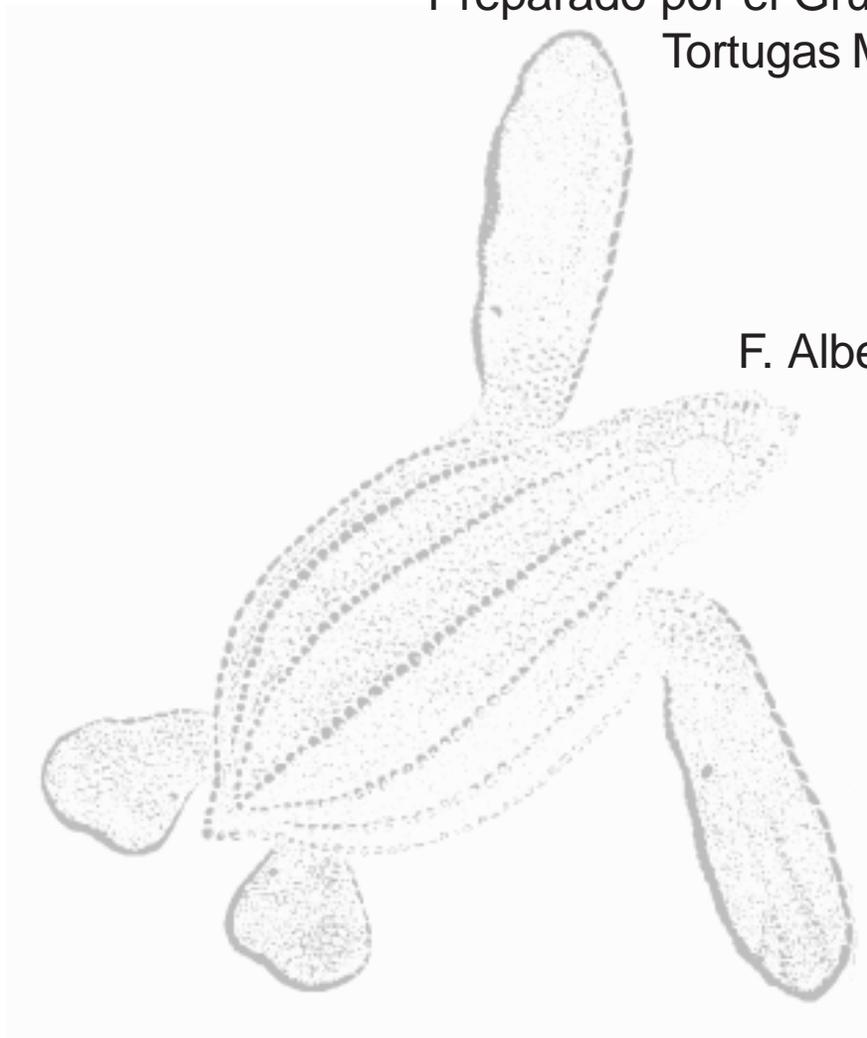


# Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas

Preparado por el Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE

Editado por  
Karen L. Eckert  
Karen A. Bjorndal  
F. Alberto Abreu-Grobois  
M. Donnelly

*Traducido al español por*  
Raquel Briseño-Dueñas  
F. Alberto Abreu-Grobois  
*con la colaboración de*  
Laura Sarti Martínez  
Ana Barragán Rocha  
Juan Carlos Cantú  
Ma. del Carmen Jiménez  
Jaime Peña



WWF



CMS



SSC



NOAA



MTSG



CMC

El desarrollo y publicación de *Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas* fué posible gracias al apoyo generoso de Center for Marine Conservation, Convention on Migratory Species, U.S. National Marine Fisheries Service y el Worldwide Fund for Nature.

©2000 SSC/IUCN Marine Turtle Specialist Group

La reproducción de esta publicación para fines educativos u otros propósitos no comerciales está autorizado sin permiso por el titular del derecho de autor, mientras que la fuente sea citada y que el titular reciba una copia del material reproducido.

La reproducción para fines comerciales está prohibida sin previa autorización del titular del derecho de autor.

ISBN (pendiente)

Impreso por Consolidated Graphic Communications, Blanchard, Pennsylvania USA

Material artístico para la cubierta, por Tom McFarland- Cría de tortuga laúd, *Dermochelys coriacea*

La cita correcta para esta publicación es la siguiente: Eckert, K. L., K. A. Bjorndal, F. A. Abreu-Grobois y M. Donnelly (Editores). 2000 (Traducción al español). *Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas*. Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE Publicación No. 4.

Para adquirir copias de esta publicación, por favor solicitarlas a:

Marydele Donnelly, MTSG Program Officer  
IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group  
1725 De Sales Street NW #600  
Washington, DC 20036 USA  
Tel: +1 (202) 857-1684  
Fax: +1 (202) 872-0619  
email: [mdonnelly@dccmc.org](mailto:mdonnelly@dccmc.org)

## Presentación

En 1995 el Grupo Especialista en Tortugas Marinas (MTSG por sus siglas en inglés) publicó una *Estrategia Mundial para la Conservación de Tortugas Marinas*. En ella, se definen lineamientos sobre los cuales se deben encauzar los esfuerzos para recuperar y conservar a poblaciones de tortugas marinas reducidas drásticamente o en proceso de declinación, en todo el ámbito de su distribución global. Como elementos singulares en la estructura funcional de ecosistemas complejos, las tortugas marinas sostienen una relación importante con hábitats costeros y oceánicos. Por ejemplo, contribuyen a la salud y el mantenimiento de los arrecifes coralinos, praderas de pastos marinos, estuarios y playas arenosas. La *Estrategia* respalda programas integrales orientados a prevenir la extinción de las especies y promueve la recuperación y el sostenimiento de poblaciones saludables de tortugas marinas que realizan eficientemente sus funciones ecológicas.

