

MURCIÉLAGOS E INSECTOS: COEVOLUCIÓN EN UNA CARRERA ARMAMENTISTA

Cintya A. Segura-Trujillo^{1*} y Sergio Ticul Álvarez-Castañeda²

¹Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara.
Colotlán, Jalisco, México. cintya.segura@academicos.udg.mx.

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
La Paz, Baja California Sur, México. sticul@cibnor.mx

*Autor de correspondencia

Un rasgo clave para el éxito de los murciélagos como cazadores es el desarrollo de la ecolocalización, en respuesta algunas de sus presas desarrollaron órganos timpánicos como mecanismos de defensa. Este proceso coevolutivo se conoce como "carrera armamentista".

Cuando cae la noche, los cielos se llenan de historias y sonidos que son imperceptibles para el oído humano. Nos referimos en particular a la batalla nocturna protagonizada entre murciélagos e insectos. Los murciélagos se convierten en excelentes cazadores en la oscuridad valiéndose de la ecolocalización: un sistema de navegación basado en la emisión de sonidos laríngeos ultrasónicos que, al toparse con objetos, emiten un eco mediante el cual los murciélagos son capaces de localizar a sus presas para depredarlas. No obstante, los insectos no son las presas indefensas o actores secundarios que crees. Existen polillas y grillos que han desarrollado órganos auditivos capaces de captar los ultrasonidos de los murciélagos y, gracias a ellos, pueden llegar a escapar con maniobras aéreas, que pueden aumentar hasta en un 50 % sus probabilidades de supervivencia. En otras palabras, los murciélagos y los insectos todas las noches enfrentan una dura batalla de supervivencia, en la que los murciélagos emplean sus mejores aptitudes para cazar y alimentarse, mientras que las polillas utilizan todos sus recursos disponibles para huir y evitar ser depredados por los murciélagos. En esta guerra de frecuencias sonoras, quienes escuchan, quizá logren esquivar el peligro y sobrevivir un día más.

La mayoría de los murciélagos actuales se alimenta de artrópodos, las evidencias fósiles y genéticas indican que sus ancestros también basaban su dieta en insectos. Con el tiempo, dos grandes linajes divergieron: los Yangochiroptera, que agrupan a 14 familias y perfeccionaron la ecolocalización junto con hábitos nocturnos; y los Yinpterochiroptera, que incluye 7 familias, de los cuales solo un pequeño grupo también adoptó la vida nocturna y el sonar ultrasónico. Entre estas se encuentran las familias Rhinolophidae, Rhinonycteridae y Rhinopomatidae.

La ecolocalización como sistema sensorial en los murciélagos se habría originado en un proceso de coevolución con las presas. Mientras los murciélagos comenzaron a emitir señales de alta frecuencia para cazar, algunas presas como las polillas desarrollaron órganos timpánicos capaces de detectar esos sonidos y anticiparse al ataque. Se estima que los lepidópteros (mariposas y polillas) se originaron

aproximadamente hace 150 millones de años, mucho antes que los primeros murciélagos, cuyo origen se calcula entre 60-90 millones de años. La interacción depredador-presa entre murciélagos y lepidópteros ha generado una serie de cambios evolutivos recíprocos. A este proceso coevolutivo entre murciélagos-polillas se le ha denominado "carrera armamentista", en la que los murciélagos han desarrollado habilidades para ser mejores cazadores, mientras que las polillas han generado contra adaptaciones, que consisten en mecanismos de defensa para evitar ser depredados. Desde entonces, cada innovación adaptativa de un bando ha generado la contrarrespuesta del otro, en una carrera sónica entre murciélago y presa que se mantiene continua.

Se considera que la principal "arma" que han desarrollado los murciélagos, producto de la interacción depredador-presa, es la ecolocalización, una adaptación que se estima apareció hace 50 millones de años. Esta adaptación les ha permitido a los murciélagos dominar el nicho nocturno como depredadores de insectos, al detectar presas de diferente tamaño, incluso cuando están en vuelo. Se considera que esta adaptación ha propiciado que el grupo de los artrópodos (insectívoros) sea el que más se haya diversificado, representando alrededor del 70 % de las 1,500 especies de murciélagos descritas.

