las propiedades acústicas de cada una de las partes que lo componen. Por ejemplo, se ha sugerido que estructuras como los surcos podrían funcionar como una especie de red de difracción y desempeñar así un papel en la amplificación del eco. En conjunto, el mecanismo de emisión y recepción de sonido mediante una gran diversidad de estructuras ilustra cómo los murciélagos han evolucionado para convertirse en maestros de la percepción acústica.



Ejemplo visual de dos micro vehículos terrestre (A) y aéreo (B) que se inspiran en el sistema de ecolocalización y el vuelo de los murciélagos. Imagen: Luis David Vargas-López.

Los murciélagos también son objeto de estudio y admiración en la comunidad científica al brindar ideas sobre la biomecánica de un vuelo eficiente y la utilidad de la ecolocalización ya que, de manera general, han facilitado cazar y moverse de manera precisa tanto en la oscuridad como en espacios complejos. Ambas adaptaciones, alas especializadas y habilidad para “ver” con los oídos, han permitido plantear hipótesis de diseño con una visión futurista y un panorama de innovación tecnológica en diferentes áreas.

Imagina una flota de aeronaves del tamaño de un murciélago navegando por entornos complicados o autos recorriendo territorios utilizando ondas sonoras para mapear su entorno y evitar obstáculos con sorprendente precisión. Pues... ¿Qué crees? Es posible.



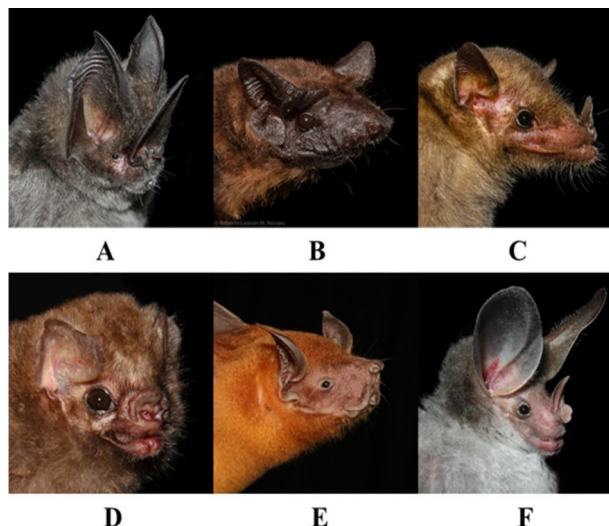
Murciélagos en vuelo.
Fotografía: M. Cristina MacSwiney G.

La búsqueda de nuevas formas de explorar y entender nuestro mundo ha llevado a la creación de micro vehículos aéreos y terrestres inspirados en murciélagos. En estos artefactos mecánicos que se basan en la utilización de alas articuladas y ecolocalización artificial la naturaleza y la tecnología convergen para desafiar los límites de la navegación.

Los micro vehículos aéreos no son nuevos, sin embargo, los modelos inspirados en murciélagos sí. Su desarrollo ha implicado replicar la singular morfología de las alas usando una serie de articulaciones flexibles y plegables accionadas por músculos artificiales. Las ventajas de un micro vehículo aéreo con estas características son varias, como reducción del peso, aumento de la maniobrabilidad y la facilitación para moverse en espacios complejos, además de lograr una mejor estabilidad ante las ráfagas de viento y operar eficazmente en un amplio rango de velocidades.

Aunque se han construido prototipos de estos robots capaces de volar, el funcionamiento eficiente de este tipo de aeronaves requiere una comprensión profunda de la estructura y arquitectura de las alas de los murciélagos, así como de la cinemática y aerodinámica del vuelo. Para abordar la complejidad de la elaboración de vehículos que puedan surcar los cielos, es importante tener un enfoque integrado de diversas disciplinas dentro de la biología e ingeniería.

Otro avance tecnológico es el uso de una ecolocalización artificial. Una manera bastante sencilla de comprender la ecolocalización es imaginar que un murciélago funciona como un sistema autónomo donde el emisor y receptor del sonido es un mismo individuo. Biológicamente, la emisión de los pulsos ultrasónicos puede realizarse desde la boca o la nariz y detectar los ecos de estos pulsos por los oídos derecho e izquierdo. Esta configuración puede considerarse como el requisito mínimo de sensores para la detección espacial tridimensional y ser modelado con un diseño mecánico simple.



Diversidad morfológica de las orejas en murciélagos. (A) murciélago nariz de espada (*Lonchorhina aurita*), (B) murciélago cara de perro de Mato Grosso (*Neoplatymops mattogrossensis*), (C) murciélago lengüilargo sin cola (*Anoura geoffroyi*), (D) vampiro pata peluda (*Diphylla ecaudata*), (E) murciélago pescador (*Noctilio leporinus*) y, (F) vampiro falso lanudo (*Chrotopterus auritus*).

Uso de fotografías autorizado por: Roberto Leonan Morim Novaes.

Los científicos han verificado el funcionamiento de la ecolocalización artificial con el desarrollo de un vehículo autónomo equipado con tres sensores ultrasónicos: un emisor, análogo a la boca o nariz, y dos receptores que corresponderían a los oídos. Estos vehículos terrestres de tamaño pequeño pueden “ver” o detectar su entorno de manera similar a como lo hacen los murciélagos, pero sin la precisión que esto conlleva.