Las tortugas marinas y los humanos han estado vinculados desde los tiempos en que el hombre se estableció en las costas e inició sus recorridos por los océanos. Por innumerables generaciones, las comunidades costeras han dependido de las tortugas marinas y sus huevos para la obtención de proteínas y otros productos. En muchas regiones, esta práctica aún continúa. Sin embargo, durante el transcurso del siglo XX, el incremento en la comercialización intensiva de los productos de tortuga marina ha diezariado muchas poblaciones. Debido al complejo ciclo de vida de las tortugas marinas -en este proceso los individuos migran entre varios hábitats que pueden incluir la travesía de toda una cuenca oceánica- para su conservación, se requiere de una planeación del manejo con un enfoque de cooperación internacional, que reconozca la interconexión entre hábitats, de poblaciones de tortugas marinas y de poblaciones humanas, en tanto que se aplique el mejor conocimiento científico disponible.

A la fecha, nuestro éxito para llevar a cabo cualquiera de ambas tareas ha sido mínimo. Las especies de tortugas marinas están catalogadas como “En peligro crítico”, “En peligro” o “Vulnerable” por la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN). La mayoría de las poblaciones han disminuido inexorablemente como secuela de las prácticas de extracción no sustentables para el aprovechamiento de su carne, concha, aceite, pieles y huevos. Decenas de miles

de tortugas mueren cada año al ser capturadas accidentalmente en artes de pesca activas o abandonadas. Asimismo, muchas áreas de anidación y alimentación han quedado inhabilitadas o presentan un franco deterioro, por los derrames de petróleo, acumulación de desechos químicos, plásticos no-degradables y otros desechos antropogénicos; aunado a los desarrollos costeros de alto impacto y, al incremento del turismo y la diversificación de estas actividades tanto en la zona costera como en la oceánica.

Para reforzar la supervivencia de las tortugas marinas, es indispensable que en todos los países localizados en las áreas de distribución de estas especies, el personal que realice los trabajos de conservación en el campo, recurra a lineamientos estandarizados y a criterios apropiados. Las técnicas de conservación y manejo estandarizadas promueven la recopilación de datos comparables y hacen posible el compartir los resultados entre los países y regiones.

En tanto que este manual tiene el propósito de cubrir la necesidad de lineamientos y criterios normalizados, reconoce a la vez, que un sector creciente de interesados en el trabajo de campo y tomadores de decisiones requieren orientación sobre las siguientes interrogantes: ¿cuándo y por qué seleccionar una opción de manejo entre las disponibles? y ¿cómo instrumentar efectivamente la opción seleccionada y evaluar los logros obtenidos?

El Grupo Especialista en Tortugas Marinas de la UICN considera que un manejo apropiado no puede realizarse sin el soporte de una investigación de alta calidad enfocada, en la medida de lo posible, hacia temáticas críticas para la conservación. Nuestra intención es que este manual sea de provecho a los interesados en la protección y manejo de las tortugas marinas de todo el mundo. Reconociendo que los programas con mayores logros, combinan las técnicas de censo tradicionales con el manejo de bases de datos electrónicas y el análisis genético con telemetría satelital; tecnologías que apenas podrían ser vislumbradas por los conservacionistas de la generación anterior, dedicamos este manual a los conductores del manejo y conservación de los recursos naturales del siglo XXI, quienes enfrentarán los cada vez más complejos retos de una administración apropiada. Esperamos que encuentren en este manual un entrenamiento y asesoría útiles.

Karen L. Eckert  
Karen A. Bjorndal  
F. Alberto Abreu Grobois  
Marydele Donnelly  
Editores

## Agradecimientos

**C**ongruente con el espíritu y estructura del Grupo Especialista en Tortugas Marinas de la Unión Mundial para la Naturaleza (MTSG/IUCN, por sus siglas en inglés), este manual es el resultado de los esfuerzos de colaboración de científicos y tomadores de decisiones situados alrededor del mundo. Los Editores estamos profundamente agradecidos por el apoyo y estímulo brindado por nuestros colegas así como por su buena disposición en compartir datos, experiencias y sabiduría. Tenemos una especial deuda con los autores y coautores - más de 60- que hicieron posible este manual, y con todos aquellos especialistas que participaron en el proceso de revisión crítica.

Las siguientes personas, con su revisión experta, contribuyeron sustancialmente a la obtención de la calidad final del manual: Ana Barragán (Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México); Anna Bass (University of Florida, USA); Miriam Benabib (Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México); Alan Bolten (University of Florida, USA); Annette Broderick (University of Wales Swansea, UK); Deborah Crouse (Fish and Wildlife Service, USA); Andreas Demetropoulos (Ministry of Agriculture and Natural Resources, Cyprus); Peter Dutton (National Marine Fisheries Service, USA); Scott Eckert (Hubbs-Sea World Research Institute, USA); Nat Frazer (University of Florida, USA); Jack Frazier (CINVESTAV, México); Marc Girondot (Université Paris 7-Denis Diderot, France); Brendan Godley (University of Wales Swansea, U.K.); Hedelvy Guada (WIDECAS, Venezuela); Julia Horrocks (University of the West Indies, Barbados); George Hughes (KwaZulu-Natal Nature Conservation Service, South Africa); Naoki Kamezaki (Sea Turtle Association of Japan); Rhema Kerr (Hope Zoological Gardens, Jamaica); Jeffrey Miller (Queensland Department of Environment and Heritage, Australia); Jeanne Mortimer (Conservation and National Parks, Republic of the Seychelles); Wallace J. Nichols (University of Arizona, USA); Joel Palma (World Wildlife

Fund-Philippines); Claude Pieau (Institut Jacques Monod, Paris, France); Henk Reichart (STINASU, Suriname); Rodney Salm (IUCN, Eastern Africa Regional Office); Laura Sarti M. (Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México); Barbara Schroeder (National Marine Fisheries Service, USA); Jeffrey Sybesma (Faculty of Law, University of the Netherlands Antilles); Robert van Dam (Institute for Systematics and Population Biology, The Netherlands); Alessandra Vanzella-Khoury (United Nations Environment Programme, Jamaica); and Jeanette Wyneken (Florida Atlantic University, USA).

También, hacemos extensivo nuestro profundo agradecimiento a Tom McFarland («Tom's Turtles») por su contribución artística. Su esmero por la precisión garantiza a los lectores de este manual un acceso a ilustraciones claras y exactas. Sus preciosos dibujos mejoran también la perspectiva de supervivencia de las tortugas marinas de una manera real, ya que una acción efectiva de conservación depende de datos verídicos, incluyendo una correcta identificación de las especies.

