

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/260417253>

RADIO TELEMETRÍA DE VIDA SILVESTRE

Chapter · June 2011

CITATION

1

READS

11,633

2 authors:



[Mircea G Hidalgo Mihart](#)

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

104 PUBLICATIONS 1,104 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Leon David Olivera-Gomez](#)

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

73 PUBLICATIONS 647 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Manual de Técnicas para el estudio de la Fauna

Sonia Gallina Tessaro

Y

Carlos López González

Editores

2011



INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C.
INECOL



MANUAL DE TÉCNICAS PARA EL ESTUDIO DE LA FAUNA

Editores

Dra. Sonia Gallina Tessaro, Instituto de Ecología A.C.
**Dr. Carlos A. López González, Universidad Autónoma de
Querétaro**

2011

Universidad Autónoma de Querétaro
Instituto de Ecología, A. C.

D. R. © Universidad Autónoma de Querétaro
Centro Universitario, Cerro de las Campanas s/n
Código Postal 76010, Querétaro, Qro., México
ISBN 978-607-7740-98-8

Todos los derechos reservados

Diseño de la portada: Rolando González Trápaga

Fotografías de la portada: Halcón-Fernando González García, Coyote-Alberto González Romero & Tortuga del desierto-Arturo Ruiz Villanueva.

Apoyo en la edición: Rolando González Trápaga, Norma Hernández Camacho & Christian Alejandro Delfín Alfonso

Las opiniones expresadas en el presente volumen son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente las de la Universidad Autónoma de Querétaro ni del Instituto de Ecología, A. C.

Referencia sugerida: Gallina, S. & C. López-González (editor). 2011. Manual de técnicas para el estudio de la fauna. Volúmen I. Universidad Autónoma de Querétaro-Instituto de Ecología, A. C. Querétaro, México. 377 pp. (On line: <http://www.uaq.mx>)

Colaboradores de este Volumen

Gustavo Aguirre–León. Red de Interacciones Multitróficas. INECOL.

gustavo.aguirre@inecol.edu.mx

Christian Alejandro Delfín–Alfonso. Red Medio Ambiente y Sustentabilidad. INECOL,
Laboratorio de Zoología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de
Querétaro. christian.alejandros@inecol.edu.mx; cada7305@gmail.com

Sonia Gallina Tessaro. Red de Biología y Conservación de Vertebrados. INECOL.

sonia.gallina@inecol.edu.mx

Alberto González Romero. Red de Biología y Conservación de Vertebrados. INECOL.

alberto.gonzalez@inecol.edu.mx

Fernando González–García. Red de Biología y Conservación de Vertebrados. INECOL.

fernando.gonzalez@inecol.edu.mx

Carmina Gutiérrez González. Naturalia Comité para la Conservación de Especies Silvestres

A.C. Carmina_liz@hotmail.com

Mircea Gabriel Hidalgo Mihart. División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad

Juárez Autónoma de Tabasco. mhidalgo@yahoo.com

Nalleli E. Lara Díaz. Laboratorio de Zoología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad

Autónoma de Querétaro & Naturalia-Comité para la Conservación de Especies
Silvestres A.C.

Carlos Alberto López González. Laboratorio de Zoología, Facultad de Ciencias Naturales,

Universidad Autónoma de Querétaro. Cats4mex@aol.com

Salvador Mandujano. Red de Biología y Conservación de Vertebrados. INECOL.

salvador.mandujano@inecol.edu.mx

León David Olivera Gómez. División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez

Autónoma de Tabasco.

Juan Carlos Serio Silva. Red de Biología y Conservación de Vertebrados. INECOL.

juan.serio@inecol.edu.mx

Carolina Valdespino Quevedo. Red de Biología y Conservación de Vertebrados. INECOL.

carolina.valdespino@inecol.edu.mx

Apoyo técnico

Rolando Guillermo González Trápaga. Red de Biología y Conservación de Vertebrados.

INECOL.

Norma Hernández Camacho. Laboratorio de Zoología, Facultad de Ciencias Naturales,

Universidad Autónoma de Querétaro

AGRADECIMIENTOS

Este manual es el resultado de diversos cursos y talleres sobre el Manejo de Fauna Silvestre dirigidos a estudiantes de Posgrado del Instituto de Ecología, A. C. (NECOL), así como al personal de instancias gubernamentales como Secretaría de Desarrollo Regional (SEDERE) del Estado de Veracruz y el Instituto del Medio Ambiente (IMAE) del Estado de Aguascalientes a quienes agradecemos su interés y el apoyo recibido.

Por otro lado, queremos agradecer a la Universidad Autónoma de Querétaro que a través de la Facultad de Ciencias Naturales y al INECOL, se ha podido realizar esta edición y por todas las facilidades brindadas para la publicación del presente manual.

Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma de Querétaro

CONTENIDO

CONCEPTOS GENERALES

- Capítulo 1.** Fauna silvestre de México: uso, manejo y legislación. **Alberto González Romero** 1
- Capítulo 2.** Conceptos generales de ecología poblacional en el manejo de fauna silvestre. **Salvador Mandujano Rodríguez** 37

TECNICAS DE ESTUDIO ESPECÍFICAS POR GRUPOS

- Capítulo 3.** Métodos de estimación, captura y contención de anfibios y reptiles. **Gustavo Aguirre León** 61
- Capítulo 4.** Métodos para contar aves terrestres. **Fernando González–García** 86
- Capítulo 5.** Métodos de estimación, captura y contención de mamíferos. **Alberto González Romero** 124
- Capítulo 6.** Carnívoros: inventarios y monitoreo. **Carlos A. López González, Carmina E. Gutiérrez González & Nalleli E. Lara Díaz** 133

OTRAS TECNICAS

- Capítulo 7.** Cinco métodos sencillos para estimar el tamaño de las poblaciones de fauna silvestre. **Alberto González Romero** 161
- Capítulo 8.** Radio telemetría de vida silvestre. **Mircea Gabriel Hidalgo Mihart & León David Olivera Gómez** 178
- Capítulo 9.** La translocación y reintroducción en el manejo y conservación de las especies. **Juan Carlos Serio Silva** 221
- Capítulo 10.** Técnicas para conocer la dieta. **Sonia Gallina Tessaro** 235
- Capítulo 11.** Cuantificación de hormonas para determinación de estrés fisiológico y estado reproductivo en vertebrados silvestres. **Carolina Valdespino Quevedo** 259
- Capítulo 12.** Características y evaluación del hábitat. **Sonia Gallina Tessaro** 281
- Capítulo 13.** El hábitat: definición, dimensiones y escalas de evaluación para la fauna silvestre. **Christian Alejandro Delfín Alfonso, Sonia A. Gallina Tessaro & Carlos A. López González** 317
- Capítulo 14.** Elaboración de un proyecto de manejo de fauna silvestre: un acercamiento a su diseño y evaluación. **Christian Alejandro Delfín–Alfonso** 351

Capítulo 8

RADIO TELEMETRÍA DE VIDA SILVESTRE

Mircea Gabriel Hidalgo Mihart & León David Olivera Gómez

INTRODUCCIÓN

Este capítulo pretende brindar al lector una visión general sobre la terminología y tecnologías utilizadas para desarrollar estudios de RADIO TELEMETRÍA de vida silvestre, además de presentar en detalle las partes y la forma de operación del sistema de radio telemetría de muy alta frecuencia (VHF). El capítulo pretende introducir al lector al cómo y por qué utilizar radio telemetría en un estudio con fauna silvestre, así como presentarle la importancia del diseño previo del estudio para la obtención de resultados satisfactorios que contesten preguntas biológicas de forma adecuada. El capítulo está basado en las experiencias de los autores sobre la radio telemetría, así como en las excelentes revisiones que sobre aspectos técnicos hace Kenward (2001a y 2001b) y sobre aspectos de diseño de experimentos se realizan en los diversos capítulos del libro editado por J. J. Millspaugh y J.M. Marzluff (*Radio Tracking and animal populations*, 2001, Academic Press), especialmente el capítulo de Garton *et al.* 2001. Se sugiere a los lectores consultar estas publicaciones para lograr una visión mucho más completa sobre la técnica, aplicaciones y análisis de datos.

¿Qué es la radio telemetría y para qué sirve?

Telemetría es la transmisión a distancia de información por medio de ondas electromagnéticas, generalmente por ondas de radio, a través del agua o del aire. La radio telemetría aplicada a la vida silvestre se puede definir como la transmisión de información desde un transmisor, colocado en un animal silvestre en vida libre, a un receptor. En inglés se llama también "radio-telemetry", "radio tagging", "radio-tracking" o simplemente 'tagging' o 'tracking' (Kenward 2001a).

El desarrollo de la radio telemetría ha influenciado de forma dramática la dirección de la investigación en vida silvestre. Esta aproximación ha dado la oportunidad de contestar preguntas ecológicas y de manejo, imposibles de responder de otra forma, debido a que muchas especies de animales silvestres son difíciles de observar y de seguir en el campo (Cooke *et al.* 2004). Preguntas relacionadas al movimiento, comportamiento, uso de hábitat, sobrevivencia, productividad y otras relacionadas al estudio de individuos han sido contestadas gracias a esta técnica (Garton *et al.* 2001). La radio telemetría ha demostrado ser una técnica valiosa para aprender más acerca de la conducta y la historia de vida de un gran número de especies de fauna silvestre (Fig. 1).



Figura 1.- Puma (*Puma concolor*) equipado con un radio transmisor. La radio telemetría ha permitido conocer aspectos sobre la biología básica de especies crípticas, los cuáles hubiera sido imposibles de obtener sin el uso de esta técnica (Fotografía M. Hidalgo).

