

El uso de la telemetría acústica y satelital para estudiar elasmobranquios en América Latina: esfuerzos pasados y direcciones futuras

Claudia I Vázquez-Aguilar¹, Omar Santana-Morales², León F Álvarez-Sánchez³,
Luis Malpica-Cruz^{1,2*}

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del artículo:

Recibido 18 de diciembre 2024

Aceptado 5 de junio de 2025

Publicado 12 de septiembre de 2025

READ IN ENGLISH:

<https://doi.org/10.7773/cm.v2025.3541>

AUTOR DE CORRESPONDENCIA

* E-mail: lmalpica@uabc.edu.mx

¹ Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, 22860 Ensenada, Baja California, Mexico.

² EOCIMATI, A.C., 22880 Ensenada, Baja California, Mexico.

³ Unidad de Informática Marina, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 Coyoacán, Mexico City, Mexico.

RESUMEN. El estudio de los movimientos de animales marinos es crucial para comprender la diversidad de los ecosistemas oceánicos y el papel fundamental de cada especie. Actualmente, la telemetría acústica y satelital son métodos no invasivos ampliamente utilizados para rastrear animales marinos, incluidos los elasmobranquios (tiburones y rayas). A pesar de su importancia, no existe una revisión sistemática que evalúe el uso de la telemetría en estudios de elasmobranquios en América Latina. Realizamos una revisión bibliográfica y analizamos 106 publicaciones, de las cuales la mayoría correspondía a estudios de elasmobranquios en México ($n = 60$), Brasil ($n = 16$) y Ecuador ($n = 13$). El enfoque predominante entre los estudios fue el uso del hábitat ($n = 94$). Las marcas satelitales de archivo desprendibles (PAT o PSAT) y las marcas inteligentes de posición y temperatura (SPOT) se utilizaron principalmente para estudios a gran escala espacial (es decir, migración). La telemetría acústica fue más adecuada para rastrear el comportamiento a largo plazo en escalas espaciales comparativamente más pequeñas (por ejemplo, movimientos regionales). Aunque existen casos exitosos en la literatura, persisten desafíos debido a los altos costos financieros, el esfuerzo necesario para mantener equipos colaborativos y la limitada producción científica en América Latina. Nuestros hallazgos destacan la necesidad de mejorar la aplicación de los datos de telemetría para una gestión y conservación efectiva de los elasmobranquios, y reflejan la importancia de vincular los resultados de investigación con acciones prácticas frente a los desafíos actuales de manejo y conservación.

Palabras clave: telemetría, uso de hábitat, ecología del movimiento, tiburón, raya, elasmobranquios, manejo, conservación.

INTRODUCCIÓN

El estudio del movimiento animal y el uso del hábitat surge de la necesidad de comprender la vasta biodiversidad dentro de los ecosistemas marinos y el papel fundamental que cada especie desempeña en estos sistemas complejos. La telemetría es una herramienta clave para este propósito, ya que permite el seguimiento detallado de los movimientos y comportamientos de los animales en sus hábitats naturales mediante marcas satelitales, sensores de profundidad y sistemas de radiofrecuencia (Hussey et al. 2015). Esta herramienta proporciona datos precisos sobre migración, uso del hábitat e interacciones intra e interespecíficas (Lahoz-Monfort y Magrath 2021). Además, la telemetría ofrece información valiosa para apoyar la gestión pesquera, la conservación y las evaluaciones del

impacto humano en los ecosistemas marinos, contribuyendo así a los esfuerzos por proteger a los animales y preservar sus hábitats (Crossin et al. 2017, Brownscombe et al. 2022).

