

**Juan A. Malo de Molina y Martínez**

ECONIMA, Consultoría Ambiental

juan@malodemolina.com

### En qué consiste la ecolocación de los murciélagos

El principal mecanismo de orientación de los microquirópteros a media y corta distancia es la ecolocación. La vista y el olfato, que generalmente están bastante desarrollados, también desempeñan un papel en la orientación e identificación de objetos, pero en todas las especies europeas y en la mayor parte de las americanas estos sentidos son de menor importancia.

La ecolocación consiste en la emisión de sonidos de alta frecuencia y en la posterior interpretación de sus ecos para crear un “mapa acústico tridimensional” de su entorno. Para la mayoría de los murciélagos la precisión de este mapa acústico es tan grande que son capaces de localizar e identificar presas y obstáculos de muy pequeño tamaño. La interpretación que hacen de los ecos es tan rápida que les permite maniobrar a gran velocidad. Su sistema de ecolocación tiene limitaciones que no serán evaluadas en este documento.

Los sonidos son producidos en la laringe y emitidos al exterior por la boca en la mayor parte de las especies, si bien hay algunas que emiten por las narinas. Generalmente estas emisiones consisten en rápidas series de pulsos de características variables según la especie de que se trate y la actividad que desarrolla. Muchas especies tienen pliegues, proyecciones cutáneas y pelos para modular los sonidos. Las orejas suelen tener complicados diseños que les permiten recibir y conducir las ondas acústicas con precisión hacia el oído interno.

Salvo pocas excepciones, la mayoría de los sonidos de ecolocación producidos por los murciélagos son inaudibles para el ser humano. Pocos oídos humanos son capaces de oír sonidos que sobrepasen los 20 kHz, y la mayoría quedan lejos de ese valor, mientras que hay murciélagos que emiten a frecuencias mucho más elevadas que incluso pueden superar los 200 kHz. La especie que más se sale de esta norma entre las ibéricas es el murciélago rabudo (*Tadarida teniotis*), que emite la mayor parte de su repertorio en sonido que resulta audible para quienes gozan de un agudo sentido del oído, y en mucha menor medida les sucede lo mismo a algunos nóctulos (*Nyctalus noctula* y *N. lasiopterus*). Entre las especies neotropicales hay mayor variedad como corresponde a una biodiversidad mucho mayor.

Además de las señales producidas para orientarse e identificar presas y otros objetos, para las que desde el punto de vista del autor podría ser más correcto aplicar el término “ecolocalización” que el de ecolocación, los murciélagos emiten señales sociales equiparables al canto de las aves ya que las utilizan para comunicarse entre sí manifestando celo, territorialidad y agresión, contacto, etc. A diferencia de las anteriores, suelen emitir las en frecuencias relativamente bajas, a menudo también parcialmente audibles para el ser

humano, y suelen tener complejas estructuras en comparación con las de ecolocación que son más sencillas y repetitivas.

Aún hay un tercer grupo de emisiones acústicas, casi siempre totalmente audibles y no muy diferentes de los que emiten muchos otros mamíferos, que son los gritos de agresión, comunicación, defensa y pánico que suelen emitir sin hallarse en vuelo, sino usualmente cuando se encuentran en sus refugios o son atrapados. Pese a ser las voces más fácilmente percibibles sin necesidad de ningún tipo de equipo son también las que de momento han despertado menor interés científico, tal vez porque sean menos características o porque su interpretación es más obvia.

La mayoría de las especies emiten sus señales de ecolocación con intensidad sorprendentemente poderosa para el tamaño del animal, por lo que pueden recibirse a distancias tan notables como hasta 50 m en buenas condiciones con un equipo de sensibilidad media. La excepción más reseñable son las que en América denominan “susurrantes” (whispering bats) que incluyen por ejemplo a la gran familia de los filostómidos (Phyllostomidae). Entre las europeas se podrían mencionar a los murciélagos de herradura (Rhinolophidae) y a los orejudos (gen. *Plecotus*) porque emiten con intensidad relativamente baja, solo captable a muy pocos metros con un equipo normal. Por razones acústicas las frecuencias más elevadas se disipan a distancias más cortas que las más graves. En el caso de *Plecotus* las señales no tienen una frecuencia tan elevada, pero sus enormes pabellones auriculares les permiten detectar sus propias débiles señales reduciendo el radio de riesgo de ser detectados por depredadores y por presas.