El manual no podría haberse realizado sin el apoyo financiero del Centro para la Conservación Marina (CMC), la Convención para Especies Migratorias (CMS), el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas de EUA (NMFS) y la Unidad de Investigación Cooperativa de Pesquería y Vida Silvestre de Florida (USGS, Department of the Interior, Research Work Order 172).

Deborah White Smith diseñó el estilo del manual y transformó docenas de capítulos individuales a un formato coherente. La traducción al español estuvo a cargo de Raquel Briseño Dueñas y F. Alberto Abreu-Grobois, con la participación de Ana Barragán, Juan Carlos Cantú, María del Carmen Jiménez Quiroz, Jaime Peña y Laura Sarti.

En suma, el proyecto resultó beneficiado con los talentos de más de 100 personas de todo el mundo.

¡A todos, nuestro más sincero agradecimiento!

Karen L. Eckert  
Karen A. Bjorndal  
F. Alberto Abreu Grobois  
Marydele Donnelly  
Editores

# Tabla de Contenido

## 1. Generalidades

Introducción a la Evolución, Historias de Vida y Biología de las Tortugas Marinas .....	3
<i>A. B. Meylan y P. A. Meylan</i>	
Diseño de un Programa de Conservación .....	6
<i>K. L. Eckert</i>	
Prioridades para los Estudios sobre la Biología de la Reproducción y de la Anidación .....	9
<i>J. I. Richardson</i>	
Prioridades para la Investigación en Hábitats de Alimentación .....	13
<i>K. A. Bjorndal</i>	
Conservación Basada en la Comunidad .....	16
<i>J. G. Frazier</i>	

## 2. Taxonomía e Identificación de Especies

Taxonomía, Morfología Externa e Identificación de las Especies .....	23
<i>P. C. H. Pritchard y J.A. Mortimer</i>	

## 3. Evaluación de Poblaciones y de Hábitats

Estudios de Hábitat .....	45
<i>C. E. Diez y J. A. Ottenwalder</i>	
Prospecciones Poblacionales (Terrestres y Aéreas) en Playas de Anidación .....	51
<i>B. Schroeder y S. Murphy</i>	
Estudios de Poblaciones en Playas de Arribadas .....	64
<i>R. A. Valverde y C. E. Gates</i>	
Estudios en Hábitats de Alimentación: Captura y Manejo de Tortugas .....	70
<i>L. M. Ehrhart y L. H. Ogren</i>	
Estudios Aéreos en Hábitats de Alimentación .....	75
<i>T. A. Henwood y S. P. Epperly</i>	
Estimación del Tamaño de la Población .....	78
<i>T. Gerrodette y B. L. Taylor</i>	
Identificación de Poblaciones .....	83
<i>N. FitzSimmons, C. Moritz y B. W. Bowen</i>	

#### 4. Metodologías y Procedimientos para la Colecta de Datos

Definición del Inicio: La Importancia del Diseño Experimental .....	95
<i>J. D. Congdon y A. E. Dunham</i>	
Sistemas de Adquisición de Datos para el Seguimiento del Comportamiento y la Fisiología de las Tortugas Marinas .....	101
<i>S. A. Eckert</i>	
Bases de Datos .....	108
<i>R. Briseño-Dueñas y F. A. Abreu-Grobois</i>	
Factores a Considerar en el Mercado de Tortugas Marinas .....	116
<i>G. H. Balazs</i>	
Técnicas para la Medición de Tortugas Marinas .....	126
<i>A. B. Bolten</i>	
Periodicidad en la Anidación y el Comportamiento entre Anidaciones .....	132
<i>J. Alvarado y T. M. Murphy</i>	
Ciclos Reproductivos y Endocrinología .....	137
<i>D. Wm. Owens</i>	
Determinación del Tamaño de la Nidada y el Éxito de la Eclosión .....	143
<i>J. D. Miller</i>	
Determinación del Sexo en Crías .....	150
<i>H. Merchant Larios</i>	
Estimación de la Proporción Sexual en Playas de Anidación .....	156
<i>M. Godfrey y N. Mrosovsky</i>	
Determinación del Sexo de Tortugas Marinas en Hábitats de Alimentación .....	160
<i>T. Wibbels</i>	
Muestreo y Análisis de los Componentes de la Dieta .....	165
<i>G. A. Forbes</i>	
Medición del Crecimiento en Tortugas Marinas .....	171
<i>R. P. van Dam</i>	
Redes de Recuperación y Monitoreo de Tortugas Varadas .....	174
<i>D. J. Shaver and W. G. Teas</i>	
Entrevistas y Encuestas en Mercados .....	178
<i>C. Tambiah</i>	

#### 5. Reducción de Amenazas

Reducción de las Amenazas a las Tortugas .....	187
<i>M. A. G. Marcovaldi y C. A. Thomé</i>	
Reducción de las Amenazas a los Huevos y las Crías: Protección <i>In Situ</i> .....	192
<i>R. H. Boulon, Jr.</i>	

Reducción de las Amenazas a los Huevos y a las Crías: Los Viveros .....	199
<i>J. A. Mortimer</i>	
Reducción de las Amenazas al Hábitat de Anidación .....	204
<i>B. E. Witherington</i>	
Reducción de las Amenazas a los Hábitats de Alimentación .....	211
<i>J. Gibson y G. Smith</i>	
Reducción de la Captura Incidental en Pesquerías .....	217
<i>C. A. Oravetz</i>	
<b>6. Crianza, Cuidado Veterinario y Necropsia</b>	
La Crianza y Reproducción en Cautiverio de Tortugas Marinas: Una Evaluación de su Uso como Estrategia de Conservación .....	225
<i>J. P. Ross</i>	
Rehabilitación de Tortugas Marinas .....	232
<i>M. Walsh</i>	
Enfermedades Infecciosas en Tortugas Marinas .....	239
<i>L. H. Herbst</i>	
Toma de Muestras de Tejidos y Técnicas para la Necropsia .....	246
<i>E. R. Jacobson</i>	
<b>7. Legislación e Instrumentación</b>	
Grupos de Interés de las Bases y Legislación Nacional .....	252
<i>H. A. Reichart</i>	
Colaboración Regional .....	256
<i>R. B. Trono y R. V. Salm</i>	
Tratados Internacionales de Conservación .....	260
<i>D. Hykle</i>	
Aspectos Forenses .....	265
<i>A. A. Colbert, C. M. Woodley, G. T. Seaborn, M. K. Moore and S. B. Galloway</i>	