La historia de la telemetría en estudios de animales acuáticos se remonta a 1653, cuando Izaak Walton informó por primera vez sobre la colocación de marcas de cinta en las colas de salmones atlánticos juveniles (*Salmo salar*) para rastrear su migración tras la fase marina de desarrollo. Aunque se desconocen los materiales exactos que utilizó Walton, se presume que estas marcas de cinta eran marcas simples y flexibles hechas de papel o tela, diseñadas para ser visibles sobre el agua y facilitar la identificación cuando los peces eran recapturados (McFarlane et al. 1990, Walton y Cotton 1898). El primer estudio de telemetría submarina fue realizado por Trefethen (1956), quien también se centró en los salmónidos,

Acceso abierto

En línea ISSN: 2395-9053

Verificado con Similarity Check impulsado por iThenticate

<https://doi.org/10.7773/cm.v2025.3541>



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite compartir y adaptar el trabajo, siempre y cuando se dé el crédito apropiado a los autores originales y la fuente, proporcione un enlace a la licencia Creative Commons e indique si se realizaron cambios. Las figuras, tablas y otros elementos del artículo están incluidos en la licencia CC BY 4.0 del artículo, a menos que se indique lo contrario. Debe solicitar permiso al titular de los derechos de autor para utilizar material no cubierto por esta licencia. El título de la revista está protegido por derechos de autor propiedad de la Universidad Autónoma de Baja California, y el título y el logotipo de la revista no están sujetos a esta licencia.

específicamente en el salmón del Pacífico (*Oncorhynchus* spp.), con el objetivo de estudiar sus patrones de migración y comportamiento (Hockersmith y Beeman 2012). Desde entonces, los métodos de marcaje han evolucionado desde marcas naturales hasta marcas tipo espagueti (McFarlane et al. 1990, Kohler y Turner 2001), y de marcas sintéticas pasivas a marcas electrónicas que dependen de la telemetría por radio, la cual implica registrar y transmitir las lecturas de instrumentos (Rodgers 2001). Se han desarrollado marcas satelitales para adaptarse a las características morfológicas y de comportamiento únicas de los animales portadores, incluidos peces, mamíferos marinos, aves y reptiles (Hussey et al. 2015).

Chondrichthyes es una clase de peces cartilaginosos que incluye tiburones, rayas y mantas (96%), así como quimeras (4%) (Bigelow 1953, Hamlet 1999). Estas especies suelen presentar bajas tasas de crecimiento poblacional debido a su longevidad, madurez sexual tardía, largos periodos de gestación y baja fecundidad, lo que las hace altamente susceptibles a los impactos antropogénicos (Hamlet 1999, Barria y Colmenero 2019). Los elasmobranquios abarcan un gran número de especies depredadoras, desde el pequeño Tiburón Cornudo (*Heterodontus francisci*), habitante de arrecifes rocosos, hasta el Tiburón Blanco (*Carcharodon carcharias*), de gran tamaño, amplia distribución y comportamiento migratorio. Como depredadores meso- o tope en los ecosistemas que habitan, son reguladores naturales de la dinámica trófica (Young et al. 2015) e indicadores importantes de la salud y productividad de los ecosistemas marinos (Graham y Largier 1997, Croll et al. 2005, Wingfield et al. 2011). Sin embargo, los elasmobranquios son difíciles de estudiar debido a sus amplios rangos de hábitat, ciclos de vida y movilidad, que pueden abarcar cuencas oceánicas (Llopiz y Cowen 2008, Llopiz et al. 2010, Catalán et al. 2011, Llopiz y Hobday 2015).

Los estudios de telemetría en elasmobranquios, que comenzaron en 1965, han proporcionado información básica sobre los patrones diarios de movimiento y uso del espacio, distribuciones de profundidad, temperaturas corporales, velocidades de nado y parámetros fisiológicos, ofreciendo valiosos conocimientos sobre el estado poblacional, patrones de distribución, uso del hábitat y comportamiento (Stevens 1999, Hammerschlag 2011, Matley 2022, Renshaw 2023). Desde entonces, se han desarrollado herramientas de telemetría satelital, como las marcas inteligentes de transmisión de posición y temperatura (SPOT, por sus siglas en inglés) y las marcas de archivo satelital desprendibles (PAT o PSAT, por sus siglas en inglés), para rastrear los movimientos de elasmobranquios a gran escala espacial (Weng et al. 2005, Rigby et al. 2019, Hart et al. 2021, Hicks y Lobel 2024). Las marcas SPOT y PSAT, que se colocan externamente (Weng et al. 2005, Hart et al. 2021, Hicks y Lobel 2024), pueden proporcionar información única y valiosa sobre el comportamiento migratorio de los elasmobranquios (Bonfil y O'Brien 2015) (Tabla 1).