Desarrollo de la radio telemetría en vida silvestre

La radio telemetría en vida silvestre surge a partir del desarrollo en la década de 1950 de dispositivos de telemetría para la evaluación de parámetros fisiológicos en pilotos de

prueba en los Estados Unidos. Utilizando estos primitivos dispositivos, biólogos de vida silvestre de los Estados Unidos y Europa, comenzaron a obtener información sobre algunos parámetros fisiológicos de mamíferos y aves en cautiverio. Posteriormente, durante la década de 1960, principalmente en los Estados Unidos, se desarrollaron los primeros dispositivos, que con una batería con vida útil de solo unos pocos días, permitieron la localización de diferentes especies de aves y mamíferos de mediano y gran tamaño en el medio silvestre. A partir de estos primeros dispositivos, hacia la década de 1970, los avances tecnológicos permitieron reducir el tamaño de los transmisores, así como incrementar la potencia y duración de las fuentes de poder. El resultado de esto fue el desarrollo de radiotransmisores capaces de ser utilizados en animales cada vez más pequeños y con una mayor cantidad de funciones, los cuales transmitían a larga distancia una gran cantidad de información de los animales estudiados. En la década de 1980, el desarrollo tecnológico en los radiotransmisores, permitió la disminución de los costos de producción, lo que conllevó a que muchos biólogos de vida silvestre, tuvieran acceso a la técnica. El resultado de esto, fue la posibilidad de responder nuevas preguntas, incrementando la complejidad de los diseños de muestreo, así como el análisis.

En la década de 1990 con el desarrollo de aplicaciones civiles de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), así como de los Sistemas de Localización Satelital en Tiempo Real basados en el sistema de satélites ARGOS (Platform Transmitter Terminal PTT), se incrementaron el número de especies con las cuales era posible realizar estudios de telemetría, pues la obtención de datos dejó de estar sujeto a la distancia del investigador al animal (Kenward 2001b). Finalmente durante la primera década del Siglo XXI, la facilidad de llevar a cabo estudios sobre vida silvestre utilizando radio telemetría, ha sido marcado por el desarrollo de unidades de almacenamiento de datos de alta capacidad y la miniaturización de los dispositivos de transmisión, el incremento en la precisión y sensibilidad de los sistemas GPS, así como nuevos sistemas de análisis de datos, asociados al desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica y el desarrollo de microcomputadoras.

En la actualidad, la radio telemetría en vida silvestre es una técnica utilizada para explorar y responder una gran diversidad de preguntas biológicas. Siguiendo una clasificación sencilla (Garton *et al.* 2001), la radio telemetría puede brindar información valiosa y en muchos casos imposibles de obtener bajo ninguna otra técnica sobre temas tales como:

- *Aspectos descriptivos*: Áreas de actividad, uso de hábitat, frecuencia de interacciones con otros individuos, frecuencia de depredación, comportamientos, etc.
- *Aspectos relacionales*: Supervivencia, productividad o dispersión del animal vs. hábitat, clima u otros animales.
- *Aspectos causativos*: Experimentos de liberación, forrajeo, comportamiento social o incremento de depredadores.
- *Otros*: Puede ser útil para examinar otros temas como la propagación de enfermedades y estudios fisiológicos (temperatura corporal, actividad del animal, frecuencia respiratoria o cardíaca), etc.

Consideraciones previas a un estudio con radio telemetría

A pesar de que la radio telemetría es una técnica con enormes posibilidades para el estudio de la fauna silvestre, no siempre es la mejor opción para contestar preguntas específicas. Es importante que antes de iniciar un estudio de este tipo, se realice una evaluación exhaustiva sobre las aplicaciones de esta técnica en relación a las interrogantes sobre el animal en cuestión. Bajo algunas circunstancias, se puede perder mucho dinero y esfuerzo en un proyecto mal planeado, debido a que la radio telemetría puede ser inapropiada o ineficiente al utilizarse con ciertas especies.

Kenward (2001a) propone que deben de realizarse una serie de cuestionamientos y cumplirse ciertos requisitos antes de realizar un estudio con radio telemetría. Lo primero que hay que tomar en cuenta es que esta es una técnica que requiere entrenamiento. Puede parecer fácil en documentales, pero no se debe subestimar la habilidad requerida para obtener datos confiables.

Un segundo aspecto que Kenward (2001a) considera importante es el aspecto técnico. Existen especies en las cuales el uso de radiotransmisores no es posible debido a que son difíciles de capturar y no es posible obtener un tamaño de muestra adecuado. Así mismo, en algunas especies no es posible fijar un radiotransmisor bajo las condiciones técnicas actuales, ya sea por que sus características físicas o los lugares donde viven lo impiden, o por que se ha demostrado que el uso de radiotransmisores tiene efectos directos sobre el organismo equipado. En este sentido, una de las críticas más importantes al uso de radio telemetría en vida silvestre, es el hecho de que se conoce poco sobre los posibles efectos de los radiotransmisores sobre el comportamiento, reproducción y supervivencia de los individuos equipados con radiotransmisores.

Un tercer aspecto a tomar en cuenta es el financiamiento. A pesar de que los desarrollos tecnológicos han disminuido el costo de un estudio utilizando radio telemetría, en muchas ocasiones es importante tomar en cuenta que se le sigue considerando como una técnica cara para la obtención de datos en vida silvestre. La colocación de radiotransmisores representa un compromiso y una responsabilidad del investigador. Los transmisores deben colocarse solamente cuando existe financiamiento suficiente que garantice el seguimiento de los animales todo el tiempo que dure la vida del transmisor. Así mismo, es necesario considerar que para obtener datos útiles desde el punto de vista estadístico es necesario equipar con radiotransmisores a un número suficiente de individuos.

Finalmente, Kenward (2001a) sugiere que deben tomarse en cuenta consideraciones éticas sobre el estudio a realizar. Es necesario que cualquier estudio que involucre la captura de organismos sea seriamente evaluado con respecto a objetivos, protocolos de captura y manejo de animales. Las técnicas de captura deben diseñarse para minimizar el estrés a los animales en todo momento, tomando en cuenta el comportamiento y características físicas de la especie, las condiciones del sitio de

estudio, el conocimiento y habilidad de las personas que van a manejar al animal, los objetivos de la investigación y la disponibilidad de equipo adecuado. Así mismo, los transmisores deben colocarse de tal manera que se minimice cualquier efecto sobre el animal estudiado.

Fases de un estudio de radio telemetría

En especies y situaciones nuevas se suelen llevar a cabo estudios piloto para generar datos nuevos de la conducta e historia de vida de los animales, además de que permite localizar nuevos individuos que interactúan con los animales marcados. Sin embargo, un estudio científico usando radio telemetría suele ser costoso en términos económicos y de tiempo de campo, y en muchos casos se requiere acumular un número de observaciones considerable para un análisis estadístico poderoso y concluyente. Además, el tipo de datos que se generan con la telemetría suelen estar correlacionados en tiempo y/o en espacio, lo que requiere de un diseño cuidadoso previo al inicio del trabajo de campo (Garton *et al.* 2001). Esto, evitará que al final del estudio se termine con enormes bases de datos que tienen que ser reducidas por el problema de dependencia estadística.

Un estudio de telemetría envuelve varias fases, cada una de las cuales implica tiempo, inversión, capacitación y diseño. Es posible dividir un estudio estándar en el que se use radio telemetría en cuatro fases (Kenward 2001a).

A. Obtener el equipo. Esta fase a pesar de parecer trivial puede tardar meses, pues en la mayor parte de los casos los transmisores se fabrican sobre pedido.

B. Capturar y marcar animales exitosamente. En muchas ocasiones esto requiere de modificaciones en las técnicas de trampeo y captura de los animales, las cuales requieren tiempo de estandarización. Dentro de esta fase es

importante no olvidar solicitar y obtener los permisos de trabajo y colecta ante las autoridades correspondientes.

C. Colectar datos satisfactorios. A pesar de que esta es la etapa más importante en un trabajo en el que se use la radio telemetría, en muchas ocasiones los eventos no ocurren como se planean, de modo que es necesario considerar que puede requerir más tiempo del pensado originalmente. Eventos tales como radiotransmisores que se sueltan de los animales o dejan de funcionar, animales que se dispersan o que mueren por causas naturales o humanas entre otros, son comunes en estudios en los que se utiliza radio telemetría.

D. Análisis de resultados. En la mayor parte de los estudios esta etapa se deja al final. Sin embargo, esto no debe ser así. En estudios donde se utiliza radio telemetría es importante realizar análisis de los datos al mismo tiempo que se van colectando. El análisis previo identifica datos no válidos o de dudosa calidad, lo que permite realizar modificaciones a las técnicas de radio seguimiento o decidir incrementar el tamaño de muestra. En muchos estudios, el primer año suele ser trabajo piloto para refinar técnicas.

Un estudio en que se use radio telemetría con resultados de calidad requiere que todas las fases sean exitosas. Una forma de asegurar el éxito, es no olvidar que para todas las fases se requiere entrenamiento y asesoría, lo cuál implica también tiempo y dinero. Es importante analizar en su conjunto las cuatro fases de un estudio en el que se utilice radio telemetría y antes de plantear un proyecto contestar preguntas tales como ¿Puedo capturar suficientes animales?, ¿Los animales se pueden equipar con radio transmisor?, ¿Se pueden colectar datos apropiados? ¿Puedo pagarlo?

¿Cómo funciona la radio telemetría?

Existen 3 tipos básicos de sistemas de radio telemetría (Kenward 2001b):

A. Telemetría por tierra (ground telemetry). Es la más utilizada en el estudio de vida silvestre. Se basa en el uso de las ondas de radio de muy alta frecuencia (VHF). El investigador recibe la señal directamente en un receptor portátil y determina la posición del animal. Por sus características físicas, las ondas de radio utilizadas en estos sistemas viajan distancias cortas. Sin embargo, requiere baja potencia de la fuente de poder y el sistema completo es relativamente barato. Dentro de este sistema también pueden considerarse los sistemas sónicos donde el investigador recibe la señal con ayuda de un hidrófono.

B. Telemetría por satélite. También se conocen como Terminales de Plataforma (PTT). En este tipo de telemetría, la posición del animal es calculada por un satélite geoestacionario y el investigador recibe los cálculos periódicamente hasta una terminal de computadora o más modernamente en una página web especializada. La señal utilizada es de Ultra Alta Frecuencia (UHF) y viaja distancias muy largas. Varios factores pueden originar que la señal que llega al sistema no sea de la misma calidad o con el mismo error. En este caso, el sistema califica la señal y en la base de datos incluye esta calificación, lo que permite al investigador seleccionar datos con el mismo tipo de error asociado. Este sistema es costoso comparado con los otros sistemas de radio telemetría.