### **¿Qué son los detectores de ultrasonidos?**

Al igual que sucede con las aves y con otros taxones, las especies de quirópteros pueden ser identificadas por su voz. Además, el análisis de sus emisiones acústicas puede aplicarse también al estudio de biodiversidad, densidad, selección de hábitat y uso del espacio, relaciones intra e interespecíficas, etc. Obviamente, el principal problema que se plantea para conseguir estos resultados es que se trata de sonidos total o mayoritariamente inaudibles. Para salvar esta dificultad desde hace décadas se vienen perfeccionando dispositivos que permiten registrarlos y analizarlos, e incluso escucharlos directamente traduciéndolos a frecuencias audibles. Estos dispositivos se conocen como “detectores de murciélagos” o, lo que es más preciso, como “detectores de ultrasonidos”.

La mayoría de los modelos comerciales son de pequeño tamaño, fácilmente manejables con una mano. Los principales elementos externos son uno o dos micrófonos de alta sensibilidad, un dial que permite seleccionar la frecuencia de prospección y altavoces o salidas de auriculares. Suelen tener también una o varias salidas para grabadoras externas, si bien en los últimos años empiezan a imponerse los modelos capaces de grabar por sí mismos sin necesidad de recurrir a dispositivos externos.

Los hay que detectan y graban de forma continua, los que se activan automáticamente ante la presencia de los ultrasonidos y los que graban breves secuencias en el momento que los

activamos manualmente. La mayoría de los aparatos modernos de calidad combinan dos o incluso las tres alternativas. La grabación manual es más selectiva y se complementa con la visualización del ejemplar. Es idónea para prospecciones. Para la grabación automática, cuyas aplicaciones son el conocimiento profundo de una posición concreta, la espera de especies esquivas o estudios de comportamiento y uso del hábitat, suelen introducirse filtros que eviten grabaciones no deseadas de sonidos de baja frecuencia. Pueden filtrarse también otros sonidos como los producidos por máquinas, corrientes de agua, etc. También suelen permitir ajustar los umbrales de sensibilidad y programar tiempos de grabación y de pausa.

Los detectores digitales irrumpieron en el mercado hace relativamente muy pocos años y se han impuesto por sus prestaciones muchísimo mayores, hasta al punto de que ahora son los únicos aconsejables. Suelen tener tarjetas de memoria extraíbles y guardan las grabaciones en archivos de audio. Conviene los que lo hacen en formatos poco o nada comprimidos, como los .wav. Por la misma razón los formatos .mp3 son mucho menos aconsejables.

Muchos detectores son muy sensibles a la humedad, aunque también los hay muy estancos, así que debe tenerse en cuenta este aspecto a la hora de seleccionar el equipo que se va a adquirir. Cuando se opta por dejar el detector en el campo para que grabe automáticamente será necesario asegurar que queda protegido de la humedad, que no pierda calidad de recepción y que quede a salvo de vandalismo.

Otro factor a considerar son las especies que deseamos estudiar. Cualquier detector registra fácilmente la mayor parte de especies carnívoras (englobando como tales a los consumidores de vertebrados e invertebrados) pero no sucede lo mismo con las neotropicales que en el apartado anterior se definieron como susurrantes, las cuales requerirán micrófonos de gran sensibilidad o complementar el equipo con dispositivos externos.

### **¿Cómo funcionan?**

Se comercializan principalmente tres modalidades de detectores. Los heterodinos, los de división de frecuencia y los de expansión de tiempo. Muchos de los que hay en el mercado combinan dos de estas funciones, o incluso las tres.

- Detectores heterodinos

Posiblemente son los más interesantes para la detección y el diagnóstico de especies sobre el terreno y en tiempo real.