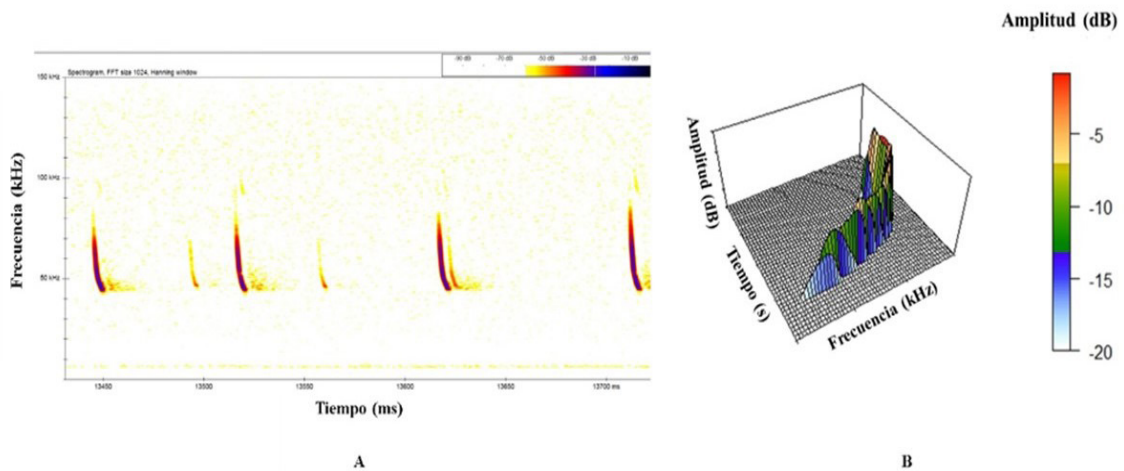
Los prototipos de los vehículos aéreos y terrestres desarrollados en la actualidad plantean una visión simplista de la gran complejidad del vuelo y la ecolocalización. Pese a ello, representan un gran logro considerando que intentan simplificar los miles de años de evolución requeridos para lograr tener unas alas articuladas tan especiales y un sistema de sensores ultrasónicos tan preciso. Además, es interesante que estos prototipos muestran un diseño inspirado de manera general en murciélagos, es decir, todavía falta considerar las variaciones morfológicas y funcionales de cada especie.

A pesar de los avances, todavía hay muchas preguntas sobre cómo vuelan y ecolocalizan los murciélagos; no obstante, el desarrollo de micro vehículos inspirados en murciélagos continúa gracias a las ventajas que presentan. El tamaño reducido, la eficiencia energética y la capacidad de adaptación para tareas específicas de estas máquinas, podría tener un impacto importante en diversas áreas, las aplicaciones que se vislumbran van, desde vigilancia, operaciones de rescate y monitorización del medio ambiente, hasta la exploración de entornos complejos y difíciles para los humanos como áreas de desastre e incluso... ¡otros planetas!

Aunque todavía existen desafíos por resolver, la combinación entre la biología y la ingeniería promete un enfoque innovador en el diseño de micro vehículos aéreos y terrestres. Su aplicación podría generar nuevas posibilidades en tecnologías de sensores y navegación, y quizá, en un futuro, tener el potencial de revolucionar el transporte de personas.

LITERATURA CONSULTADA

- Bahlam, J. W., *et al.* 2016. Simplifying a wing diversity and functional consequences of digital joint reduction in bats wings. *Journal of Anatomy* 229:114-127.
- Bunget, G., y S. Seelecke. 2008. BATMAV: a biologically inspired micro-air vehicle for flapping flight: kinematic modeling. *Active and passive Smart structures and integrated systems* 6928:711-722.
- Denzinger, A., y H. U. Schnitzler. 2013. Bat guilds, a concept to classify the highly diverse foraging and echolocation behaviors of microchiropteran bats. *Frontiers in Physiology* 4.
- Feng, C., Q. Wang, C. Hu, y L. Gong. 2020. Active disturbance reflection attitude control for flapping wing micro aerial vehicle with nonaffine-in-control characteristics. *IEEE Access* 8:20013-20027.
- López-González, C., y C. Ocampo-Ramírez. 2021. External ears in Chiroptera: form-function relationship in an ecological context. *Acta Chiropterologica* 23:525-545.
- Riopelle, N., P. Caspers, y D. Sofge. 2018. Terrain classification for autonomous vehicles using bat-inspired echolocation. *International Joint Conference on Neural Networks* 1-6.
- Yamada, Y., *et al.* 2019. Ultrasound navigation based on minimally designed vehicle inspired by the bio-sonar strategy of bats. *Advanced Robotics* 33:169-182.
- Zou, W., *et al.* 2022. Correlated evolution of wing morphology and echolocation calls in bats. *Frontiers in Ecology and Evolution* 10:1031548.



Representación gráfica de los llamados de ecolocalización: (A) llamado del murciélago amarillo ala negra (*Rhogeessa tumida*) en dos dimensiones y, (B) llamado del murciélago pescador (*Noctilio leporinus*) en tres dimensiones.
Imagen: Sandra Milena Ospina Garcés y M. Cristina MacSwiney G.

Sometido: 09/oct/2023.

Revisado: 01/nov/2023.

Aceptado: 07/nov/2023.

Publicado: 08/nov/2023.

Editor asociado: Dra. Tania Anaid Gutiérrez García.