Como respuesta al "arma letal" de la ecolocalización las polillas se han visto presionadas a desarrollar sus propias "armas y defensas" para sobrevivir. Una de ellas es el desarrollo de órganos timpánicos capaces de percibir los llamados ultrasónicos. Por ejemplo, para las polillas de la familia Noctuidae, se registra que tienen una audición de 15 a 45 kHz, lo que les permite percibir parte del intervalo sonoro que emiten algunas especies de murciélagos (en la mayoría de las especies artrópodos de América la ecolocalización se encuentra dentro de 12 a 100 kHz) y, así, huir de ellos. Sin embargo, los órganos auditivos de las polillas son básicos y poco complicados en estructura. A grandes rasgos, consisten en una membrana (tímpano), que se puede ubicar en la base de las alas, el metatórax, el abdomen, etc.), la cual vibra con el sonido y activa a las células receptoras. En América, la mayoría de las polillas detectan frecuencias entre 20 y 60 kHz, pero su sensibilidad disminuye drásticamente por encima de los 65 kHz. Esta limitación auditiva inspiró la llamada hipótesis de la frecuencia alotónica, que plantea que los murciélagos que se especializan en polillas con órganos timpánicos deberían emitir llamados fuera de su intervalo de escucha, es decir, por debajo de 20 kHz o por encima de 65 kHz, evitando así ser detectados. Por lo que, en teoría, un murciélago que emite señales a 90 o 100 kHz sería "invisible" para una polilla. Este mecanismo de defensa presumiblemente ha favorecido la diversificación de las polillas de la familia Noctuidae, que actualmente cuenta con 11,800 especies. No obstante, para hacer frente al desarrollo de su capacidad auditiva, los murciélagos como contrataque han perfeccionado el "arma" de la ecolocalización, emitiendo

llamados de alta frecuencia por encima del intervalo auditivo de las presas.