Para comprender cómo funciona lo más práctico es hacerlo con un ejemplo. El usuario elige una frecuencia a la que espera recibir señales, que en el ejemplo será de 45 kHz y la sintoniza en el dial. Al poco tiempo, detecta el sonido procedente de un murciélago que está emitiendo en 48 kHz. Automáticamente la máquina fragmenta la onda en dos partes: una de ellas tiene la frecuencia que se sintonizó (45 kHz) y la otra será la diferencia entre la frecuencia en que emite el murciélago menos la sintonizada ( $48-45=3$  kHz). El sonido que escuchará el usuario y podrá grabar tendrá por tanto la frecuencia de 3 kHz, perfectamente audible por cualquier oído normal. El otro fragmento de 45 kHz será filtrado y se perderá.

- Detectores de división de frecuencia

Este método, al igual que el heterodino y a diferencia del de expansión de frecuencia, tiene su principal aplicación en la detección e identificación sobre el terreno, en tiempo real. Consiste en dividir matemáticamente la frecuencia por un factor que se elija, típicamente por 10. Así, si el murciélago está emitiendo en 45 kHz se escuchará en 4,5 que resulta perfectamente audible para nuestro oído.

Suelen tener un precio más asequible que el resto y son más eficaces en la detección de ejemplares en tiempo real que los heterodinos, porque prospectan simultáneamente en todas las bandas y no solo en las próximas a la que se ha sintonizado. Son también equivalentes para percibir el ritmo de emisión, pero no sucede lo mismo con el timbre, que resulta menos diferenciable que en los heterodinos, lo que complica la identificación de la especie.

En conclusión, tras bastante práctica y entrenamiento con el equipo en heterodino o en división de frecuencia se podrán valorar ritmos, estructura de la señal, e incluso aproximar la frecuencia de emisión. Con esta información se podrá reconocer sobre el terreno a especies muy características o a las que se conozca muy bien, pero no será posible alcanzar la seguridad y precisión en la identificación que ofrece el sistema de expansión de frecuencia que se expone a continuación.

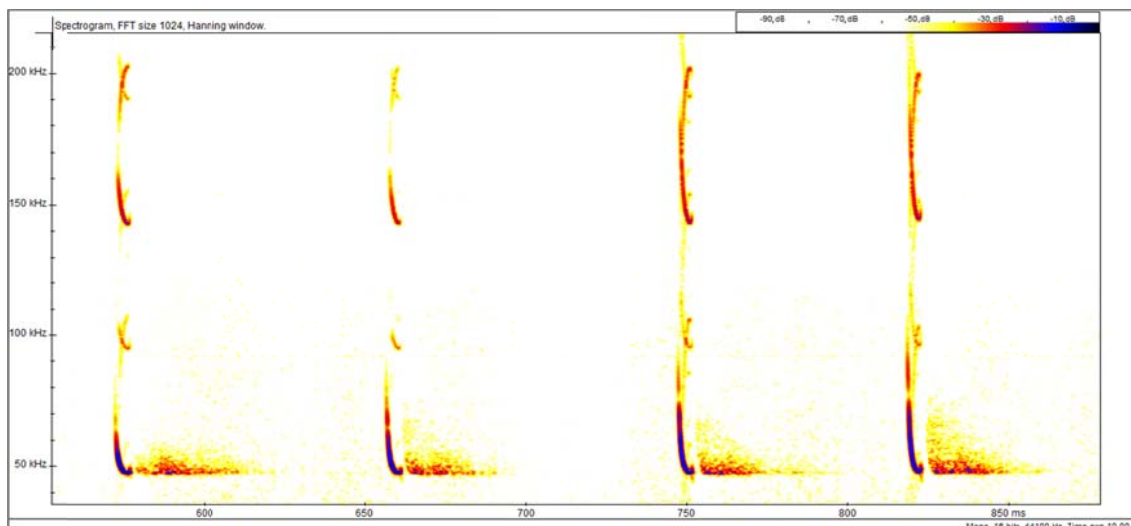
- Detectores de tiempo expandido

Como su nombre indica, su técnica consiste en ralentizar el tiempo real multiplicándolo por un factor de expansión constante. Si el factor de expansión es 10, por ejemplo, se convierte un segundo real en diez segundos. Como es obvio, al analizar el sonido en estas condiciones se aprecian los matices con mucho más detalle que si se hiciese en su velocidad normal. Además, el sonido ralentizado también se puede escuchar directamente, porque al emitirse más despacio baja su frecuencia.