## Sistemas de Adquisición de Datos para el Seguimiento del Comportamiento y la Fisiología de las Tortugas Marinas

**Scott A. Eckert**

*Hubbs-Sea World Research Institute, 2595 Ingraham Street, San Diego, California 92109 USA;*

*Tel: +1 (619) 226-3872; Fax: +1 (619) 226-3944; email: seckert@hswri.org*

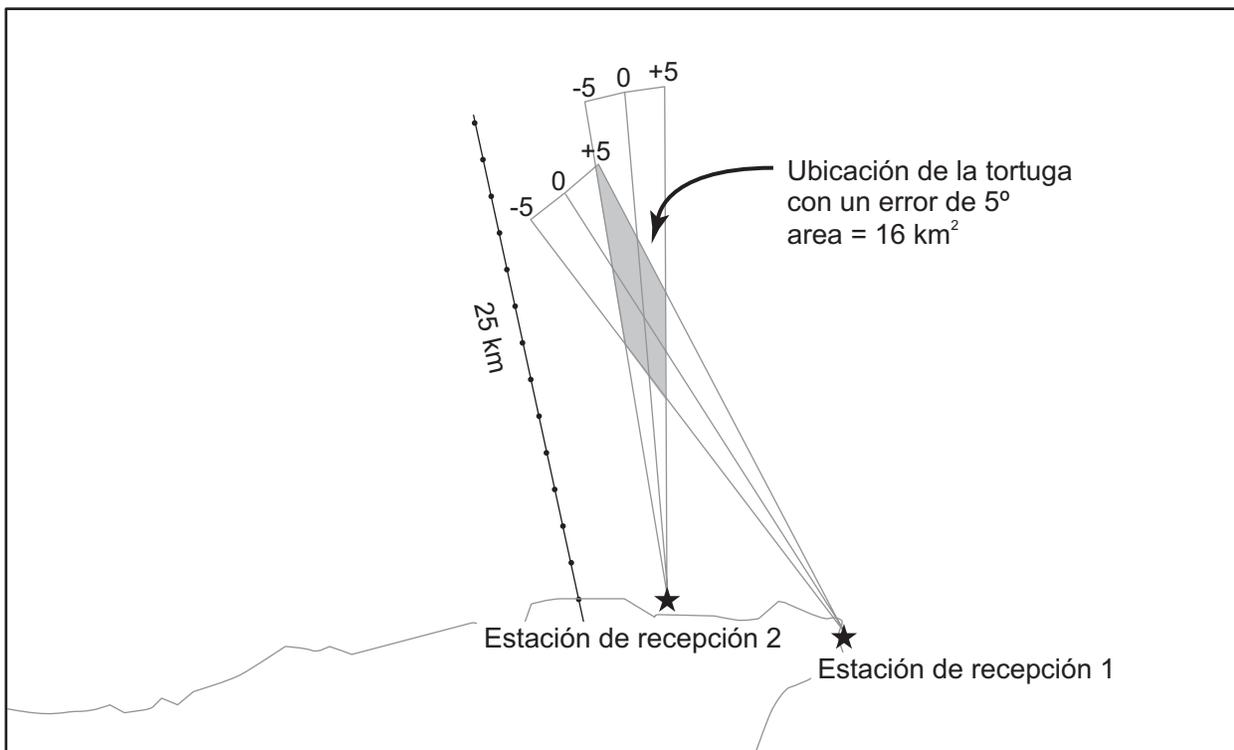
El desarrollo de tecnologías de microchips y microprocesadores, junto con el mejoramiento en diseños de batería, ha permitido a los investigadores expandir el estudio de la biología de las tortugas marinas de formas que sólo pudieron ser imaginadas hace pocos años. Nuevas tecnologías permiten la adquisición de datos sobre comportamiento, fisiología, uso del hábitat y movimientos migratorios a un costo razonable y sin requerimientos logísticos que una vez fueron formidables. Este capítulo describe algunos de estos métodos, cómo y cuándo usarlos y cómo evitar abusar de ellos.

### **Telemetría de Muy Alta Frecuencia (VHF, por sus siglas en inglés)**

La telemetría VHF es probablemente la más vieja y simple tecnología electrónica que ha sido aplicada a tortugas marinas. Generalmente el objetivo es determinar la ubicación de la tortuga a distancias demasiado lejanas para detección visual, o como guía para la verificación visual de la posición de una tortuga. En su forma más básica, el sistema consiste de un radio transmisor de frecuencia estable, un receptor capaz de detectar la frecuencia del transmisor y una antena capaz de detectar a la dirección. Usualmente una brújula o una rosa de los vientos (donde el perímetro del disco está dividido en grados representando la dirección de la brújula) se asocia con la antena para indicar dónde se localiza el transmisor en relación con el receptor. El técnico de rastreo simplemente gira la antena y registra la lectura que da la señal más fuerte. Cada transmisor es ajustado a una frecuencia específica y los individuos son identificados por estas frecuencias únicas; o, alternativamente, por la tasa de repetición de la señal (este último método es poco común). Se registran dos

lecturas simultáneamente (o más o menos cercanas) desde dos receptores en ubicaciones separadas, la intersección de estas lecturas estima la ubicación de la tortuga. Un número de estudios publicados informa de los resultados del rastreo de tortugas por VHF (p. ej., Dizon y Balazs, 1982; Mendonça y Ehrhart, 1982; Mendonça, 1983; Keinath, 1986; Chan *et al.*, 1991), y de éstos, así como de estudios de otros taxa, puede encontrarse información sobre proveedores comerciales de equipo.