Las marcas SPOT rastrean el movimiento enviando un mensaje geográfico a un satélite cada vez que una aleta marcada rompe la superficie del agua, junto con datos de profundidad y

temperatura (Welch y Eveson 1999, Jewell et al. 2011, Rigby et al. 2019). Sin embargo, no archivan ni transmiten datos cuando el animal está sumergido, lo que puede resultar en vacíos de información dependiendo del comportamiento de salida a la superficie. Las marcas SPOT proporcionan datos de posición relativamente precisos (<250 m a 5 km), dependiendo del número de conexiones satelitales, siendo mayor el error de posición cuando hay menos conexiones.

Las marcas PSAT están programadas para desprenderse automáticamente del animal en una fecha predeterminada o cuando se exponen a condiciones específicas de profundidad (presión); una vez desprendidas, las marcas flotan hacia la superficie. En la superficie, la antena expuesta transmite datos resumidos a un satélite. Se puede descargar un archivo completo y detallado de datos si la marca es recuperada físicamente. Las marcas PSAT registran datos de luz (Welch y Eveson 1999), profundidad y temperatura. La información de geolocalización puede estimarse utilizando los niveles de luz registrados (amanecer y atardecer) en función de la posición latitudinal del individuo que porta la marca. Sin embargo, las estimaciones de geolocalización pueden tener errores de 60–80 km (Seitz et al. 2003). Por lo tanto, las marcas PSAT se utilizan principalmente para estudiar movimientos a gran escala y preferencias de temperatura y profundidad (Jewell et al. 2011, Rigby et al. 2019).

En los últimos años, la telemetría acústica se ha vuelto esencial para los esfuerzos de conservación de especies acuáticas en peligro de extinción (Cooke et al. 2008). Representa una alternativa útil en hábitats acuáticos profundos y estratificados verticalmente, ya que permite la transmisión y recepción de señales incluso cuando los animales marcados están sumergidos (Hartog et al. 2009, Strickland et al. 2020). La telemetría acústica, que emplea marcas de empresas como InnovaSea (anteriormente VEMCO; Boston, EE. UU.), Wildlife Computers (Redmond, EE. UU.) o Lotek Wireless (Newmarket, Canadá), se utiliza principalmente en estudios de elasmobranquios para examinar el comportamiento detallado y los patrones de movimiento en áreas específicas. Las marcas acústicas son especialmente eficaces para investigaciones a largo plazo, dado que algunas (por ejemplo, V16) pueden durar hasta 10 años, mientras que la mayoría de las marcas satelitales tienen una vida útil inferior a 1 año. La telemetría acústica también ha sido ampliamente utilizada para estudiar elasmobranquios desde principios de la década de 1980 (Klimley y Nelson 1984, Bessudo et al. 2011, Rodríguez-Arana-Favela 2018, Acosta-Pinzón 2023). Este tipo de telemetría se considera una herramienta poderosa para estudiar el comportamiento y la ecología espacial de los elasmobranquios sin alterar sus actividades naturales. Una vez que los animales se adaptan a las marcas acústicas, el estrés se minimiza (Zanella 2006), y se espera que los comportamientos registrados reflejen patrones naturales (Digby et al. 2013, Kessel et al. 2014).

Dentro del campo de la telemetría acústica se han desarrollado estrategias activas y pasivas. La telemetría acústica

Tabla 1. Comparación entre telemetría acústica y satelital: usos principales y rangos de detección

Metodología	Descripción	Uso principal	Rango de detección
Telemetría acústica (activa y pasiva)	Utiliza transmisores que emiten señales sonoras detectadas y archivadas por receptores o hidrófonos.	Estudios del comportamiento y movimiento a corto y mediano plazo que se enfocan principalmente en caracterizar el movimiento de individuos dentro de un área específica.	Limitado por la red de receptores o la distancia entre el receptor y el organismo marcado; las distancias típicamente abarcan decenas de kilómetros.
Telemetría satelital	Utiliza transmisores que envían datos a satélites, lo que permite el rastreo a largas distancias.	Estudios de movimientos y migraciones a largo plazo.	Global y limitado únicamente por la duración de la batería y la cobertura satelital.