Es el método de detección más utilizado en el trabajo profesional porque es muy preciso e intuitivo. Como consecuencia es probablemente en el que hay más disponibilidad de muestras para comparar con las que se obtengan en las prospecciones.

Hay máquinas que sólo disponen de un factor de multiplicación o expansión, mientras que otras permiten elegir. Obviamente, la selección del factor de expansión depende de los objetivos del estudio en marcha, pero con carácter general podría recomendarse un factor de expansión de x10, uno de los más frecuentemente usados por las razones antes mencionadas y porque simplifica cálculos posteriores.

Se trata de un sistema concebido mucho más para el estudio de precisión en gabinete que para la identificación sobre el terreno, donde está en desventaja respecto los anteriores.



*Típico espectrograma de Pipistrellus pipistrellus (Niao, Cabranes, Asturias, España. 12/08/2011). Se trata probablemente del registro más fácil de obtener en gran parte de Europa y por ello se ha utilizado como ejemplo. Se ven cuatro pulsos en FM/CF, cada uno de ellos compuesto por varios armónicos y seguido de ecos en la frecuencia de máxima amplitud, en este caso en 46,6 kHz. Los pulsos más elaborados, con mayor desarrollo armónico, como sucede en este caso, suelen corresponder a la búsqueda de alimento en vuelo, a menudo sobre el agua o, como en esta grabación sobre una pista asfaltada que transcurre bajo el dosel forestal. Los tiempos entre pulsos o interpulsos en esta especie suelen ser bastante regulares, habitualmente dentro del intervalo 80-110 milisegundos, si bien los acelera en vuelo de maniobra y en aproximación a la presa.*

*Se ha empleado el programa BatSound de Pettersson Electronics y el detector Pettersson D240x del mismo fabricante, en la función de expansión de tiempo x10.*

### Ventajas en inconvenientes de cada sistema

	Heterodino	Expansión de Tiempo	División de Frecuencia
Recepción en tiempo real	Sí	No	Sí
Recepción de frecuencias	Banda de frecuencias en torno a la sintonizada en el dial	Todas las frecuencias	Todas las frecuencias
Calidad del sonograma resultante	Muy deficiente	Óptima	Insuficiente
Rango de precios del detector	Más bajo	Más elevado	Intermedio

## Interpretación de los registros

La interpretación de las señales grabadas es en muchos casos compleja y requiere estudio, experiencia y dedicación. Detallar sus procedimientos excede los objetivos de este documento, por lo que sólo se presentan algunos aspectos básicos. Antes de ello, como salvedad, se hace notar que cada vez hay más software que analiza automáticamente los registros e incluso compara también automáticamente la grabación en estudio con las muestras-patrón que se conservan en la base de datos. En Europa hay buenas bases de datos y abundantes trabajos comparativos, pero Latinoamérica aún carece de la investigación más básica, lo que dificulta el estudio a la par que le confiere grandes expectativas.

Aún con todo lo anterior, la identificación puede resultar muy compleja en algunos casos. De hecho, de ningún modo es factible determinar con total seguridad un buen número de señales, así que para la identificación de especies será necesario complementar las grabaciones con otros métodos. Entre las especies europeas, por ejemplo, es sumamente complicado distinguir entre los dos *Plecotus* de más amplia distribución (*P. auritus*/*P. austriacus*), entre diversos *Myotis*, y eventualmente también entre géneros diferentes. Para las especies neotropicales está casi todo por hacer. La gran mayoría no se ha investigado aún ni siquiera en sus aspectos más rudimentarios.