C. Telemetría por Sistema de Posicionamiento Global (GPS). La radio telemetría que utiliza este sistema, se basa en la recepción en el transmisor colocado en el animal, de las señales enviadas por el sistema de satélites del mismo nombre. El transmisor del animal cuenta con una computadora interna que a través de la triangulación de los datos enviados simultáneamente por los satélites, calcula la posición geográfica del animal. Posteriormente la posición geográfica es almacenada en el equipo colocado en el animal. El investigador puede recuperar los datos almacenados al recuperar el transmisor o alternativamente, en equipos más modernos, a través de un paquete de

datos que es transmitido desde el dispositivo colocado en el animal hasta un MODEM y luego a una computadora portátil (Fig. 2).



Figura 2.- Boya radio transmisora con GPS para manatí (*Trichechus manatus*). El sistema se programa para obtener localizaciones del animal en base al sistema de satélites GPS y almacena los datos dentro de una computadora interna. La boya debe ser recuperada para poder bajar los datos desde la computadora interna. Además del sistema GPS, la boya cuenta con un dispositivo convencional de radio telemetría VHF, el cuál permite la localización y posterior recuperación de la boya y de los datos contenidos en esta. La boya cuenta con 2 antenas, la más gruesa es para el sistema GPS y la delgada para el sistema VHF (Fotografía L. Olivera).

Adicionalmente a estos tres sistemas existen otros tipos de sistemas de radio telemetría que utilizan por ejemplo las ondas de frecuencia sónica (ampliamente utilizada en animales acuáticos), o las de microondas como el sistema de los teléfonos celulares.

Componentes de un sistema de radio telemetría

Cómo en todo proceso de radio comunicación, la radio telemetría es un sistema que se compone del equipo emisor de la señal, el medio de transporte de ésta (el aire o el agua dependiendo del sitio donde viva el animal estudiado) y el equipo de recepción-transducción. Adicionalmente pueden existir sistemas almacenamiento de datos después de la traducción de la señal (Kenward 2001a).

Subsistema de transmisión. Consiste en un radio transmisor, una fuente de poder, una antena de propagación y un sistema de montaje al animal (Fig. 3).

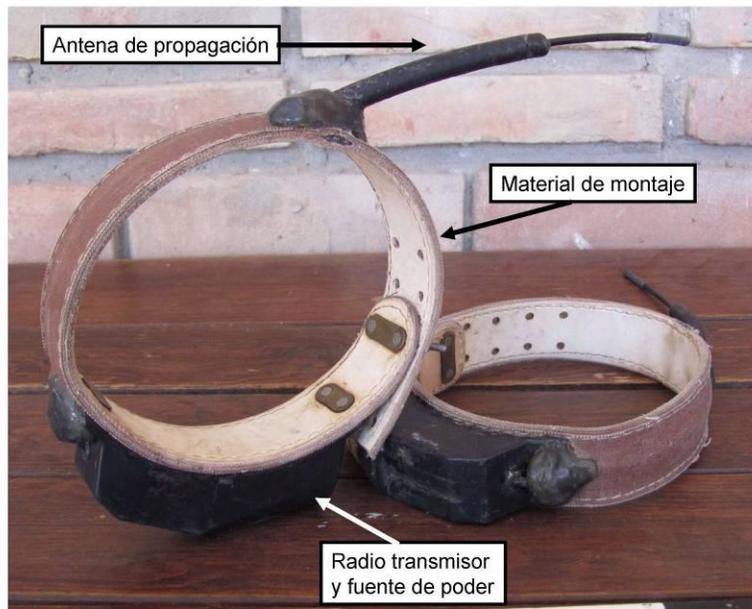


Figura 3.- Fotografía de un radio collar para carnívoro mediano en el cuál se detallan los diferentes componentes del subsistema de transmisión (Fotografía M. Hidalgo).

El radio transmisor consiste de un delgado cristal de cuarzo el cual se encuentra calibrado para vibrar a una frecuencia muy particular al momento de que una corriente eléctrica es aplicada. La frecuencia a la que vibra el cristal depende del grosor del mismo. En casi toda Europa y Norte América los radio transmisores fabricados para estudios de vida silvestre, usan frecuencias de 150–151MHz. En Estados Unidos también se permiten frecuencias de 40MHz, 165MHz y 216–220MHz. Es importante hacer notar que las frecuencias más

bajas (menores de 100MHz) se utilizan principalmente en animales acuáticos, pues estas frecuencias se transmiten mejor en el agua que las altas frecuencias.

En la mayor parte de los casos, la diferencia de frecuencias entre radiotransmisores utilizados en estudios de vida silvestre es de 10kHz, aunque se puede usar una separación de 5KHz con los receptores más modernos.

Los cristales de cuarzo son fabricados y calibrados manualmente, por lo que en caso de requerir una frecuencia particular para los radio transmisores, estos deben ser solicitados con tiempos de espera que van de uno o dos meses. Es usual que las compañías fabricantes cuenten en sus inventarios con cristales de cuarzo calibrados a frecuencias específicas, lo cuál disminuye los tiempos de espera al momento de realizar los pedidos. Sin embargo, esta opción no es posible si se requieren frecuencias específicas para un estudio, como en los casos donde ya se han colocado algunos radiotransmisores o existan en el área de estudio otros biólogos que estén colocando radiotransmisores en otras especies. Esto se debe a que las frecuencias ofrecidas pueden ser las mismas de radiotransmisores ya en uso y ser causa de interferencia.

Los transmisores están disponibles como unidades completas, que incluyen opciones de montaje como collares o como componentes que el investigador debe armar. Entre los tipos de activación del radio transmisor se cuentan interruptores magnéticos y conexiones por soldadura.

Los radio transmisores pueden contar con opciones especiales, lo cuáles permiten además de la localización del animal la obtención de otro tipo de información. Casi cualquier información que pueda expresarse como un voltaje variable puede ser transmitida. Los sensores de actividad fueron los primeros en ser utilizados ya que simplemente eran una variación del patrón de emisión de la señal por el transmisor, por ejemplo la señal se hace más frecuente cuando el transmisor no se mueve por un tiempo especificado. Adicionalmente, en los radiotransmisores se han habilitado, sensores de tiempo retardado (también conocidos por sensores de mortalidad por que

se activan cuando el transmisor se ha mantenido en la misma posición por muchas horas), sensores de temperatura, luz, frecuencia cardíaca y respiratoria y sensores de profundidad en el caso de organismos acuáticos. También es posible ajustar ciclos de transmisión pre-programados en los radiotransmisores (ej. sólo emite información durante el día). Es importante considerar que cada componente adicional además de incrementar el precio del radio transmisor, agregará peso al paquete y reducirá su vida operativa.

Acompañando a los transmisores es cada vez más frecuente incluir en el radio collar los llamados “data loggers” que almacenan información de la ubicación, la hora y de variables externas al animal o indicadores de actividad conductual o fisiológica. Estos aparatos cuentan con una memoria interna que almacena la información y que puede ser leída una vez que se recupera el equipo, cuando éste se suelta o recapturando al animal. Sensores asociados a estos data loggers tales como de temperatura ambiental, presión, humedad, luz, latido cardíaco, desplazamiento y posición relativa del animal, sensores acústicos que registran la tasa de ventilación del animal, la frecuencia de masticación, etc., son ahora ampliamente utilizados para muchos taxa. Sensores más sofisticados se utilizan en estudios biomédicos y se han comenzado a utilizar en animales de vida libre para registrar indicadores fisiológicos bajo condiciones naturales. Todos estos sensores asociados a data loggers han permitido explorar preguntas eco-fisiológicas y conductuales que no había sido posible trazar con animales fuera de los laboratorios y que también contribuyen a contestar preguntas ecológicas o a refinar las hipótesis sobre muchos procesos ecológicos. Cooke y colaboradores (2004) presentan una revisión interesante del uso, aplicaciones exitosas, limitaciones y retos, de todos estos aparatos en fauna silvestre, en una disciplina emergente conocida como “biotelemetría”.

Fuentes de poder. El cristal de cuarzo del radio transmisor para vibrar debe ser activado por el paso de una corriente eléctrica. La corriente tiene su

origen en baterías de litio y plata colocadas en el radio transmisor. La duración y naturaleza del estudio deben definir las características de la vida útil de la batería. Se batería. Se debe considerar que la capacidad de la pila a utilizar será mayor en caso de que se requiera mayor potencia de la señal. Así mismo, la capacidad de la pila dependerá de la amplitud del pulso. Es importante considerar que la duración de la pila disminuirá si la potencia y la amplitud del pulso se incrementan.

La decisión de la capacidad de la pila depende totalmente del tipo de estudio y sobre todo de la especie a estudiar. La pila es el elemento mas pesado del radiotransmisor y por lo tanto el elemento mas importante a reducir, pues entre más pesado sea un radio transmisor mayores son las posibilidades de que un animal se vea afectado en su comportamiento normal y sobrevivencia (Fig. 4).



Figura 4.- Fotografía de dos radio collares para equipar a un mamífero chico (izquierda) y mediano (derecha). Ambos radio collares cuentan con las mismas características internas del radio transmisor, variando únicamente la fuente de poder. La diferencia se debe al peso máximo que un mamífero chico puede cargar en comparación con uno mediano. Las consecuencias de esta reducción en la fuente de poder son menor potencia en la emisión de la señal, así como menor duración de la pila del radio collar (Fotografía M. Hidalgo).

Sistema de montaje del radiotransmisor. La forma, materiales y componentes del sistema de montaje del radiotransmisor al animal, es una de las decisiones críticas al momento de elegir entre los diferentes modelos de radio transmisor. Los sistemas de

montaje van desde collares (Figs. 1 y 4), arneses (Fig. 5), hasta el uso de pegamento, tornillos, aretes, hilo e implantes. La decisión del sistema de montaje va en función de la especie a estudiar y la habilidad requerida para la colocación del sistema en el animal. Las consideraciones en el sentido de la especie se dan principalmente en función del tamaño, la edad, el sexo, si es un organismo volador, si cuenta con estructuras duras donde fijar el radio transmisor, si tiene cuello, si tiene piel sensible a la presencia de un cuerpo externo en contacto, etc. Con respecto a las habilidades requeridas para colocar radio, esto se refiere a que existen formas de montaje en las cuales es necesaria experiencia y entrenamiento veterinario. Este es el caso por ejemplo de radio transmisores implantados, los cuales son colocados entre la piel y la cavidad abdominal y esto supone que los organismos prácticamente son sometidos a una cirugía. Así mismo, es importante considerar en la elección del sistema de montaje el tiempo de manejo del animal. Existen especies que debido a sus características conductuales deben ser manejados en forma rápida para evitar estrés y sus consecuencias, por lo que el sistema de montaje debe considerar este aspecto y ser posible la rápida colocación.