Las ventajas de la técnica VHF incluyen su simplicidad, un número relativamente grande de materiales de referencia y costos comparativamente menores. La desventaja más grande (y el problema que se pasa por alto más frecuentemente) es su precisión relativamente pobre. Pocos técnicos calificados logran una precisión de menos de  $\pm 5^\circ$ . Por consiguiente, la “ubicación” resultante no es exacta, sino que cae dentro un polígono cuyos márgenes son determinados por el ángulo de la lectura de la brújula y la precisión del técnico en particular. Por ejemplo, la ubicación precisa de una tortuga a 15-20 Km de una estación receptora con  $5^\circ$  de error de medición cae dentro de un polígono cuya área es de 16 Km<sup>2</sup> (Figura 1). Los técnicos deben estar profundamente versados en métodos para corregir errores inherentes (ver White y Garrot, 1986, 1990; Zimmerman y Powell, 1995). Una segunda desventaja es que los transmisores deben estar en la superficie para ser detectados. Para algunas especies de tortuga, la salida a la superficie puede ocurrir sólo unos pocos segundos una vez cada hora, reduciendo mucho alguna oportunidad para triangulación. Cuando éste es el caso, se recomienda una tasa de repetición rápida (p. ej., 0.25-0.5 pulsos por segundo). La vida de la batería es reducida más rápidamente en este caso, pero el técnico



**Figura 1.** Ubicación del polígono establecido usando telemetría VHF con un error de medición de 5 grados.

recibe más pulsos por unidad de tiempo, aumentando su habilidad para localizar la señal. Finalmente, la variación diaria en factores abióticos (p. ej., lluvia, humedad, interferencia de radio) puede degradar la calidad de la señal.

### Telemetría Sónica

En muchas formas (p. ej., la percepción y triangulación de una señal), el rastreo sónico es similar al rastreo VHF. En contraste a la telemetría VHF, que se basa en ondas de radio transportadas por el aire, las señales sónicas son transmitidas bajo el agua, y en lugar de una antena direccional, se utiliza un hidrófono direccional para rastrear las tortugas debajo de la superficie. La técnica está bien desarrollada, es absolutamente segura y, aunque generalmente más costosa que la telemetría VHF, es disponible a un precio razonable. Los transmisores sónicos pueden codificar datos, tales como temperatura o profundidad, dentro de la señal. Finalmente, la telemetría sónica es con frecuencia más precisa en relación al grado de error asociado con la lectura de la brújula, sin embargo, aún hay un gran número de errores potenciales que deben ser señalados (ver Collazo y Epperly, 1995). La principal desventaja es que el alcance es limitado y la investigación debe realizarse desde un bote. Por otra parte, las señales sónicas son más susceptibles a interferencia y rebote que las ondas de radio VHF

por lo que las condiciones ambientales pueden afectar notablemente los resultados. Ya que inherentemente existe más interferencia por ruido (biótico y abiótico) bajo el agua, los receptores deben incorporar filtros eficaces. Las señales sónicas pueden ser degradadas por la alta carga de partículas que existe en el agua y bloqueadas completamente por estructuras submarinas. Es aconsejable comprar el mejor receptor posible para asegurar la incorporación de las ventajas de tecnologías superiores en la reducción de ruido.

### Transmisores de Satélite y Enlace Satelital para el Registro de Datos

La telemetría por satélite proporciona un medio superior para el seguimiento de movimientos a larga distancia, así como varios parámetros de la conducta, y ha sido usada exitosamente por un número de investigadores (p. ej., Hays, 1993; Plotkin *et al.*, 1995; Morreale *et al.*, 1996; Beavers y Cassano, 1996; Eckert y Sarti, 1997; Eckert, en prensa)

Actualmente, ARGOS CLS proporciona el único sistema satelital orbitando la Tierra capaz de establecer ubicaciones diarias globales de los transmisores colocados en animales silvestres. El sistema consiste en dos satélites TIROS-N en órbitas bajas circumpolares, con receptores de radio a bordo y unidades transmisoras, una serie de estaciones receptoras con base en la Tierra, y varios Centros de

Procesamiento Global (GPCs, por sus siglas en inglés). [ N.B. Al momento de escribir este texto, un tercer satélite ha sido puesto en línea pero su futuro es todavía incierto]. Cada satélite completa una órbita en 101 minutos, cruzando el ecuador a una hora fija cada día. La franja de terreno cubierto durante cada pasada tiene aproximadamente 5,000 Km. de ancho y se traslapa en el ecuador 2,100 Km. con la que la antecede. La cantidad de traslape se incrementa con la latitud, de manera que la cobertura satelital (de dos satélites) en una ubicación específica aumenta desde seis pasadas del satélite por día en el ecuador a 28 pasadas por día en los polos. El satélite está dentro del rango de recepción de radio en cualquier punto de la Tierra por unos 10 minutos. Todos los transmisores utilizan la misma frecuencia, 401.65 MHz, con poder efectivo de rendimiento de transmisión entre 0.25-1.0 watts. La tasa de repetición es limitada por ARGOS a 40 segundos. Codificada en cada transmisión se encuentra una señal de identificación, así como datos de los sensores en cada transmisor.

Las ubicaciones de los transmisores, las cuales son reportadas como latitud y longitud, son calculadas por ARGOS usando el efecto Doppler. A medida que el satélite se acerca al transmisor, la frecuencia de la señal transmitida aumenta; a medida que el satélite se aleja, la frecuencia baja. Por comparación de estos valores a la frecuencia conocida del transmisor, se puede calcular la distancia (y subsecuentemente el ángulo del transmisor relativo al satélite). Dado que la zona de recepción de cada satélite es cónica, el cono intersecta cualquier elevación particular en la Tierra en dos puntos. Estos dos puntos son reportados como las dos posibles ubicaciones del transmisor. Las ubicaciones presentadas por ARGOS son de exactitud variable y son clasificadas por ARGOS como 3, 2, 1, 0, A, B o Z con “3” el más exacto y “0” el menos exacto. Un número de factores afecta la calidad de la ubicación, incluyendo número de enlaces con el satélite, el tiempo transcurrido entre enlaces, y la calidad de señal. Las clases de ubicación (LC, por sus siglas en inglés) A, B y Z pocas veces tienen ubicaciones asignadas a ellas. LC 3, LC 2 y LC 1 son reportadas por ARGOS con precisiones de <150m, <350 m y <1000 m, respectivamente, mientras LC 0 es >1000m.