## Procedimiento de análisis

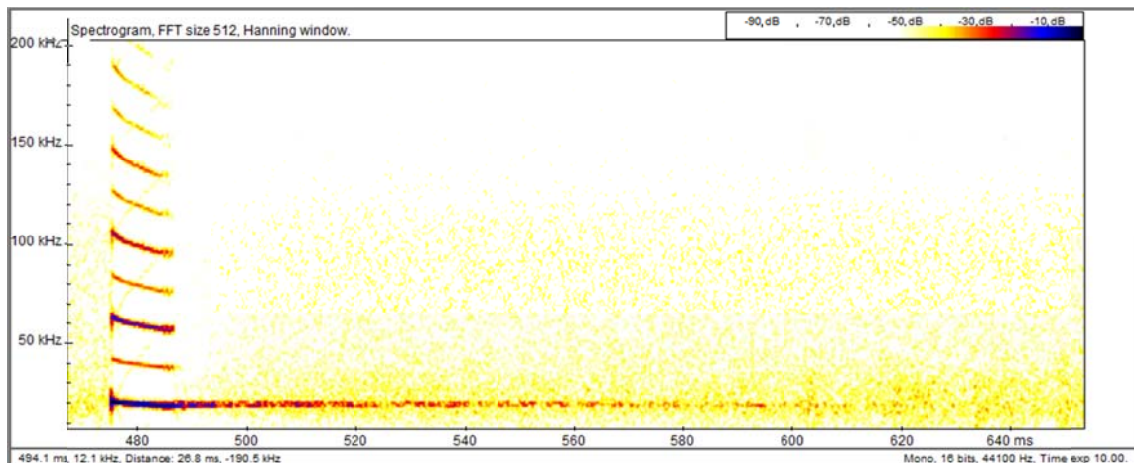
Con software adecuado (BatSound, Batcorder, Sonobat, Analoop, Omnibat...) se crea un sonograma a partir del archivo acústico y se analiza siguiendo las pautas que se exponen a continuación. El concepto de sonograma engloba diversos tipos de representación gráfica del sonido. El más habitual en el estudio de quirópteros es el espectrograma, aunque también se utiliza a menudo en oscilograma. El espectrograma consiste en un gráfico sobre dos ejes, de los que el vertical representa la frecuencia en kilohercios (kHz) y el horizontal el tiempo, generalmente expresado en milisegundos. En cuanto al oscilograma, representa la presión sonora de la señal acústica que se presenta en el eje vertical en porcentaje, y en el horizontal el tiempo en milisegundos.

No será necesaria mucha experiencia para poder distinguir cuáles de los sonidos representados en el sonograma han sido emitidos por murciélagos y cuáles son simples ruidos, emisiones de insectos, interferencias, etc. Las grabaciones de murciélagos suelen ser nítidas, discontinuas, con una estructura definida y relativamente repetitivas. Se percibe además que la fuente emisora es móvil por su aparición y desaparición en un lapso de tiempo. Al resto les suelen faltar una o varias de estas características.

Es muy importante tener en cuenta que se trata de mamíferos con elaboradas pautas de comportamiento y generalmente con una amplia capacidad de vocalización. Por ello se obtendrán señales típicas para la especie, pero habrá otras más inusuales que dependen de su actividad y estado de ánimo, sexo, edad y otras muchas variables. También de la calidad de la grabación.

Por valorar un aspecto de la complejidad de las relaciones entre quirópteros, es fácil de comprobar que cuando se reúnen varios ejemplares tienden a modificar levemente las frecuencias para evitar interferencias entre ellos. O que dos ejemplares producen sonidos pares y casi idénticos, con una respuesta inmediata de uno a otro.