Figura 5.- Radio transmisor de arnés con boya colocado a un manatí (*Trichechus manatus*). Este sistema de montaje se utiliza en ésta especie debido a que no cuenta con un cuello definido donde colocar un radio collar (Fotografía L. Olivera).

La decisión del sistema de montaje debe darse bajo la premisa de alterar al mínimo las características y comportamientos de los animales a estudiar, así como para evitar efectos secundarios asociados al sistema tales como incremento mortalidad, disminución de tasas reproductivas, desnutrición, etc. El sistema de montaje elegido debe ser probado con anterioridad en animales de cautiverio, especialmente en especies que no han sido equipadas con radio transmisores anteriormente. Las

compañías fabricantes de los radio transmisores tienen experiencia en recomendar los mejores sistemas de montaje para cada especie. Además, en aquellos casos de que se trate de una especie nueva en la que no exista información sobre los mejores sistemas de montaje, en la mayor parte de las ocasiones las compañías tienen disposición para mejorar, modificar y trabajar junto con el investigador sobre nuevos sistemas más eficientes y que disminuyan los efectos secundarios.

El peso del sistema de montaje y el radio transmisor es variable dependiendo de los materiales utilizados en el sistema de montaje, el tamaño de la pila, el tamaño de la antena de propagación y en última instancia del sistema que emite la señal. Se considera que animales terrestres pueden ser equipados con radio collares de hasta el 5% de su peso corporal. En el caso de animales voladores nunca debe superar el 2% del peso corporal. Sin embargo, estos son los casos límite, se espera que el investigador haga uso de radio transmisores y sistemas de montaje que representen mucho menos peso para el animal.

Antena de propagación. El componente final del radio transmisor es la antena. Esta puede ser una antena de látigo (Fig. 6) o una antena de bucle (loop). La selección del tipo de antena en el radio transmisor depende en muchos casos del sistema de montaje. El primer tipo esta construido por uno o más alambres de acero inoxidable y sobresalen del radio transmisor. El segundo tipo normalmente se construyen de una placa de cobre en forma de collar y la peculiaridad de estas antenas es que la antena misma forma el sistema de montaje.



Figura 6.- Radio collares en los que se observa antena de propagación de látigo. En estos collares en particular es posible observar que el material de montaje presenta diferentes colores. Esto es para que en caso de que los animales equipados sean observados sean fácilmente reconocibles de otros organismos también equipados. Los colores utilizados en los radio collares deben poseer características que no disminuyan el éxito reproductivo o la sobrevivencia de los organismos equipados (Fotografía M. Hidalgo).

Las antenas de látigo son las más utilizadas en los radio transmisores de vida silvestre, debido a que permiten una mayor versatilidad en las formas de montaje, peso, y son más eficientes en la propagación de la señal. La longitud de la antena así como su grosor pueden favorecer una mejor propagación de la señal y se encuentran en relación a la frecuencia del mismo. Debido a esta característica, las antenas de látigo no deben ser cortadas o modificadas al momento de colocarlas en el animal.

El sitio en el que el radio transmisor se une con la antena de látigo es quizá el sitio más sensible del radio collar, debido a que es el único sitio donde el animal que porta el dispositivo puede afectar el funcionamiento al romper la unión entre el radio y la antena disminuyendo notablemente la distancia a la cuál se propaga la señal, complicando la localización de los animales. Ante este hecho, muchas de las compañías han desarrollado diversas estrategias para proteger la unión, entre las que

se encuentran la inclusión de la antena dentro del material de montaje o la colocación de refuerzos (Figura de refuerzos y salidas a mitad del collar).

Subsistema de recepción. Incluye una antena de recepción, un receptor de señales con un indicador (p.e., bocinas) y una fuente de poder (Fig. 7)

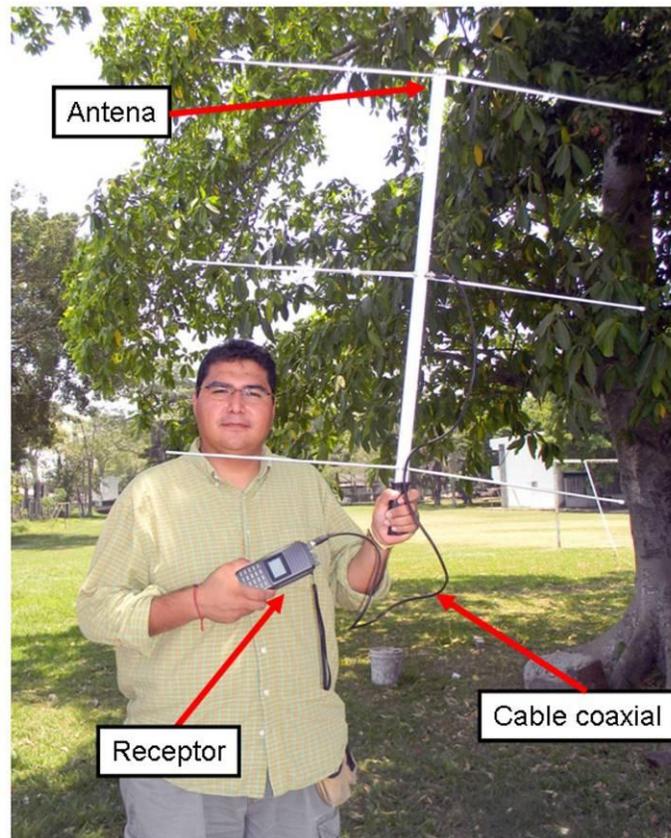


Figura 7.- Fotografía en la que se detallan los diferentes componentes del subsistema de recepción (Fotografía M. Hidalgo).

Antenas Receptoras. Su función principal es recibir la señal y transferirla a un aparato receptor. Aunado a esta función, la antena tiene la posibilidad de incrementar la ganancia de la señal, entendiéndose como ganancia la habilidad de un circuito de incrementar el poder o la amplitud de la señal emitida por el radio transmisor al ser recibida por el receptor. En radio telemetría de vida silvestre, esto normalmente se expresa como la recepción de una señal con mayor volumen.

Existen diferentes clasificaciones de las antenas de acuerdo a su direccionalidad, su portabilidad, así como su forma. En cuanto a su direccionalidad se pueden encontrar omnidireccionales (antenas de dipolo) y direccionales. Las primeras tienen una capacidad moderada de recepción pero no se puede identificar la dirección de la emisión de la señal, de tal forma que solo sirven para identificar la presencia del animal en un área general. En el caso de las direccionales, la ganancia es mayor en el sentido en que llega la emisión de la señal de manera que el investigador puede identificar la dirección en que se encuentra el animal. En cuanto a su portabilidad las antenas se pueden dividir en aquellas que por su peso y tamaño pueden ser portadas en la mano (handheld) o deben ser mantenidas fijas a una plataforma, ya sea móvil como un vehículo o a una base inmóvil en el terreno.

En cuanto a su forma las antenas pueden ser clasificadas como antenas de látigo, antenas circulares y de paleta, antenas H de Adcock y antenas Yagui. Las antenas de látigo corresponden a las antenas de dipolo y se utilizan básicamente para la búsqueda de animales en grandes áreas (Fig. 8). Normalmente la antena se coloca en un vehículo y con el receptor encendido se realiza un sondeo intensivo en busca de la señal de algún radio transmisor. Estas antenas no tienen la capacidad de determinar la dirección de donde proviene la señal, únicamente sirven para identificar que en un sitio específico es posible recibir una señal del radio transmisor.

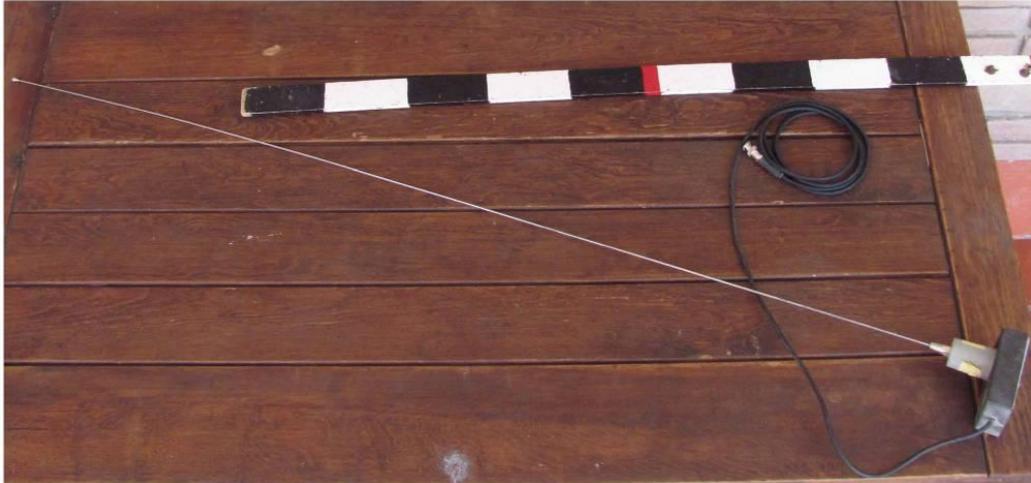


Figura 8.- Antena de recepción de dipolo o de látigo colocada en posición horizontal. La base de la antena tiene un poderoso imán que permite ser colocada en el techo de un vehículo. Cada una de las divisiones blancas y negras de la regla de referencia corresponden a 10cm (Fotografía M. Hidalgo).

Las antenas circulares y de paleta (Fig. 9) son antenas direccionales las cuales se utilizan básicamente para estudios en los cuáles se utilizan frecuencias menores de 100MHz. Debido a que son útiles en bajas frecuencias, estas antenas son muy utilizadas en estudios con animales acuáticos, pues las frecuencias bajas se transmiten mucho mejor en el agua. Estas antenas también se utilizan para frecuencias altas (>150MHz) cuando el transmisor está muy cerca del sitio donde se encuentra el receptor. Son comúnmente usadas para recuperar radiotransmisores en el campo.