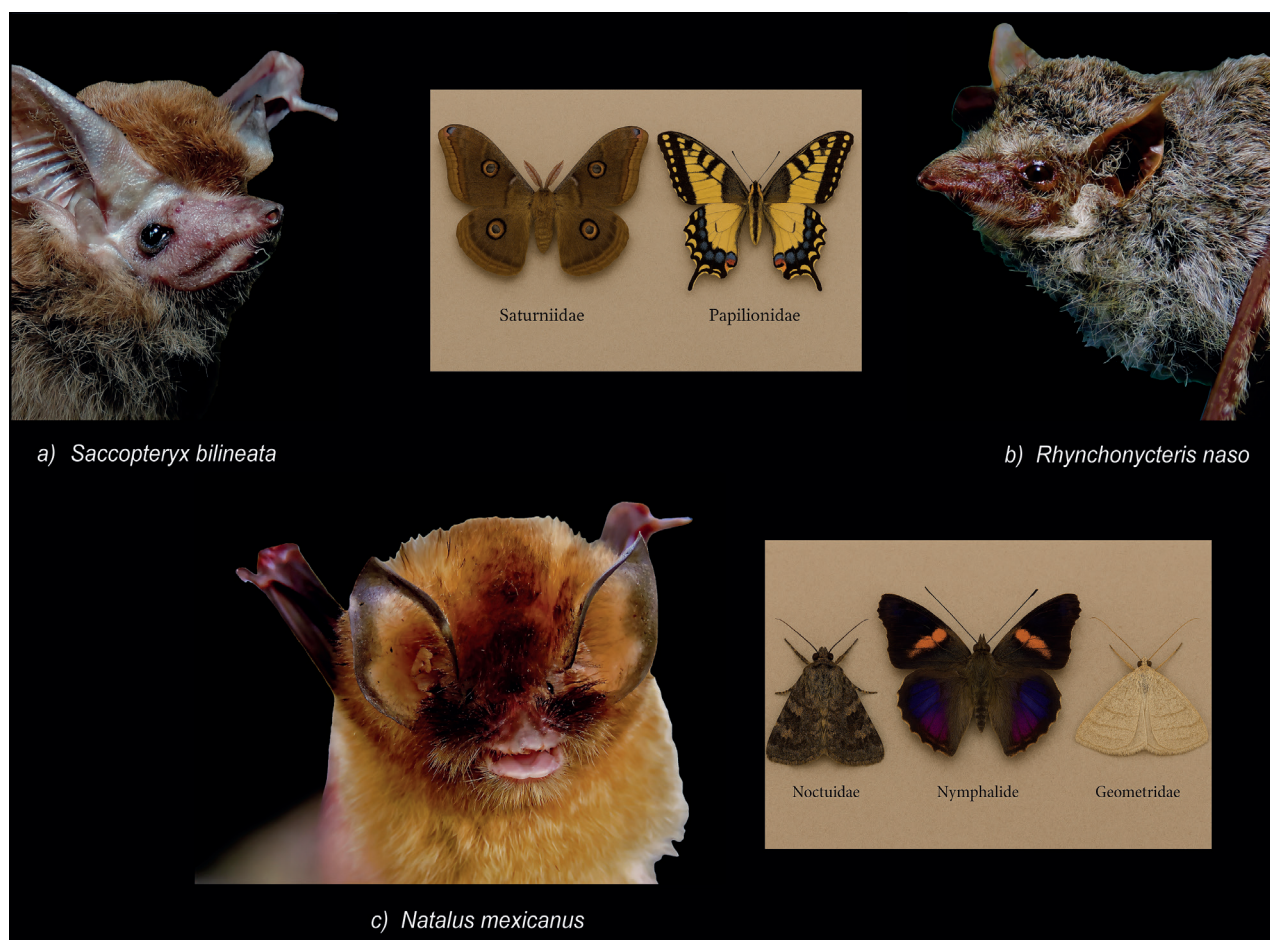
Los murciélagos insectívoros tienen dos estrategias de ecolocalización: 1) los ciclos de baja ocupación, en la que emiten pulsos breves (menos de 100 kHz) separados por pausas y 2) alta ocupación, en la que sostienen llamadas muy agudas (más de 100 kHz) y separan la señal del eco mediante diferencias de frecuencia. En los murciélagos de baja ocupación se observa un patrón parabólico entre frecuencia y consumo de polillas. Mientras que en los de alta ocupación, la relación es más directa: a mayor frecuencia, mayor consumo. Sin embargo, ninguna tendencia encaja del todo con la hipótesis alotónica, lo que sugiere que los murciélagos han desarrollado contra adaptaciones capaces de neutralizar las defensas auditivas de sus presas.

La naturaleza no siempre se comporta de forma predecible, y a menudo desafía nuestras teorías. Muchas especies de murciélagos siguen incluyendo en su dieta insectos capaces de oírlos, como las polillas y los grillos. Para investigar la interacción murciélago-insecto, un estudio reciente de metabarcoding -que permite identificar, de forma simultánea, diversos taxones mediante análisis de ADN- identificó la dieta de 17 especies de murciélagos mexicanos. Además, se analizó si los murciélagos prefieren comer presas con o sin oídos y si esto guarda relación con sus características de la ecolocalización. En la dieta de los murciélagos se registraron 20 familias de lepidópteros (polillas y mariposas), de las cuales solamente siete familias tienen órganos auditivos. Sin embargo, tres de estas familias con oído -Noctuidae, Nymphalidae y Geometridae- destacaron por su alta frecuencia en las dietas de los murciélagos. En cambio, las familias sin órganos auditivos aparecieron rara vez, contrario a todo lo esperado. Es decir,