Los pulsos de la vocalización de los murciélagos pueden asimilarse a dos estructuras fundamentales: las de frecuencia constante (CF por sus siglas en inglés) y las de frecuencia modulada (FM, cuyas siglas responden a Frequency Modulation). Las primeras se ven en el espectrograma como líneas horizontales (el tiempo transcurre, pero la frecuencia es inalterable) y las segundas, verticales, ya que abarcan muchas frecuencias en un tiempo mínimo. Para muchas personas resulta poco intuitivo que un ejemplar concreto pueda emitir en varias frecuencias simultáneamente, pero basta que se piense en un acorde de un piano en el que se pulsan varias teclas distantes al tiempo, para comprenderlo. En realidad la inmensa mayoría de los sonidos de cualquier fuente se componen de frecuencias diferentes.



*Espectrograma de un pulso de Tadarida brasiliensis emergiendo de su refugio en una gruta (Ventanilla, Lima, Perú. 04/05/2011). También en este caso se ha seleccionado un registro muy común en Latinoamérica con el fin de aumentar su representatividad. En esta muestra comienza abruptamente con un click en FM para extenderse a continuación en CF en 19.4 kHz durante unos 44,7 ms, aunque se solapa en el tiempo con sus propios ecos. Se aprecian muchos armónicos.*

*Se ha empleado el programa BatSound de Pettersson Electronics y el detector Pettersson D240x del mismo fabricante, en la función de expansión de tiempo x10.*

Muchos de los pulsos son intermedios, combinando en mayor o menor medida estructuras CF y FM. Entre estos tipos intermedios son muy usuales los que visualizan en el espectrograma con un aspecto que recuerda al signo que se suele utilizar como “visto bueno”, esto es, una “v” de trazo bastante vertical con el primer brazo mucho más largo que el segundo, pudiendo llegar a ser éste horizontal. Entre las especies ibéricas son pulsos habituales en los géneros *Pipistrellus*, *Eptesicus* y *Miniopterus*.

El sonido principal de cada pulso o señal se repite cada vez más atenuado en frecuencias superiores e inferiores. Los componentes se denominan armónicos. Desde el punto de vista acústico son múltiplos de la frecuencia principal y parece ser que generalmente son modulados voluntariamente por los murciélagos. Cuando vuelan muy cerca de una lámina de

agua, por ejemplo, tienden a emitir más armónicos y de mayor complejidad. Además de los armónicos, muchas veces se visualizan en el espectrograma ecos o reverberaciones. Suelen verse en el sonograma como una masa poco nítida que sigue al pulso.

El análisis se realiza inicialmente por comparación visual directa entre la muestra obtenida y las muestras-patrón conservadas en la base de datos, cuya determinación es segura. En muchos casos esto es suficiente. De hecho un analista experimentado podrá determinar la especie emisora de un cierto número de espectrogramas con solo un golpe de vista. Pero en muchos casos tendrá que complementar su experiencia y la comparación con las muestras patrón con precisas mediciones de la frecuencia máxima, frecuencia mínima, frecuencia de máxima intensidad, duración total del pulso y distancia entre pulsos, haciendo la comparación estadística. Pueden estudiarse también los valores de los armónicos secundarios. Es muy importante considerar que a veces los pulsos de sonido se han grabado con mucha nitidez, de modo que se pueden apreciar todos sus detalles en el sonograma, pero a menudo se obtendrán grabaciones más deficientes en las que las señales hayan perdido parte de sus componentes, generalmente los de frecuencias más altas y/o menos presión sonora, por lo que habrá que extremar el cuidado para valorarlos.

La mayoría del software disponible permite hacer las mediciones con precisión y rapidez, pero puede convertirse en un proceso muy pesado cuando es necesario estudiar largas series de señales acústicas. De nuevo para esto va habiendo significativos avances ya que cada vez más hay más software que realiza esta tarea automáticamente ahorrando tiempo y, en esto sí, ganando precisión.

En este documento no se describen las principales pautas de especies concretas.