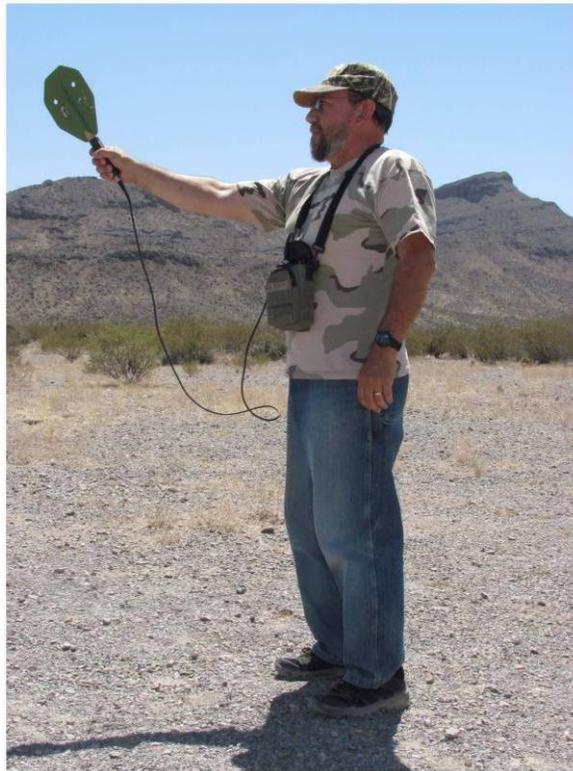


Figura 9.- Fotografía de un subsistema de recepción en el cual se utiliza una antena de paleta (Fotografía M. Hidalgo).

Las antenas H de Adcock son antenas de 2 elementos del mismo tamaño. Se trata de antenas direccionales que tienen un patrón de recepción que al estar dirigidas hacia el radio transmisor incrementan su ganancia, sin embargo, este mismo incremento en la ganancia se presenta cuando la antena se encuentra apuntando en dirección contraria, por lo que no es posible determinar con facilidad la dirección correcta a la que se encuentra el radio transmisor. Debido a este problema este tipo de antena tiene aplicaciones limitadas, entre las cuales se encuentran el radio seguimiento de peces desde la orilla de los ríos, en los cuales no existe la incertidumbre de la dirección correcta hacia la cual se encuentra el radio transmisor.

Las antenas Yagui son quizá la solución más utilizada en radio telemetría de vida silvestre cuando se usan frecuencias arriba de 140Mhz (Fig. 10). Las antenas Yagui tienen varias ventajas sobre otras antenas que las hacen ideales para aplicarse a la

vida silvestre. Su primera ventaja se encuentra asociada a que incrementan la ganancia notablemente en comparación con otras antenas, a tal grado que una antena Yagui de 3 elementos duplica la ganancia de una antena de dipolo. Así mismo, la ganancia de estas antenas se incrementa conforme se aumenta el número de elementos en la antena, de tal forma que una antena de cuatro elementos casi duplica la ganancia de una de dos elementos, mientras que una de 12 elementos tiene cuatro veces mas ganancia que la de dos elementos (Fig. 11). La segunda ventaja sobre otros tipos de antena es su patrón de recepción. Las antenas Yagui presentan un pico de ganancia cuando la antena se encuentra apuntando hacia el radio transmisor, el cual disminuye notablemente cuando se deja de apuntar, con excepción de cuando la antena apunta en la dirección opuesta al radio transmisor, en el cual se incrementa la ganancia, pero en ningún caso alcanza niveles similares a los obtenidos cuando se dirige en la dirección del radio transmisor.

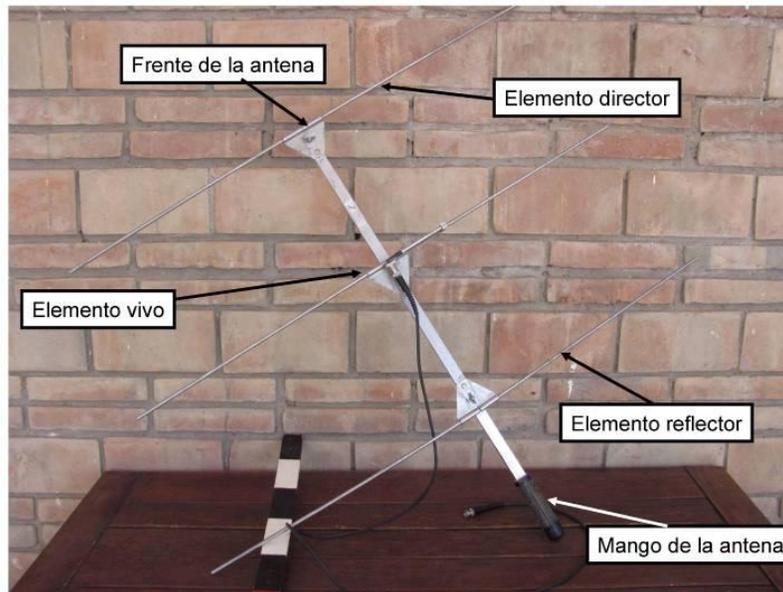


Figura 10.- Antena Yagui de tres elementos en la que se destacan sus diferentes partes. El elemento vivo es el sitio donde se concentra la señal para ser enviada al receptor a través del cable coaxial. En las antenas con un mayor número de elementos, todos los elementos adelante del elemento vivo se llaman directores, mientras que todos los que se encuentran atrás se llaman reflectores. Es importante que las antenas cuenten con un mango aislante para que la persona que sostiene la antena no produzca interferencia en la recepción de la señal y como consecuencia disminuya la ganancia de la antena (Fotografía M. Hidalgo).



Figura 11.- Fotografías de subsistemas de recepción con antenas Yagui portátiles de dos elementos (izquierda) y tres elementos (derecha). La ganancia de las antenas Yagui se hace mayor conforme se incrementa el número de elementos. Así mismo, el patrón de recepción de la señal se vuelve mucho mas estrecho y preciso conforme se incrementa el número de elementos en la antena Yagui (Fotografía M. Hidalgo).

El largo de los elementos de las antenas Yagui está en función de la frecuencia a la cual se pretenda trabajar con los radiotransmisores, por lo que las antenas se encuentran hechas a la medida. Es por esta razón que no se recomienda el uso de antenas Yagui si se trabaja con frecuencias por debajo de los 100Mhz, pues los elementos deben ser tan largos que es difícil su manipulación. Ante este hecho, se sugiere que se contacte con las compañías que venden los radios transmisores o con personal capacitado para la adquisición de antenas.

Las antenas Yagui pueden ser portátiles o fijas. El usar un tipo u otro de estas antenas radica básicamente en el número de elementos que la componen. Antenas de dos y tres elementos son en la mayor parte de las veces antenas portátiles (Fig. 11). Antenas con un mayor número de elementos para su mejor manejo deben encontrarse fijas a una base estática o móvil como una camioneta (Fig. 12).



Figura 12.- Sistema de Pico-Nulo montado en una estación fija. El sistema de pico nulo se conforma por dos antenas Yagui con exactamente las mismas características, montadas en forma paralela y conectadas entre sí. El sistema pico nulo sirve para obtener de forma muy precisa la dirección en la que se encuentra un radio collar (Fotografía M. Hidalgo).

Una opción especial de uso de antenas Yagui es el sistema denominado doble pico-nulo (Fig. 12). En este sistema dos antenas Yagui con las mismas características son colocadas en forma paralela sobre una base giratoria y conectadas entre si. En este sistema en particular, lo que se busca es encontrar el punto donde la señal del radio transmisor desaparece al estar orientada las antenas al origen de la señal. Esto se produce debido a que las ondas electromagnéticas, al momento de que las antenas se encuentran orientadas en la dirección de donde se encuentra el radio transmisor, reciben al mismo tiempo la señal, de tal forma que las ondas electromagnéticas se anulan entre si dando como resultado que la señal desaparece. Es así que conforme las antenas giran en dirección hacia el radio transmisor, la ganancia se va incrementando paulatinamente (espacio conocido como primer pico) hasta que en un espacio de uno o dos grados desaparece la señal (punto conocido como nulo), volviendo a

incrementarse la ganancia al pasar este punto (espacio conocido como segundo pico). En este caso, la dirección en la que el transmisor se encuentra localizado corresponde al nulo. La principal ventaja de este sistema sobre la utilización de sistemas con una sola antena es que las direcciones obtenidas son muy precisas.

Receptores. La función de un receptor es obtener la señal recogida por una antena (que está conectada a él mediante un cable coaxial), amplificarla y hacerla audible al usuario. Dentro de este sistema existen una gran cantidad de tipos y modelos, que van desde los que tienen pueden ser utilizados dar seguimiento de 10 o 15 radio collares, hasta los que tienen posibilidades de varios cientos de frecuencias (Fig. 13). Así mismo, existen en el mercado modelos analógicos y digitales (Fig. 14). Es de extrañarse que en un mundo que tiende a la digitalización, aún existan modelos analógicos. Esto puede explicarse debido a que muchos de estos modelos, han sido probados en condiciones extremas por los biólogos de vida silvestre y han demostrado ser capaces de seguir funcionando, por lo que en muchos proyectos se continúa con su uso. Sin embargo, es de esperarse que en los siguientes años los modelos digitales sean tan confiables como los analógicos, brindando al mismo tiempo muchas mas posibilidades.

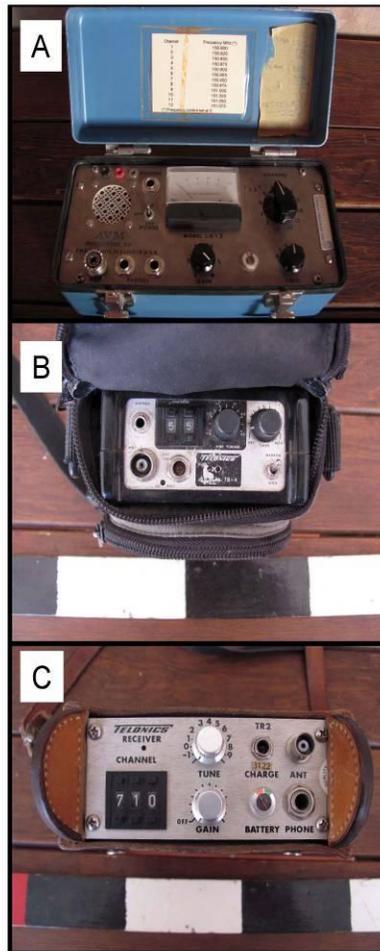


Figura 13.- Receptores de radio telemetría analógicos con capacidad de recibir: (A) 12 frecuencias de radio collares, (B) 99 frecuencias y (C) cientos de frecuencias. Las frecuencias a las cuales los receptores de la figuras A y B pueden recibir señales son programadas directamente por el fabricante a petición de los clientes (Fotografía M. Hidalgo).