pasiva implica la instalación de receptores en ubicaciones específicas por donde se espera que pasen los organismos marcados; por lo tanto, a menudo se requieren esfuerzos colaborativos a gran escala para desplegar redes de receptores con amplia cobertura espacial y así maximizar la recopilación de datos (Lahoz-Monfort y Magrath 2021, Dwyer et al. 2023, Lennox et al. 2023). La telemetría acústica activa consiste en seguir activamente a un organismo marcado desde una embarcación utilizando un hidrófono. Aunque generalmente cubre áreas y escalas temporales limitadas debido a las restricciones logísticas del seguimiento manual, la telemetría acústica activa ofrece la ventaja de proporcionar información clave sobre los movimientos detallados de unos pocos individuos (Bridges y Dorcas 2000, Heupel et al. 2006, Madalozzo et al. 2017).

Los métodos de marcaje acústico han contribuido a evaluar los patrones de movimiento a corto plazo y a recopilar información sobre el uso del hábitat de los tiburones en relación con variables ambientales (por ejemplo, profundidad y temperatura). No obstante, el uso de estos métodos requiere un esfuerzo intensivo y está limitado a nivel global, ya que implica el seguimiento *in situ* de un solo animal marcado a la vez, lo que restringe el número de animales que pueden ser marcados, la duración del seguimiento y conlleva un alto costo (por ejemplo, embarcación, combustible y personal) (Curtis 2008, Kessel et al. 2014). Los avances en la miniaturización de transmisores y en la duración de las baterías han mejorado la eficiencia y longevidad de los métodos acústicos pasivos y activos. Por ejemplo, los transmisores acústicos más pequeños duran desde unos días hasta semanas, mientras que los más grandes pueden funcionar entre 3 y 10 años (Hellström 2022). La selección del transmisor depende de factores como la especie de interés, el entorno del sitio de estudio y los objetivos de la investigación (Baker et al. 2019) (Tabla 2).

Algunos países, como Estados Unidos, Australia y Sudáfrica, destacan por sus investigaciones sobre el

comportamiento y los patrones de movimiento de elasmobranquios utilizando distintos tipos de telemetría (Heithaus et al. 2007, Yeiser et al. 2008, Jewell et al. 2011, Werry et al. 2012, Chapple et al. 2015, Hussey et al. 2015, Bruce et al. 2019). Estudios previos se han centrado en la ecología, fisiología, comportamiento, uso del hábitat y conectividad entre sistemas oceánicos y costeros de organismos individuales (Heupel et al. 2006, Espinoza et al. 2011, Werry et al. 2012, Becker et al. 2015), y han buscado integrar sus hallazgos en políticas y estrategias de gestión, incluyendo el diseño de áreas marinas protegidas (AMP) (Lombard et al. 2007). También se han realizado estudios para observar la estructura física de los océanos del mundo utilizando los sensores integrados en las marcas acústicas (Pauthenet et al. 2018).

En América Latina, el primer estudio que utilizó telemetría acústica pasiva para rastrear elasmobranquios fue realizado por Klimley y Nelson (1984), y se centró en evaluar los patrones de movimiento diarios del tiburón martillo común (*Sphyrna lewini*) en El Bajo Espíritu Santo, México. En dicho estudio, los autores rastrearon los movimientos de 13 tiburones marcados, revelando su nado constante a lo largo de la cresta del monte submarino durante el día y sus salidas y regresos rítmicos al área. Este enfoque resalta las ventajas del rastreo acústico pasivo como método de monitoreo remoto. En particular, el comportamiento animal no se ve alterado por la presencia de investigadores, mientras que el esfuerzo de muestreo se incrementa en el tiempo y el espacio, lo que mejora la probabilidad de detección de especies (Madalozzo et al. 2017). Además, el rastreo acústico pasivo permite monitorear organismos en distintos momentos y durante periodos de muestreo prolongados, lo que lo hace especialmente útil para revelar patrones de actividad en ciclos diarios y estacionales (Digby et al. 2013).