se encontró que 13 de las especies de murciélagos analizadas se alimentan principalmente de polillas que poseen oído. En cambio, el consumo de lepidópteros sin oídos (mariposas), como los de las familias Saturniidae y Papilionidae, solo se registraron en la dieta de pocas especies de murciélagos. Un hallazgo interesante es que los lepidópteros sin oídos son principalmente de hábitos diurnos, lo que los hace susceptibles únicamente a depredación por murciélagos que inician su actividad de forrajeo durante el crepúsculo. Tal es el caso del murciélaguito narigón (*Rhynchonycteris naso*), y el murciélago de líneas blancas (*Saccopteryx bilineata*). En el estudio se concluye que, a pesar de la capacidad auditiva de las polillas, los murciélagos logran depredarlas exitosamente, y que estas siguen representando una parte principal de su dieta.

En el caso de los grillos y saltamontes, se detectaron cinco familias en la dieta de los murciélagos, tres de ellas con órganos auditivos. La más común fue Acrididae, presente en la dieta de 12 especies de murciélagos. En conjunto, el 65 % de las familias consumidas tenía oído.

Los resultados de este estudio indican que los murciélagos no evitan a las presas con defensas auditivas. Por el contrario, se alimentan de ellas en abundancia, lo cual contradice lo que se esperaría si los órganos timpánicos fueran siempre eficaces como mecanismos de defensa. Desde esta perspectiva, el éxito de los murciélagos como depredadores de polillas permite considerarlos como los mejor "armados" dentro de este sistema de interacción depredador-presa. A pesar de las adaptaciones defensivas o de sobrevivencia de los lepidópteros, como las aptitudes auditivas, los murciélagos siguen alimentándose efectivamente de estos insectos.



a) Murciélago de líneas blancas (*Saccopteryx bilineata*). b) El murciélaguito narigón (*Rhynchonycteris naso*) es capaz de consumir lepidópteros sin órganos timpánicos durante el crepúsculo (Saturniidae y Papilionidae). c) El murciélago orejas de embudo (*Natalus mexicanus*) se alimenta de polillas con órganos timpánicos (Noctuidae, Nymphalidae y Geometridae). Fotografías: Cintya A. Segura Trujillo. Incluye representación visual de mariposas y polillas basadas en especies mexicanas pertenecientes a las familias Noctuidae, Nymphalidae, Geometridae, Saturniidae y Papilionidae generadas por IA Copilot 2025.

Los resultados también mostraron una tendencia clara: cuanto más alta es la frecuencia de la llamada de los murciélagos, menor es la proporción de presas con oído en la dieta, pero se siguen alimentando de ellos. Sin embargo, incluso murciélagos con llamadas muy agudas, como *Natalus mexicanus* (78 a 122 kHz), consumen una gran cantidad de polillas con oído. El horario de forrajeo también influye: las especies de murciélagos que salen en el crepúsculo consumen más polillas sin oído, activas durante el día; mientras que las que inician su actividad en la oscuridad total se enfrentan a polillas con oído, protagonistas de la noche profunda.

Todo indica que estos insectos se encuentran bajo una constante presión selectiva para sobrevivir a la depredación por murciélagos. Las polillas y los grillos no solamente confían en sus oídos. Debido a que su capacidad auditiva no ha sido completamente efectiva para evitar ser cazados por los murciélagos, las polillas se han visto obligadas a desarrollar múltiples mecanismos de defensa. Al tener oídos poco complejos, con un intervalo auditivo limitado, algunas especies de polillas han desarrollado un repertorio sorprendente de otras estrategias de defensas, entre las que destacan: 1) mimetismo mülleriano (cuando especies comparten el aspecto con especies no comestibles y venenosas), 2) mimetismo batesiano (cuando especies inofensivas imitan a especies de sabor desagradable o tóxicas), 3) bloqueo del sonido (cuando especies son capaces de emitir sonidos que interfieren con las llamadas de los murciélagos), 4) aposematismo acústico (polillas que emiten sonidos distintivos que advierte a sus depredadores que son nocivas) y 5) camuflaje acústico (presencia de estructuras de exoesqueleto que absorben los llamados de los murciélagos y por lo tanto no son detectables). Cada una de estas estrategias es por sí sola una gran historia para contar.