Figura 14.- Fotografía de un receptor digital con capacidad de realizar escaneo de frecuencias previamente programadas por el usuario (Fotografía L. Pérez-Solano).

Los modelos de receptor más sencillos, son aquellos que sólo tienen 15 o 20 canales asociados a frecuencias específicas y que son asignadas por el fabricante al momento de su manufactura (Fig. 13). A partir de estos modelos es posible encontrar modelos más complejos que llegan a tener hasta 50 canales hasta aquellos en los cuales es posible realizar seguimientos en cualquier frecuencia dentro de una ventana de frecuencias (Fig. 13). Conforme la complejidad de los receptores se incrementa, se incorporan aditamentos tales como barredores automáticos de frecuencia (scanners), que automáticamente buscan la señal en una gran gama de frecuencias (Fig. 14), así como sistemas de almacenamiento de datos.

La selección del mejor receptor para un estudio de radio telemetría debe tomar en cuenta el número de organismos que se pretende radio marcar, las condiciones del área de estudio y trabajo (poniendo atención en el hecho de que son necesarios receptores muy robustos si tendrán que enfrentarse a duras condiciones en el campo) y sobre todo el presupuesto del proyecto.

Cable coaxial de conexión. El cable tiene como función conectar la antena con el receptor. A pesar de parecer trivial, es importante considerar las características que un cable coaxial debe tener para funcionar adecuadamente para su uso en radio telemetría. Una de las fallas más comunes en los sistemas de radio telemetría está en el cable, el cual por alguna acción específica en el campo sufre una rotura en el interior. Ante esto se debe considerar que los cables a utilizar deben ser cables coaxiales flexibles de muy buena calidad. Las terminales así mismo deben ser de buena calidad y colocadas con las herramientas especializadas para este fin. Es común que los cables sean doblados para facilitar su transporte, sin embargo, es importante poner atención de que los cables no deben ser doblados en forma extrema pues a pesar de ser flexibles, los cables tienden a dañarse y sufrir roturas internas cuando esto ocurre.

¿Cómo se hace radio telemetría?

Protocolo General para la colocación de un radio transmisor.

1. Siempre cargar un radio-transmisor de repuesto.
2. Como rutina revisar la velocidad de pulso de los transmisores.
3. Equipar a más de un animal dentro de un grupo social.
4. Tratar a todos los animales con cuidado y respeto.
5. Usar los paquetes de transmisión más pequeños posibles para el animal.
6. Para animales dependientes de coloración críptica transmisores deben ser lo más discreto posible.
7. De ser posible, los transmisores y sus formas de montaje deben probarse primero en animales en cautiverio.
8. Los transmisores deben probarse antes y después de colocarse para asegurar su funcionamiento y que el imán se haya retirado.
9. Antes de coleccionar datos sobre el comportamiento "normal" del animal, se deben dejar pasar algunos días después del montaje del transmisor.
10. Cuando sea posible, evitar equipar al animal durante periodos reproductivos.
11. Reconsiderar seriamente colocar un transmisor en cualquier animal que parezca estar en condiciones físicas malas

12. Reportar los efectos del transmisor, ya sean positivos o negativos.

Una vez que el transmisor se haya montado, el animal se debe examinar cuidadosamente antes de liberarse (Fig. 15)



Figura 15.- Colocación de un radio collar a un ocelote (*Leopardus pardalis*). Durante el proceso de colocación del radio transmisor, se debe evitar al máximo provocar estrés innecesario al animal. Así mismo, es importante que al colocar un radio transmisor, se verifique que el mismo no provoque efectos secundarios al animal de tal forma que pueda reducir sus comportamientos normales y en casos extremos su reproducción y sobrevivencia (Fotografía M. Hidalgo).

¿Cómo se obtiene una localización?

El procedimiento más adecuado de localización de los animales y registro de observaciones depende de cada especie. Hablaremos sobre el seguimiento en campo de animales equipados con transmisores tipo VHF.

En algunas especies es posible acercarse lo suficiente para encontrar visualmente los animales, pero en muchas otras esto no es posible, porque son muy sensibles a la presencia cercana de los observadores o porque son muy crípticas o habitan ambientes muy densos. En estos casos la posición se estima por triangulación. Jerárquicamente podemos decir que hay tres niveles generales de datos: localización a nivel de área general; localización por triangulación y localización visual.

Procedimiento para obtener una localización utilizando una antena Yagui (Fig. 16):

Especificar la frecuencia particular del animal y comenzar la búsqueda seleccionando la mayor ganancia y potencia del receptor. Es conveniente que al momento de iniciar la búsqueda se realice con la antena un giro de 360°. Esto debe realizarse pues al ser las antenas Yagui direccionales, es muy posible que la dirección inicial a la que se inicia la búsqueda no sea la dirección en la que se encuentra el radio transmisor. Asimismo, en muchos casos esto permite determinar la dirección general en la que se recibe la señal con mayor ganancia.

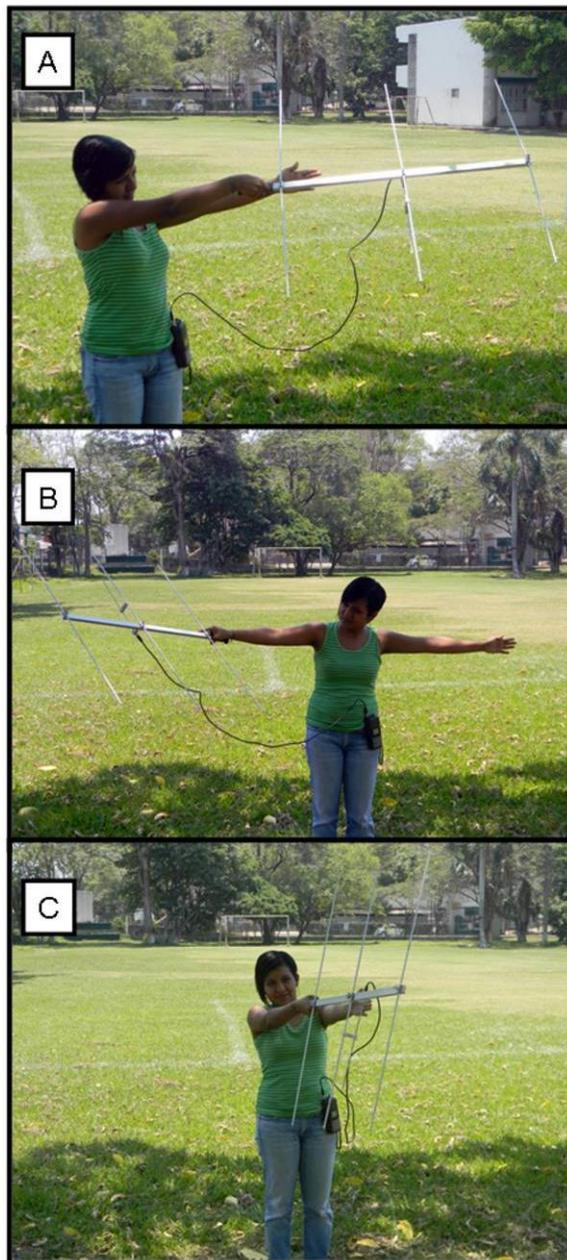


Figura 16.- Procedimiento estándar para obtener la dirección de un radio transmisor utilizando una antena Yagui. A. – Una vez que se escucha la señal del radio transmisor, se busca cual es el punto donde se tiene la mayor ganancia. Una vez hecho esto, se reduce la ganancia y el volumen del receptor al mínimo, y se comienza a mover la antena hasta que se deje de escuchar la señal emitida por el radio transmisor. Con un brazo se marca la dirección donde se deja de escuchar la señal. B. – Se mueve la antena hacia el lado contrario con el objetivo de buscar la dirección donde se deja de escuchar la señal emitida por el radio transmisor en ese lado del área de recepción de la antena. Se marca esta nueva dirección con el otro brazo. C. – Se cierran ambos brazos a la misma velocidad con el objetivo de marcar con la antena la dirección mas probable en la que se encuentra el radio transmisor.

1. Al comenzar a recibir la señal, se va disminuyendo la ganancia y la potencia. De hecho es mejor disminuir ambas hasta que la señal sea apenas perceptible y girar la antena para encontrar la dirección en la que se maximiza la señal. Orientando la antena a 90° y -90° de esta dirección confirma la dirección general, luego se puede ir cerrando el ángulo alternativamente hasta tener un arco de posibles direcciones, el centro de este arco es usualmente la mejor estimación de la dirección y mientras más cerrado es el arco más precisa es la estimación. Para que este procedimiento sea útil hay que conocer la posición del observador y con una brújula estimar el ángulo o el azimut de la dirección estimada.

2. Lo mejor es contar con dos receptores y estimar la dirección simultáneamente, pero otro procedimiento muy utilizado es desplazarse rápidamente en forma perpendicular al animal y estimar de nuevo su dirección. Con este paso se puede estimar la posición del animal por triangulación.

3. Si la especie no se altera por la cercanía del observador, una vez estimada la dirección, este puede irse acercando y disminuyendo la ganancia poco a poco. Con la práctica el observador podrá estimar qué tan cerca está del animal para comenzar una búsqueda visual o con binoculares. De esta manera se obtiene el registro visual.

Error asociado. La determinación de la dirección a la que se encuentra el animal no es exacta, y en todos los casos se encuentra influida por distintos factores, como la habilidad del observador, la configuración del paisaje, el movimiento del animal, el estado del transmisor, etc. Es recomendable antes de comenzar la toma de datos realizar experimentos para calcular la habilidad de cada observador para conocer la contribución de este factor. La magnitud del error, es decir la precisión, se puede mejorar con el uso de transmisores más potentes, mejores antenas, etc., mientras que la dirección o sesgo del mismo, o sea la exactitud, depende de otros factores más difíciles de controlar. La ubicación estimada por triangulación se convierte en un área cuando se toma en cuenta el error por precisión (Fig. 17).