Tanto la telemetría satelital como la acústica han demostrado ser eficaces para estudiar los movimientos y el

Tabla 2. Diferencias entre los tipos de marcas más comúnmente utilizadas para el rastreo acústico y satelital de elasmobranquios en México y América Latina

Tipo de marca	Marcas inteligentes de posición y temperatura (SPOT)	Marcas de archivo satelital desprendibles (PAT o SPAT)	Marca acústica
Precisión de ubicación	Alta precisión. Proporciona ubicaciones en tiempo real cada vez que el animal emerge a la superficie.	Menos precisa y más propensa a errores que SPOT; estima la ubicación en función de la luz solar.	Alta precisión, dependiendo de la densidad de la red de receptores; permite ubicaciones precisas cuando el animal está dentro del rango de los hidrófonos.
Duración de la batería	Relativamente corta (semanas a meses) debido al alto consumo energético por transmisiones frecuentes de datos.	Relativamente larga (meses a años), ya que la transmisión ocurre solo cuando la marca se libera y llega a la superficie.	Larga (varios años) debido al bajo consumo energético de los transmisores acústicos y transmisiones poco frecuentes.
Método de fijación	Las marcas se colocan perforando la aleta dorsal del tiburón y permanecen fijas hasta que se agota la batería.	Las marcas se fijan al animal y se liberan después de un periodo predefinido; los datos recopilados se envían al satélite una vez que la marca llega a la superficie.	Los transmisores se fijan al animal, y los receptores se despliegan en el área de estudio, típicamente en el fondo marino o en boyas.
Frecuencia de transmisión	Frecuente (cada vez que el animal emerge a la superficie).	Transmite datos solo al liberarse o al romper la superficie del agua, lo que conserva la batería.	Variable. Los transmisores emiten señales periódicamente, y los receptores las captan cuando el animal está dentro del rango.

comportamiento animal, pero cada método presenta limitaciones específicas. Por ejemplo, las marcas satelitales pueden ser costosas, tener una resolución de datos relativamente baja dependiendo de la frecuencia de transmisión, y requerir que el animal emerja a la superficie (por ejemplo, marcas SPOT). En contraste, la telemetría acústica está limitada por su rango de detección y la necesidad de infraestructura de receptores in situ, lo que restringe su efectividad en hábitats remotos o de aguas profundas. Varios autores han recomendado el uso de transmisores híbridos o la combinación de múltiples tecnologías de telemetría dentro de un mismo estudio para superar estas limitaciones y proporcionar una comprensión más completa de los movimientos y comportamientos animales (Brien et al. 2010, Calverley y Downs 2015, Baker et al. 2019).

A pesar de su importancia, no se ha realizado una revisión sistemática que evalúe el uso actual de la telemetría en estudios de elasmobranquios en México y América Latina (Kohler et al. 2012). Esta revisión ofrece una visión general de cómo se ha utilizado la telemetría en estudios de elasmobranquios en América Latina, destaca los problemas actuales en torno a su uso y los desafíos para su implementación más amplia (e.g., costos, producción científica y enfoque), y examina en

qué medida ha contribuido a la gestión y conservación de los elasmobranquios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Revisión sistemática

Realizamos una revisión bibliográfica siguiendo el método PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (González-de-Dios et al. 2011), que implicó seguir un protocolo de revisión estandarizado utilizando códigos de búsqueda específicos como criterios de elegibilidad (e.g., elasmobranquios, trabajos latinoamericanos, idiomas o estado de publicación) (Moraga y Cartes-Velásquez 2015). Buscamos estudios en publicaciones tanto en literatura primaria como gris que involucraran únicamente elasmobranquios, realizados en América Latina, publicados en inglés, español o portugués. Desarrollamos un código de búsqueda electrónica (elasmobranchs OR elasmobranchii AND acoustic telemetry OR acoustic tracking AND spot OR pat AND LATAM) que se aplicó en 34 bases de datos y repositorios (Material Suplementario Tabla S1).

Extracción de datos

La información fue descargada manualmente y sistematizada en una hoja de cálculo, donde a cada artículo se le asignó un código de identificación y se registraron detalles como nombres de los autores, año de publicación, ubicación del estudio, tipo de marca, especies y enfoque. Se excluyeron de la revisión las publicaciones que no especificaban el tipo de marcaje utilizado, la especie o familia del espécimen, aquellas realizadas fuera de América Latina o que estudiaban peces no pertenecientes al grupo de los elasmobranquios. Una vez que todos los documentos fueron incluidos en la hoja de cálculo, los estudios se filtraron con una revisión manual de cada criterio para asegurar la calidad de la información.