### **Consideraciones finales**

El detector de ultrasonidos es probablemente la herramienta más útil disponible para estudiar estas especies tan necesitadas de ayuda para la conservación y que aún presentan infinidad de lagunas de conocimiento. Su pleno aprovechamiento requiere mucho estudio y mucha práctica, pero puede calificarse como apasionante. Resulta bastante motivador el hecho de que se empiezan a obtener resultados desde el inicio de su manejo; aunque en esa iniciación aún no se tenga la preparación necesaria para determinar la especie emisora, el observador comienza inmediatamente a contactar con infinidad de animales que le rodean muy de cerca y hasta ese momento le solían pasar inadvertidos.

Es recomendable trabajar con un equipo de calidad que puede costar, incluyendo software, unos 2.000 euros. Los hay mucho más caros, pero por el precio indicado se encuentran equipos con buenas prestaciones. Si se opta por equipos muy inferiores en poco tiempo se encontrarán grandes y desmotivadoras carencias.

En países como España las instituciones comienzan a preocuparse seriamente por los murciélagos conscientes de que se trata del orden de vertebrados que reúne mayor número de especies en situación de amenaza. En vista de ello, para la ejecución de la obra civil de muchos proyectos se exigen trabajos relativamente minuciosos sobre ellos. El grave problema

es que quienes los hacen están a menudo poco preparados y/o no hacen su trabajo con el debido rigor. Se trata de una actitud irresponsable que debería ser erradicada, con la correspondiente exigencia de responsabilidades a quienes ejecutan esos estudios deficientes. Para el objeto de estos trabajos no es vital alcanzar la determinación específica de los ejemplares porque todas las especies son dignas de protección, pero sí que es grave que se produzcan daños a colonias y a ejemplares por no haber sabido preverlos.

Por último, recordar que los murciélagos son el paradigma de la fragilidad. En general son muy buenos indicadores de la conservación del medio, lo que implica que las alteraciones les provocan daños, a menudo irreversibles. Quienes los estudian también deben recordar la gravedad de cualquier molestia a las colonias, un hecho que generalmente les induce a su abandono, a la pérdida de sus crías, a la interrupción de su hibernación y a otros impactos que a menudo no se aprecian inmediatamente en el momento en que se causa la molestia pero deja secuelas tiempo más tarde. Por ejemplo, si se despiertan innecesariamente ejemplares hibernantes se les fuerza a consumir reservas energéticas que les resultan imprescindibles para concluir la hibernación con éxito. No morirán ante el observador, que pensará que no les ha hecho daño, pero esos ejemplares no alcanzarán la primavera.

La situación de los murciélagos en Latinoamérica es aún mucho peor. Se parte de una biodiversidad enormemente más compleja que la europea a la que habrá que añadir la que aún queda por conocer, pero también su deterioro es mucho más rápido y hoy por hoy los murciélagos están muy atrás en la lista de prioridades de las instituciones. Tanto más cuanto que en aquella parte del mundo son frecuentes especies poco populares, aunque igualmente importantes para los ecosistemas, como los vampiros y los murciélagos frugívoros. Cuando se empiece a tomar conciencia y comience a haber recursos para su estudio y protección ya se habrán perdido totalmente algunas especies y otras habrán desaparecido de grandes áreas a las que difícilmente regresarán, como de hecho está sucediendo ya. Cuanto antes se comprenda la magnitud del problema y antes se adopten medidas, mucho mejor. De momento hay que comenzar por profundizar en el conocimiento e intentar que niños y jóvenes vayan tomando conciencia. Los detectores de murciélagos son una herramienta muy atractiva para estudiarlos sin causar ningún impacto y para divulgar su conocimiento.

*Villaviciosa, Asturias, agosto de 2011*

*Fuentes: Se trata de una exposición de conceptos muy básica, de modo que todos los contenidos son de elaboración propia basados en la experiencia del autor. Existe infinidad de bibliografía disponible para ampliar sobre cualquiera de los contenidos expresados. Gran parte de ella puede encontrarse en la red.*

**Citar como:**

**MALO DE MOLINA MARTINEZ, Juan A. "Ecolocación y detectores de quirópteros". *Barbastella.org* [En línea]. 12/08/2011 [consultado el xx/xx/201x]. Disponible en <<http://barbastella.org...>>.**