Las precisiones reportadas por ARGOS representan probabilidades y pueden variar. Por esto, es prudente que los investigadores realicen pruebas en campo de cada transmisor antes de su colocación. Es esencial realizar rutinariamente un análisis poste-

rior de las ubicaciones reportadas; cualquier ubicación poco realista deberá ser descartada. El criterio usado en la edición de la base de datos debe ser reportado en cualquier resultado publicado. Para una discusión más amplia sobre la precisión de la ubicación del satélite, se remite al lector a Keating *et al.* (1991) y Stewart (1997). Ya que ARGOS está continuamente mejorando la exactitud de sus ubicaciones reportadas, las críticas anteriores pueden resultar obsoletas.

La mayor ventaja de esta técnica es la habilidad de transmitir otros datos además del de la ubicación. Algunos fabricantes de transmisores de satélite los equipan con sensores capaces de reportar datos sobre la temperatura del agua, profundidad y tiempo de la inmersión, así como otra información. Con un microprocesador a bordo para controlar la adquisición de datos y recopilar los datos para transmisión, la única limitación es que la adquisición de datos es restringida a la capacidad de la plataforma de ARGOS para manejar el flujo de información. La mayor desventaja es el costo. Los transmisores cuestan US\$ 1,800-4,200 cada uno y el tiempo de uso del satélite se aproxima a US\$ 4,000 por año por transmisor (aunque también existen tarifas con descuento). Por otra parte, el análisis de datos requiere un técnico calificado. No obstante, el potencial para vigilar los movimientos y patrones de comportamiento de múltiples tortugas por un año o más, a grandes distancias, supera las desventajas ya que, por ejemplo, intentar reunir datos equivalentes por otros medios (p. ej., rastreo por bote) sería mucho más costoso y probablemente produciría datos de mala calidad.

## Sistemas Híbridos y Avanzados de Telemetría

El desarrollo del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés), el cual utiliza un sistema de satélites geosincrónicos y un receptor en tierra, tiene gran potencial para el rastreo de fauna. Los receptores comerciales son relativamente económicos (<US\$ 100 para diseños simples) y tienen una exactitud típica de 100 m (la precisión puede ser mejorada a unos pocos metros en áreas donde se dispone de recepción diferencial). Existe un interés general para adaptar el GPS al rastreo de fauna por lo que varias compañías y laboratorios están actualmente desarrollando instrumentos, se están probando varias configuraciones y ya se han activado algunos prototipos en especies terrestres. Un modelo de receptor GPS simplemente almacena ubicaciones a

intervalos predeterminados para su posterior recuperación, un segundo modelo retransmite la información sobre frecuencias de radio VHF (u otro de corto alcance), y un tercer modelo transmite datos de ubicación por medio del sistema de satélites ARGOS. La ventaja del último modelo es que permite una referencia de ubicación precisa en una sola transmisión, en contraste con las 3 a 5 transmisiones (enviadas cada 40 segundos por lo menos) que se requiere actualmente por ARGOS para establecer una posición. Al momento de escribir este capítulo, ninguno de estos sistemas estaba disponible comercialmente para telemetría de fauna marina.

## **Dispositivos para la Geolocalización**

Originalmente desarrolladas para mamíferos marinos (DeLong, 1992), estos instrumentos colectores de datos utilizan la duración del día y el tiempo de la salida del sol y la puesta del sol para estimar su latitud y longitud. El instrumento consiste en un reloj exacto y un microprocesador con sensores para medir presión, temperatura y nivel de luz. La precisión es usualmente de 1°, excepto durante periodos de equinoccio cuando puede ser más variable. Dos configuraciones están disponibles. La primera sólo almacena una ubicación en un intervalo preprogramado (usualmente diario) hasta que el dispositivo es recuperado, y el segundo (que pronto debe estar disponible comercialmente) es acoplado a un transmisor satelital y a un mecanismo de tiempo. En el último caso, el dispositivo se separa por sí sola y flota hacia la superficie para transmitir sus datos de ubicación almacenados utilizando las plataformas satelitales ARGOS. Actualmente estos dispositivos se usan para estudios de mamíferos marinos y peces migratorios. Las ventajas incluyen un costo razonable (aprox. US\$ 1,300 por dispositivo básico; US\$ 3,000-4,000 por la etiqueta de autoliberación) y capacidad de autolocalización independiente del tiempo en superficie. La principal desventaja es una resolución relativamente gruesa (1°) y la necesidad de recuperar el dispositivo.

## **Grabadoras Tiempo-Profundidad (TDR)**

Los TDRs, por sus siglas en inglés, son instrumentos electrónicos para el registro de datos, a menudo controlados por microprocesadores, que utilizan transductores para monitorear presión (profundidad) y almacenan datos en intervalos

predeterminados. Los resultados pueden ser integrados a lo largo del tiempo para determinar profundidad y tiempo de las inmersiones, tasas de ascenso y descenso, tiempo de fondo y otras variables de comportamiento. El TDR ha sido utilizado con éxito en el buceo de mamíferos marinos, aves y tortugas marinas (p. ej., Kooyman *et al.*, 1983, 1992; Eckert *et al.*, 1996). El precio es relativamente bajo considerando la resolución de los datos aunque también se requiere la recuperación de los instrumentos. La precisión es típicamente buena pero varía entre fabricantes. Deben incorporarse dentro del TDR algunas formas de rectificación del error del transductor (o dentro del software para el procesamiento de datos) para corregir los cambios en la calibración que puedan ocurrir durante la instalación del instrumento. Además, la mayoría de TDRs tiene resoluciones relativas a su intervalo máximo (aunque han habido mejoras significativas recientes por parte de algunos fabricantes). Por ejemplo, un fabricante informa una resolución de 0.25 m para un TDR con un intervalo de 0-500 m, 0.5 m para un intervalo de 0-1,000 m, y 1.0 para un TDR con un intervalo máximo de 2,000 m. Es importante elegir un TDR con la configuración más conveniente para especies objetivo y los intereses del investigador. Para análisis de intervalos en superficie y tiempos de inmersión se deberá tomar en cuenta la resolución del instrumento.