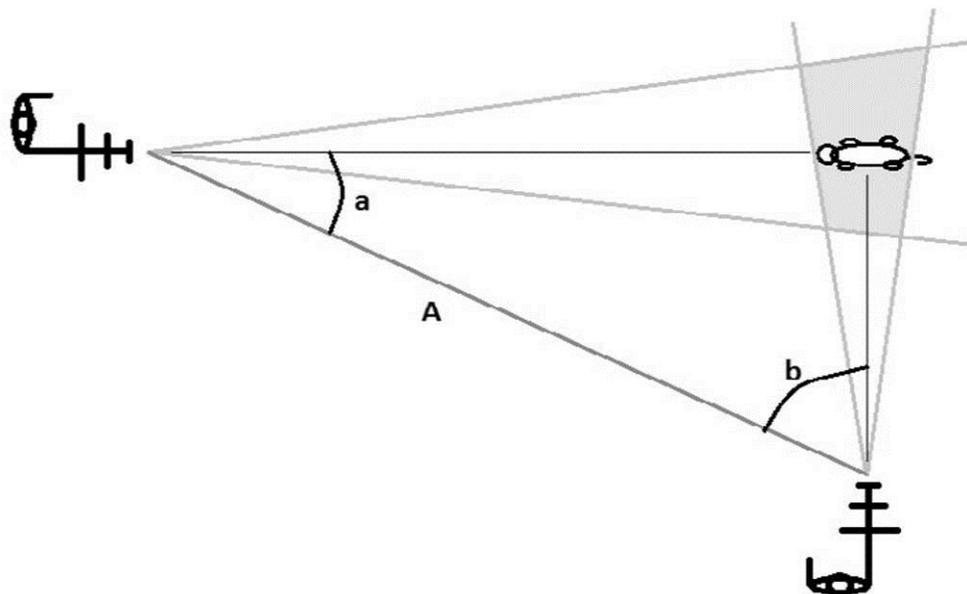


Figura 17.- Obtención de la posición de un animal radio marcado con un sistema de triangulación con dos observadores. Con la distancia A, los ángulos a y b, y con la posición de los observadores se calcula la posición del animal. Como la estimación de la dirección en realidad es un arco, en la figura representada por las dos líneas grises, la posición estimada se encuentra dentro del área de un polígono delimitado por la intersección de los arcos trazados por los observadores (área sombreada).

Diseño del estudio

Garton *et al.* (2001) recomiendan contestar una serie de preguntas para construir un buen diseño experimental en un estudio con telemetría. A continuación se resumen brevemente estas interrogantes.

¿Cuál es el propósito del estudio? Es importante esclarecer y tener en cuenta la pregunta principal del estudio, si es para trazar migraciones, territorios, ámbito doméstico, uso de hábitat, sobrevivencia, reproducción, etc. De esta pregunta depende la frecuencia y la precisión con que se requiere estimar la ubicación de los animales. Por ejemplo para conocer la ruta que sigue una tortuga marina desde que deja una playa de anidación y cuando regresa en el año siguiente, en este caso se requieren ubicaciones no muy frecuentes y no es necesario tener una precisión muy grande. Por otro lado si se quiere conocer sobre el uso de los recursos en el hábitat, la resolución debe ser fina, es decir la frecuencia de las ubicaciones debe ser alta y la precisión debe

ser tal que se pueda asociar la ubicación a la presencia de un recurso específico. Si el estudio pretende asociar una ubicación con la actividad de un animal o con una respuesta conductual o fisiológica específica se deben adicionar a la radio marca un dispositivo que registre la variable que acompaña a la ubicación.

¿Es el estudio observacional o manipulativo? ¿El estudio se diseña para probar hipótesis o construir modelos? Estas dos preguntas están relacionadas, muchos estudios con telemetría son observacionales, los datos sirven para establecer patrones a través de correlaciones o en forma descriptiva, construyendo modelos que describen estos patrones. En otros casos el estudio se diseña de forma manipulativa, a través de controles, tratamientos y replicas para establecer relaciones de causa–efecto y probar hipótesis específicas. La rigurosidad en la selección de los individuos y las condiciones durante el experimento, así como el número de réplicas y observaciones difiere entre los estudios observacionales y manipulativos.

¿Cuál es la población sobre la que se harán inferencias?. Se debe definir claramente la población sobre la cual aplicarán las inferencias, pues los resultados sólo aplicarán y contestarán preguntas relativas a esa población. En un estudio realizado con venados cola blanca en un fragmento de bosque espinoso bien conservado debería incluir una muestra representativa de la población estimada en ese sitio y los resultados aplicarán específicamente a las condiciones locales, si la escala geográfica es mayor se deben incluir muestras representativas de distintos sitios. Igualmente, si la muestra se limita a un solo individuo o a algunos individuos, las inferencias se deben circunscribir a esta muestra.

¿Cuál es la unidad experimental?. Básicamente, en un estudio de telemetría la unidad experimental es cada individuo marcado, si queremos modelar o hacer inferencias sobre el grupo o población de que se trate sin caer

en pseudo replicación (Hurlbert 1984). Las ubicaciones se consideran submuestras sobre las cuales estimar parámetros relativos al individuo muestreado.

¿Cómo se hará el muestreo: estratificado, sistemático, en grupos o aleatorio?, ¿Qué intensidad de muestreo se necesita? Es necesario seguir la teoría general del muestreo en el diseño del estudio para llegar a estimaciones no sesgadas y más precisas de los parámetros y de su variabilidad. En ocasiones un muestreo sistemático es básico para contestar preguntas, mientras que en otras un muestreo aleatorio es la opción más adecuada. Anticipar el tipo de muestreo también puede significar un ahorro de tiempo y costo en el estudio.

¿Son los individuos radio marcados una muestra sin sesgos? Algunos parámetros están asociados a la edad y sexo de los individuos y pueden influir en la exactitud de los modelos o contraste de hipótesis en un estudio. Si la especie establece grupos unidos, marcar varios individuos de un grupo sesgará el comportamiento de estas muestras; lo mismo ocurre con individuos con distinta jerarquía social. De nuevo el tipo de muestreo debe ser analizado en función de estos factores *¿Se consideran los errores de ubicación?*

¿Los sesgos en la tasa de observación son identificados y corregidos? En muy pocos casos se tiene la ubicación real de un animal, la mayoría de las ubicaciones son estimaciones que tienen distintos tipos de error asociado. En el seguimiento por un observador, cada persona en el campo tiene una capacidad diferente para distinguir la dirección de la señal, igualmente el tipo de terreno y de objetos que puedan causar interferencia pueden sesgar el estimado de la ubicación. En marcas de GPS o de satélite, la estimación también depende del tiempo disponible para calcular la posición o para mandar la señal al satélite, del número de satélites pasando sobre el área y de condiciones que puedan interferir con la señal. Mientras más fino es el muestreo, mayor es la precisión que se requiere en la estimación de la ubicación. Siempre es recomendable realizar un estudio piloto para identificar las fuentes de error, tratar de

minimizarlas o reducirlas y en todo caso verificar si el error permitirá hacer comparaciones entre los datos.

¿Cuál es el significado biológico de las observaciones?. Quizá es la pregunta más importante, el comportamiento de la variable de respuesta debe corresponder al proceso biológico que pretendemos entender a través de modelos o inferencias. El equipo que se planea utilizar, el muestreo, la frecuencia de las observaciones y la intensidad con que se realizan, así como la resolución del estudio, deben resultar en observaciones que tengan un significado sobre el proceso biológico estudiado.

Muestras puntuales (point sample) vs. Muestreo intensivo

Cuando se sigue un animal o cuando se analizan las posiciones de los animales, lo que potencialmente se obtiene es una serie de tiempo, el investigador puede escoger entre hacer un registro intensivo o analizar muchas observaciones sucesivas, o tomar muestras puntuales o filtrar los datos con un procedimiento aleatorio o sistemático. Eso depende de la naturaleza de la pregunta de investigación, pero también de la consideración de la violación del supuesto de independencia de las observaciones que imponen muchos métodos estadísticos.

La serie de observaciones obtenidas son usualmente auto-correlacionadas, esto es, que la naturaleza de la observación en un tiempo o espacio depende de la o las últimas observaciones de la serie. Cuando un animal se encuentra por ejemplo descansando es muy probable que en un tiempo anterior estuviera mostrando el mismo comportamiento o que se encontrará en un sitio propicio para el descanso, perdiéndose de esa manera la independencia de las observaciones. Existen procedimientos que no asumen esta independencia y con los que se puede aprovechar la información de un registro intensivo, sin embargo lo más común es filtrar la serie de manera que se pierda

la dependencia en los datos, si esto se considera anticipadamente en el diseño se puede ahorrar tiempo y otros recursos valiosos.

Radio seguimiento aéreo

El radio seguimiento utilizando aeroplanos ha sido utilizado casi desde el inicio de la radio telemetría de vida silvestre. La razón principal por la cuál se utilizan aeroplanos, se debe a que conforme se incrementa la diferencia de altura entre el radio transmisor y el sistema de recepción, se incrementa la ganancia de la señal emitida, de tal forma que es posible detectar señales débiles, como las que ocurren cuando los animales se encuentran muy alejados. Así mismo, al incrementar la altura sobre el radio transmisor, en muchas ocasiones se sobrepasa la altura de elementos del paisaje que absorben la señal emitida por el radio (ej. montañas), permitiendo la recepción de la señal.

El radio seguimiento se realiza principalmente desde pequeños monoplanos de ala alta que permiten el montaje de antenas en los soportes de las alas (Fig. 18). Se debe colocar una antena en cada ala. Las antenas deben quedar fuertemente fijadas a los soportes de las alas ya sea por medio de aditamentos especiales o con cinta. Las antenas deben quedar conectadas a una caja de distribución que permita escuchar alternativamente a través de un switch la antena derecha, la izquierda o ambas al mismo tiempo. El radio seguimiento debe iniciar escuchando ambas antenas, y en el momento que se localiza la señal del radio transmisor, alternar entre antena derecha e izquierda para conocer la dirección de la cuál proviene la señal. Una vez localizada la dirección, se deben realizar vuelos concéntricos cada vez más cerrados hasta acercarse lo más posible al radio transmisor (Fig. 19). Este procedimiento no permite gran precisión en el sitio de localización del radio transmisor, pero en la mayor parte de las ocasiones la precisión es suficiente para muchos de los estudios donde la radio telemetría aérea es necesaria, tales como estudios asociados a la dispersión de animales.