Clasificación de la información

Primero clasificamos los estudios según la especie, país, año de publicación y el tipo de telemetría empleada. Además, las publicaciones se clasificaron en función de si eran literatura gris o primaria. También, en los estudios que abordaban más de una especie, el uso de la telemetría se evaluó para cada especie individualmente. También nos aseguramos de no repetir estudios, dado que algunos estudios fueron reportados inicialmente como literatura gris y posteriormente publicados en literatura primaria. Finalmente, los resultados de cada artículo fueron analizados comparando sus objetivos, métodos y resultados. El enfoque y objetivo de cada artículo fueron sintetizados en las siguientes categorías: uso del hábitat, etología, bienestar animal, dinámica poblacional, ecología trófica, efectos de las marcas, interacción con pesquerías y gestión y conservación (Tabla 3).

La categoría de uso del hábitat fue el enfoque más predominante y abarcó una gran variedad de aspectos ecológicos y biológicos, como patrones de distribución y fidelidad al sitio. Kirk (2018) definió el uso del hábitat como “la forma en que un animal utiliza o consume un conjunto de recursos físicos y biológicos”. Con base en esta definición, la mayoría de los estudios de telemetría sobre elasmobranquios podrían clasificarse razonablemente bajo la categoría de uso del hábitat. Sin embargo, para evitar redundancias y reflejar mejor la contribución científica principal de cada estudio, categorizamos cada artículo según su objetivo principal o aplicación directa, incluso si el estudio pudiera ser categorizado en categorías secundarias con base en la información en el título o el texto. Por ejemplo, si un estudio sobre patrones de movimiento tenía como objetivo analizar un comportamiento específico, como la caza, la alimentación o la reproducción, se clasificaba bajo la categoría de etología en lugar de uso del hábitat, ya que la interpretación del comportamiento era el enfoque central. Más específicamente, cuando los datos de movimiento se utilizaban principalmente para investigar el comportamiento alimenticio o la posición trófica, el estudio se clasificaba bajo la categoría de ecología trófica, la cual incluimos para destacar el uso emergente de la telemetría en este subcampo ecológico.

Se aplicó un razonamiento similar a la categoría de gestión y conservación. Aunque la mayoría de los artículos revisados hacían referencia a objetivos de conservación, en la práctica, solo unos pocos demostraban una aplicación directa de sus hallazgos a políticas de conservación o gestión de especies. Por lo tanto, solo se incluyeron en esta categoría los estudios cuyos resultados estaban claramente vinculados a acciones concretas de gestión. Por ejemplo, el estudio de Santana-Morales et al. (2021) fue el único que demostró una aplicación directa de datos de telemetría al desarrollo o implementación de políticas de gestión de especies (Tabla 3).

Las visualizaciones de datos fueron creadas con el paquete de R ‘ggsankey’ (Sjoberg 2021) en el entorno de programación R v. 3.2.4 (R Core Team 2018).

RESULTADOS

Se analizaron un total de 106 publicaciones científicas que emplearon telemetría acústica y satelital para estudiar poblaciones de elasmobranquios. Las publicaciones incluyeron artículos científicos de literatura primaria ($n = 79$), así como tesis de licenciatura, tesis de posgrado e informes técnicos de Áreas Naturales Protegidas provenientes de literatura gris ($n = 27$). De estos, 20 estudios reportaron organismos marcados o rastreados dentro de los límites geográficos de California del Sur ($n = 13$); Florida ($n = 5$); Atlántico nororiental templado, Atlántico noroccidental templado y Atlántico suroccidental ($n = 1$); e Indo-Pacífico ($n = 1$), con algunos movimientos de organismos que se extendieron hacia regiones marinas latinoamericanas (Weng et al. 2007, Domeier y Nasby-Lucas 2008, Medellín-Ortiz 2008, Jorgensen et al. 2012, Tyminski et al. 2015, Stewart 2016, Byrne et al. 2017, Coelho et al. 2017, Vaudo et al. 2017, Benson et al. 2018, Dewar et al. 2018, Byrne et al. 2019, Nasby-Lucas 2019, Rooker 2019, Nasby-Lucas 2020, Anderson et al. 2021, O’Sullivan 2022, Spurgeon 2022, Kanive et al. 2023, Logan et al. 2024).