## **Otros Instrumentos Registradores de Datos**

El diseño básico de colector de datos utilizado con el TDR puede ser adaptado para registrar otra información tal como la temperatura, velocidad de nado, distancia recorrida o inclusive orientación sobre la brújula. Muchas de las desventajas relativas al entendimiento de las limitaciones en las medidas y su exactitud aplican como se describió para TDRs (arriba). Como es siempre el caso, se requiere de un entendimiento de la biología básica de la especie objeto. Por ejemplo, si un registrador de velocidad de nado tiene una velocidad mínima para iniciar el funcionamiento (la velocidad mínima a la cual el impulsor comienza a girar) de 1m/seg, entonces no sería útil para tortugas con velocidad de nado promedio por debajo de 1m/seg. Además, se debe tener cuidado en el análisis de datos, tomando en consideración que los registros de velocidad "0" pueden realmente representar periodos cuando la velocidad de la tortuga estaba por debajo de la velocidad mínima

del contador- la tortuga podría realmente no haber estado inmóvil.

## **Contador de Tasa Cardíaca (HRC)**

Los HRCs son un tipo especial de registrador de datos. Hay dos variedades disponibles: la grabadora analógica y el contador digital. La grabadora analógica es esencialmente una grabadora de electrocardiogramas (ECG) que, en la mayoría de los casos, usa una cinta magnética para registrar la información. La tasa de muestreo es usualmente alta (mayor a 60 muestras por segundo) y la unidad tiene todas las ventajas y desventajas de una señal de ECG estándar, incluyendo la incapacidad para evitar interferencia por fuentes miogénicas. Probablemente las desventajas más significativas son su tamaño (cuando es diseñado para su activación bajo el agua) y el hecho de que la mayoría solamente son capaces de grabar a lo largo de unos cuantos días. Los contadores digitales solamente registran la porción de la onda R de la señal ECG para integrarla sobre el tiempo. La ventaja es que sólo almacena información sobre la tasa cardíaca (y no la señal ECG completa) por que puede ser almacenada en un paquete pequeño y totalmente electrónico. La desventaja es la dificultad que estas unidades tienen en distinguir señales que interfieren con la onda R. Como resultado son altamente propensos a proporcionar datos falsos que a menudo no pueden ser detectados durante el análisis. En su configuración actual (como contadores), su uso no es recomendado. Sin embargo, conforme la tecnología avanza, los registradores digitales de ECG (en vez de contadores) se harán disponibles y la nueva tecnología seguramente resolverá muchos de los problemas de precisión inherentes a los contadores digitales.

## **Empaque del Instrumento y su Fijación**

Lo más esencial para el éxito de cualquier experimento de telemetría es el empaque y fijación del instrumento de adquisición de datos. Se debe de considerar un número de parámetros en el diseño. Primero y ante todo, el instrumento no debe interferir con el comportamiento o bienestar de la tortuga. Esta regla es inviolable, ya que esto es importante tanto desde el punto de vista ético como científico. Si el animal estudiado es perturbado por un instrumento fijado a él (limitado por arrastre excesivo o impedido

por dolor causado por el sistema de fijación del instrumento), no se comportará “normalmente” y los datos resultantes serán erróneos. Los fabricantes de los instrumentos a menudo dudan en fabricar paquetes de instrumentos siguiendo el diseño del investigador, debido a los factores de costo y la preocupación de que un nuevo empaque puede reducir el desempeño de un instrumento. Por lo tanto, resulta de la responsabilidad del investigador proponer nuevos empaques de instrumentos y realizar las pruebas de campo adecuadas.

Para minimizar las perturbaciones potenciales sobre el comportamiento, los empaques de los instrumentos deben tener un diseño lo más hidrodinámico posible. El perfil debe ser lo más bajo y liso posible, y debe contar con una forma de cuña tanto al frente como atrás (el diseño del extremo posterior del dispositivo es casi más importante que el frente, debido al efecto de turbulencia en el desempeño hidrodinámico). La forma apropiada se aproxima a una lágrima, o media lágrima (ahusada hacia la parte trasera). El tamaño y peso del paquete del transmisor son también importantes, pero menos que la forma hidrodinámica. En algunos casos hay ventajas en escoger un empaque comparativamente más grande si tiene un peso neutral en el agua, con un diseño eficiente. Se debe considerar también la velocidad de nado; el diseño hidrodinámico es mucho más crítico para el estudio de nadadores rápidos que para nadadores más lentos. La colocación del empaque en la tortuga es también importante. Se prefiere el tercio posterior del caparazón como punto de fijación, pero esto a menudo no es práctico para los transmisores que requieren maximizar la exposición de la antena.

La hidrodinámica del paquete también debe ser considerada con atención cuando se diseñen paquetes de instrumentos flotables. Demasiado a menudo los flotadores son diseñados y probados en un tanque, con poca consideración a su desempeño cuando es remolcado detrás de una tortuga. El resultado puede ser un dispositivo con resistencia al avance inaceptablemente elevado y/o un comportamiento inaceptable en el agua. Un error común es usar flotadores esféricos o con forma de bala. Cuando es jalado, un flotador esférico a menudo gira en espiral y crea gran resistencia; un flotador con forma de bala tiende a sumergirse debajo de la tortuga donde puede propiciar que se enrede en el fondo. Finalmente un problema hidrodinámico que frecuentemente se pasa por alto es la adhesión de epibiontes. La adhesión de

epibiontes incrementa la resistencia y reduce el desempeño del instrumento. Para uso a largo plazo (> 3 semanas), el paquete del instrumento (incluyendo la fijación) debe estar cubierto con una pintura de buena calidad que evite la adhesión de los epibiontes. El potencial para incrementar la resistencia al avance del instrumento causado por los epibiontes es alto.