Figura 18.- Aeroplano de ala alta en el cual se han colocado antenas Yagui de dos elementos sujetas al soporte del ala. Se debe colocar una antena de las mismas características a cada lado del aeroplano. Las antenas deberán ser conectadas a un módulo en el que alternativamente se puedan escuchar la señal recibida por la antena izquierda, la derecha o ambas al mismo tiempo (Fotografía N. Lara).



Figura 19.- Cuando se realiza radio telemetría desde aeroplanos, una vez que se localiza la dirección de la señal, es necesario que realizar círculos concéntricos cada vez mas cerrados hasta determinar el punto más probable donde se localiza el animal (Fotografía N. Lara).

Alternativamente, es posible usar una antena Yagui de dos elementos al interior del avión, la cuál se va moviendo de derecha a izquierda a lo largo del

vuelo en búsqueda de los animales. Esta técnica es poco recomendable pues el espacio disponible en el aeroplano normalmente es muy limitado, además de que es muy poco precisa.

El radio seguimiento aéreo continuo es una alternativa muy costosa para la mayor parte de los proyectos de vida silvestre. Sin embargo, en muchas ocasiones se recomienda que se lleve a cabo vuelos especiales para la búsqueda de animales de los que se ha perdido señal desde tierra, pues la información obtenida a través del seguimiento aéreo podría ser muy útil para determinar aspectos importantes como rutas de dispersión de animales o sobrevivencia.

¿Cuándo se recomienda el radio seguimiento aéreo?

- 1.** Cuando el área de estudio se encuentra en áreas orográficamente muy agrestes, en la que la radio telemetría convencional desde tierra es poco recomendable, ya sea por la falta de accesos o por que las montañas no permiten el tránsito adecuado de la señal debido,
- 2.** Cuando el estudio implica animales que se mueven grandes distancias y que por la lejanía de sus movimientos no pueden ser localizados por radio telemetría convencional, como sucede con los grandes depredadores. Esta técnica es ampliamente utilizada en estudios de dispersión de especies de mamíferos medianos y grandes,
- 3.** Cuando por las condiciones de seguridad de los participantes en el proyecto no sea posible realizar el radio seguimiento terrestre,
- 4.** Cuando los animales que se está siguiendo se encuentran en sitios inaccesibles y estén equipados con collares de GPS con la capacidad de enviar los datos almacenados en el data logger del radio transmisor, a un receptor especial sin necesidad de recuperar el collar. En esta modalidad, es necesario acercarse a menos de 500 m para obtener los datos, por lo que el acercarse por medio de un aeroplano es una opción viable, especialmente en sitios con acceso terrestre limitado.

Aplicaciones especiales de la radio telemetría de vida silvestre

Se han desarrollado aplicaciones especiales de la radio telemetría, que han facilitado muchas de las actividades realizadas en el campo por biólogos de vida silvestre. Una de estas aplicaciones son los radiotransmisores colocados a dardos cargados con tranquilizantes y anestésicos (Fig. 20).

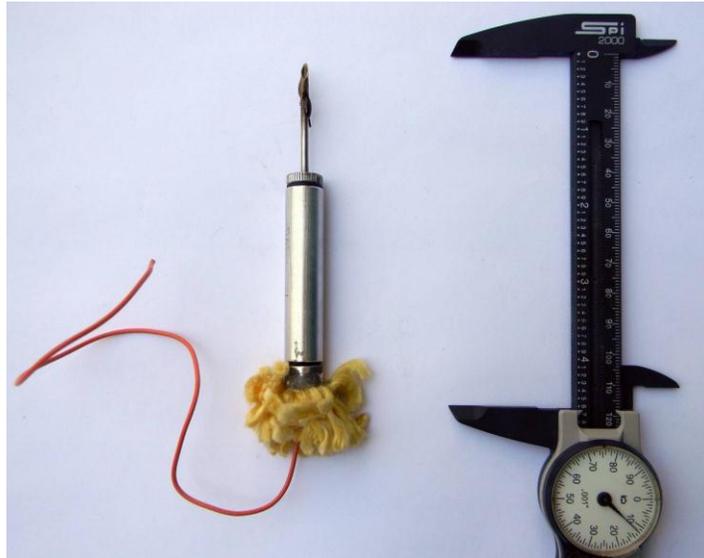


Figura 20.- Dardo tranquilizante equipado con radio transmisor. El radio transmisor permite que el animal al que fue disparado el dardo pueda ser rápidamente localizado (Fotografía L. Pérez-Solano).

La técnica es usada para la localización de animales a los cuales se les ha disparado un sedante, pues en muchas ocasiones el tiempo de inducción de los fármacos tranquilizantes puede tardar varios minutos lo cual en sitios con vegetación muy cerrada representa un problema, pues da tiempo suficiente a que los animales se escondan. Es común que el dardo que contiene los tranquilizantes quede incrustado en el cuerpo del animal hasta que es retirado directamente por los investigadores, lo cuál en este caso representa una oportunidad, pues si el dardo contiene un radio transmisor este puede ser localizado rápidamente, encontrando al mismo tiempo al animal sedado.

Otra aplicación de la radio telemetría, es la localización de perros domésticos en el campo. El uso de perros entrenados en estudios de biología y manejo de vida silvestre es cada vez más común. La búsqueda y localización de excretas, madrigueras, así como en la captura de diferentes organismos es mucho más eficiente cuando se usan perros entrenados. Para evitar la pérdida de estos perros, se han desarrollado collares que son colocados y removidos fácilmente. Una vez colocados los collares, los perros pueden andar libremente en el campo, realizando la labor para la que fueron entrenados. Es así que en caso de pérdida de contacto visual, los perros pueden ser localizados usando radio telemetría VHF convencional.

Análisis de datos y software

El análisis de datos de radio telemetría es complejo y dependerá de los objetivos del estudio. El análisis más sencillo implica la obtención de la localización del animal por triangulación. Este análisis puede llevarse a cabo desde software tan sencillo como hojas de cálculo pues implica una triangulación que puede resolverse por trigonometría. La automatización del proceso de triangulación ha sido una premisa para el radioseguimiento, en ese sentido, se han desarrollado programas de software específicos para este fin tales como Locate III (Radiotelemetry Triangulation Program, <http://www.locateiii.com/index.htm>) y LOAS (Ecological Software Solutions LLC: <http://www.ecostats.com/software/loas/loas.htm>). Este último incluye opciones para calcular la localización de los animales en el campo en los sistemas operativos que se incluyen en los teléfonos celulares. Para el análisis de datos más complejos como la obtención de áreas de actividad y análisis de uso – disponibilidad de hábitat se cuenta con extensiones asociadas a Sistemas de Información Geográfica como ArcView 3.x tales como Animal Movement (US Geological Survey, Alaska Science Center, http://alaska.usgs.gov/science/biology/spatial/gistools/animal_mvmt.php), BIOTAS (Ecological Software Solutions LLC: <http://www.ecostats.com/software/biotas/index.htm>) y otros en los que no es necesario un GIS, los cuales pueden ser descargados desde diversos sitios en Internet (Illinois Natural History Survey: http://nhsbig.inhs.uiuc.edu/wes/home_range.html).

Fabricantes

Existen diversos fabricantes de equipos completos de radio telemetría (radiotransmisores, antenas y receptores). La mayor parte de ellos se localizan en los Estados Unidos, Canadá y Europa. Sin embargo existen algunos fabricantes en áreas como Australia, Sudáfrica y aún en México. Cada uno de los diferentes fabricantes ofrece opciones que varían en precio y calidad. Así mismo, cada uno de los diferentes fabricantes pueden tener más o menos experiencia en la elaboración de radio transmisores para diferentes especies. Es conveniente ponerse en contacto con varios fabricantes para determinar cuál es la mejor opción tanto económica como técnica para la especie a estudiar. En la mayor parte de los casos, los fabricantes tienen gran disposición de trabajar con los investigadores por lo que la asesoría y experiencia de las compañías puede ser de gran ayuda para el diseño del mejor sistema de radio telemetría para la especie y sitio específico de estudio.

A continuación se presenta la lista de algunos de los fabricantes de equipo de radio telemetría:

Advanced Telemetry Systems (<http://www.atstrack.com/>), Estados Unidos.

Argos (<http://www.argos-system.org/?nocache=0.31222286930643306>), Francia.

AVM Instrument Company Inc. (<http://www.avminstrument.com/>), Estados Unidos.

Holohill (<http://www.holohil.com/>), Canada.

Lotek Engineering, Inc. (<http://www.lotek.com/>), Canada.

Telenax (<http://www.telenax.com/>), México.

Telonics (<http://www.telonics.com/>), Estados Unidos.

Wildlife Materials (<http://wildlifematerials.com/>), Estados Unidos.

Agradecimientos

Los autores quisiéramos agradecer principalmente a L. Cantú–Salazar, quien participó en la elaboración del primer esbozo de este capítulo. Asimismo, quisiéramos agradecer a L. Pérez–Solano, A. González–Romero y N. Lara por ayudarnos en el proceso de obtener las fotografías de este capítulo.

BIBLIOGRAFIA

- Cooke, S.J., S.G. Hinch, M. Wikelski, R.D. Andrews, L.J. Kuchel, T.G. Wolcott y P.J. Buttlar. 2004. Biotelemetry: a mechanistic approach to ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 19: 334–343.
- Garton, E.O., M.J. Wisdom, F.A. Leban y B.K. Johnson. 2001. Experimental design for radiotelemetry studies. Pp: 15–42. In: Millspaugh, J.J. y J.M. Marzluffe (Eds.). *Radio tracking and animal populations*. Academic Press, San Diego, California.
- Hurlbert, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* 54:187–211.
- Kenward, R.E. 2001a. *A manual for wildlife radio tagging*. Academic Press, San Diego, California.
- Kenward, R.E. 2001b. Historical and practical perspectives. Pp. 3–12. In: Millspaugh, J.J. y J.M. Marzluff (Eds.). *Radio tracking and animal populations*. Academic Press, San Diego, California.