Los murciélagos no se dejan engañar tan fácilmente, por lo que, a su vez, han desplegado estrategias paralelas, como son: 1) Llamadas sigilosas de baja intensidad, que no activan alarmas auditivas en los insectos. 2) Frecuencias extremadamente altas, fuera del alcance de las polillas. 3) Ajustes dinámicos en los patrones de llamada mientras se aproximan a la presa.

Estos estudios confirman que los murciélagos y los insectos con oído viven inmersos en una interacción coevolutiva de tipo "Reina Roja": ambos corren sin parar, adaptándose para no quedarse atrás. Los murciélagos ajustan sus sonares, las polillas afinan sus oídos, y el ciclo se repite. Esto permite entender que la hipótesis alotónica se cumple solo en parte. Más allá de las frecuencias, influyen los horarios de actividad y las adaptaciones de caza y defensa, la disponibilidad de presas y no sabemos todavía qué más podemos encontrar. Sin embargo, hay que advertir que a los murciélagos no les conviene ser cien por ciento eficientes en cazar a sus presas, ya que esto pondría en riesgo la subsistencia de su alimento. Es decir, una letalidad totalmente eficiente por parte de los murciélagos les sería contraproducente y agotaría uno de los recursos alimenticios preferidos. Por lo que les conviene alimentarse también otros tipos de artrópodos para que sus presas preferidas continúen siendo abundantes y disponible para su consumo.

En la noche, mientras los humanos solo percibimos el silencio, murciélagos e insectos protagonizan una persecución ultrasónica-auditiva, donde el detectar o no hacerlo a tiempo y en forma implica sobrevivir o pasar hambre. Lo que ha resultado una "carrera armamentista" milenaria, basada en un constante perfeccionamiento en el que las estrategias de caza-defensa para su adaptación y supervivencia, que han resultado en diferentes contra-adaptaciones entre ellos.

En esta milenaria historia de ataque y defensa entre murciélagos e insectos, a veces ganan unos y a veces otros, lo que obliga a perfeccionar continuamente sus estrategias de caza y evasión. Sin embargo, lo único seguro es que, quien no evoluciona perderá.

AGRADECIMIENTOS

CAS-T agradece al Departamento de Bienestar y Desarrollo Sustentable, al Departamento de Fundamentos del Conocimiento y al programa de PROSNI de la Universidad de Guadalajara, por el apoyo brindado.

LITERATURA CONSULTADA

- Burgin, C. J., *et al.* 2025. How many mammal species are there now? Updates and trends in taxonomic, nomenclatural, and geographic knowledge. *Journal of Mammalogy* <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyaf047>
- Corcoran, A. J., y W. E. Conner. 2016. How moths escape bats: predicting outcomes of predator-prey interactions. *Journal of Experimental Biology* 219:2704-2715.
- Goldstein, P. Z. 2017. Diversity and significance of Lepidoptera: a phylogenetic perspective. *Insect Biodiversity: Science and Society* 1:463-495.
- ter Hofstede, H. M. T., y J. M. Ratcliffe. 2016. Evolutionary escalation: the bat-moth arms race. *Journal of Experimental Biology* 219:1589-1602.
- Segura-Trujillo, C. A., W. Z. Lidicker Jr, y S. T. Álvarez-Castañeda. 2016. New perspectives on trophic guilds of arthropodivorous bats in North and Central America. *Journal of Mammalogy* 97:644-654.
- Segura-Trujillo, C. A., *et al.* 2024. Interaction of sound-audition traits between eared insects and arthropodophagous bats: using a DNA approach to assess diet. *Journal of Mammalogy* 105:838-853.

Sometido: 26/ago/2025.

Revisado: 10/sep/2025.

Aceptado: 20/oct/2025.

Publicado: 22/oct/2025.

Editor asociado: Dra. Susette Castañeda-Rico.