Para la mayoría de las especies, la fijación de los instrumentos usando resina de poliéster o adhesivos epóxicos es adecuada. Beavers *et al.* (1992) proporciona una guía para trabajar con tortugas de carapacho duro. Hay una gran variedad de adhesivos que pueden asegurar un instrumento sobre las tortugas. Se deben de tomar cuidados con epóxicos de secado rápido. El calor generado por un epóxico de secado rápido puede quemar el tejido que se encuentra debajo del escudo afectado, causando un descascaramiento en pocos días. Para uso a corto plazo con instrumentos pequeños, se pueden perforar pequeños hoyos a través del borde exterior de los escudos marginales a través de los cuales el instrumento se fija con alambres y se pega en su lugar. Si la abrasión del escudo marginal es una preocupación, es prudente montar el instrumento bajo el margen del caparazón en vez de arriba. El uso de tornillos para anclar el instrumento al caparazón no es recomendado debido a la posibilidad de penetrar los pulmones. Los pulmones de una tortuga marina están sujetos directamente bajo el caparazón y pueden ocupar un área sorprendentemente grande. En el caso de tortugas laúd, se recomienda pegar el paquete del instrumento a un arnés flexible. En este caso es particularmente importante considerar la adhesión de los epibiontes. El arnés debe ser construido para permitir separarse si la tortuga llega a enredarse, y debe tener algún sistema para su autoliberación por si nunca se vuelve a recuperar la tortuga (ver Eckert y Eckert, 1986).

## Literatura Citada

Beavers, S. C., E. R. Cassano y R. A. Byles. 1992. Stuck on turtles: preliminary results from adhesive studies with satellite transmitters, p.135-138. *In:* M. Salmon y J. Wyneken (Compiladores), Proceedings of the Eleventh Annual Workshop on Sea Turtle Biology and Conservation. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-302. U. S. Department of Commerce.

Beavers, S. C. y E. R. Cassano. 1996. Movements and dive behavior of a male sea turtle (*Lepidochelys*

*olivacea*) in the Eastern Tropical Pacific. *Journal of Herpetology* 30:97-104.

Chan, E. H., S. A. Eckert, H. C. Liew y K. L. Eckert. 1991. Locating the interesting habitats of leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) in Malaysian waters using radio telemetry, p.133-138. *In:* A. Uchiyama y C. J. Amlaner (Editores), Biotelemetry XI. Proceedings of the Eleventh International Symposium on Biotelemetry, Waseda University Press.

Collazo, J. A. y S. P. Epperly. 1995. Accuracy tests for sonic telemetry studies in an estuarine environment. *Journal of Wildlife Management* 59:181-188.

Delong, R. L. 1992. Documenting migrations of northern elephant seals using day length. *Marine Mammal Science* 8:155-159.

Dizon, A. E. y G. H. Balazs. 1982. Radio telemetry of Hawaiian green turtles at their breeding colony. *Marine Fisheries Review* 44:13-20.

Eckert, S. A. en prensa. Perspectives on the use of satellite telemetry and other electronic technologies for the study of marine turtles, with reference to the first year long tracking of leatherback sea turtles. *In:* S. P. Epperly y J. Braun (Compiladores), Proceedings of the Eighteenth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation. NOAA Technical Memorandum U.S. Department of Commerce.

Eckert, S. A. y K. L. Eckert. 1986. Harnessing leatherbacks. *Marine Turtle Newsletter* 37:1-3.

Eckert, S. A., E. H. Chan, H. C. Liew y K. L. Eckert. 1996. Shallow water diving by leatherback turtles in the South China Sea. *Chelonian Conservation Biology* 2:237-243.

Eckert, S. A. y L. Sarti. 1997. Distant fisheries implicated in the loss of the world's largest leatherback nesting population. *Marine Turtle Newsletter* 78:2-7.

Hays, G. C. 1993. Assessing the nesting beach fidelity and clutch frequency of sea turtles by satellite tracking, p.203-213. *In:* I. G. Priede y S. M. Swift (Editores), *Wildlife Telemetry, Remote Monitoring and Tracking of Animals*. Ellis Horwood, New York.

Keating, K. A., W. G. Brewster y C. H. Key. 1991. Satellite telemetry: performance of animal tracking systems. *Journal of Wildlife Management* 55:160-171.

Keinath, J. A. 1986. A telemetric study of the surface and submersion activities of *Dermochelys coriacea*

- and *Caretta caretta*. Tesis de Maestría en Ciencias, University of Rhode Island.
- Kooyman, G. L., J. O. Billups y W. D. Farwell. 1983. Two recently developed recorders for monitoring diving activity of marine birds and mammals, p.4. *In*: A. G. Macdonald y I. G. Priede (Editores), *Experimental Biology at Sea*. Academic Press, New York.
- Kooyman, G. L., Y. Cherel, Y. Le Maho, J. P. Croxall, P. H. Thorson, V. Ridoux y C. A. Kooyman. 1992. Diving behavior and energetics during foraging cycles in king penguins. *Ecological Monographs* 62:143-163.
- Mendonça, M. A. y L. M. Ehrhart. 1982. Activity, population size and structure of immature *Chelonia mydas* and *Caretta caretta* in Mosquito Lagoon, Florida. *Copeia* 1982:161-167.
- Mendonça, M. T. 1983. Movements and feeding ecology of immature green turtles (*Chelonia mydas*) in a Florida Lagoon. *Copeia* 1983:1013-1023.
- Morreale, S. J., E. A. Standora, J. R. Spotila y F. V. Paladino. 1996. Migration corridor for sea turtles. *Nature* 384:319-320.
- Plotkin, P. T., R. A. Byles, D. C. Rostal y D. Wm. Owens. 1995. Independent vs. socially facilitated oceanic migrations of the olive ridley, *Lepidochelys olivacea*. *Marine Biology* 122:137-143.
- Stewart, B. S. 1997. Ontogeny of differential migration and sexual segregation in Northern elephant seals. *Journal of Mammalogy* 78:1101-1116.
- White G. C. y R. A. Garrott. 1986. Effects of biotelemetry triangulation error on detecting habitat selection. *Journal of Wildlife Management* 50:509-513.
- White, G. C. y R. A. Garrott. 1990. *Analysis of Wildlife Radio-Tracking Data*. Academic Press, Inc. Boston. 383 pp.
- Zimmerman, J. W. y R. A. Powell. 1995. Radiotelemetry error: Location error method compared with error polygons and confidence ellipses. *Canadian Journal of Zoology* 73:1123-1133.