La telemetría satelital fue el método más reportado en los estudios de literatura primaria, seguida por la telemetría acústica pasiva (Fig. 1, 2; Tabla S2 del material suplementario). Nueve artículos emplearon más de un tipo de telemetría (Bessudo et al. 2011, Afonso 2013, Afonso y Hazin 2014, Acuña-Marrero 2017, Chávez-Calderón 2017, Rosende-Pereiro y Corgos 2018, Ruíz-Sakamoto 2018, Salinas-de-León et al. 2022, Logan et al. 2024). México ($n = 31$) presentó el mayor número de estudios que incluyeron telemetría satelital, seguido por Brasil ($n = 13$).

Algunos artículos combinaron telemetría acústica activa y pasiva ($n = 3$), mientras que otros ($n = 6$) integraron métodos acústicos y satelitales. Una proporción considerable de los reportes ($n = 18$) provino de literatura gris almacenada en bibliotecas universitarias y repositorios (Fig. 2). De estos, solo 5 reportes (4.59% del total analizado), concretamente 1 de Brasil, 1 de Argentina y 3 de México, fueron posteriormente publicados como literatura primaria (Hoyos-Padilla

Tabla 3. Criterios utilizados para definir las categorías con las que se clasificaron los estudios de telemetría en elasmobranquios incluidos en esta revisión.

Categoría	Definición general	Criterio principal de inclusión	Aclaración del enfoque específico
Uso del hábitat	Uso o consumo de recursos físicos y biológicos por parte del animal (Kirk 2018).	Estudios cuyo objetivo principal es describir patrones espaciales como movimientos, migraciones, fidelidad al sitio o uso del hábitat.	Aunque casi todos los estudios de telemetría implican movimiento, solo se incluyeron aquellos donde este fue el enfoque principal (no subordinado a otro propósito).
Etología	Estudio del comportamiento animal en su entorno natural.	Estudios que utilizan datos de telemetría para analizar comportamientos específicos como reproducción, caza, alimentación o interacciones sociales.	Si el objetivo principal era comprender un comportamiento particular (e.g., alimentación), el estudio se categorizó aquí, incluso si usaba datos de movimiento.
Ecología trófica	Estudio de las relaciones tróficas y la posición del organismo en la red alimentaria.	Estudios que investigan el comportamiento alimentario, los hábitos tróficos o el uso del espacio relacionado con la búsqueda de alimento.	Si el comportamiento analizado estaba específicamente relacionado con la alimentación, el estudio se colocó aquí para resaltar este uso emergente de la telemetría.
Bienestar animal	Evaluación del impacto del marcaje o rastreo en la salud, el comportamiento o la fisiología del animal.	Estudios que evalúan los efectos adversos del marcaje, las tasas de supervivencia post-liberación o el estrés relacionado con la manipulación.	Incluyó estudios metodológicos centrados en el bienestar del individuo marcado.
Dinámica poblacional	Procesos que afectan el tamaño, la estructura o la distribución espacial de las poblaciones.	Estudios centrados en la conectividad poblacional, las tasas de supervivencia, el reclutamiento, la estructura poblacional o la dispersión.	Clasificados aquí cuando el objetivo principal era comprender los procesos a nivel poblacional más que el comportamiento o movimiento individual.
Efectos de las marcas	Impacto de los dispositivos de telemetría en el desempeño del animal o funcionamiento del dispositivo.	Estudios que evalúan el rendimiento de las marcas, duración, precisión, tasas de desprendimiento o impactos mecánicos/fisiológicos.	Diferían de los estudios enfocados en el bienestar animal en que el enfoque era más técnico o metodológico.
Interacción con pesquerías	Interacciones entre elasmobranquios y las actividades pesqueras.	Estudios que documentan la captura incidental, movimientos hacia zonas de pesca o riesgos de interacción con artes o esfuerzo pesquero.	Incluyeron estudios orientados a identificar la superposición con actividades pesqueras.
Manejo y conservación	Aplicación directa de los resultados a especies, manejo de hábitats, o a políticas de conservación.	Solo estudios cuyos hallazgos fueron utilizados explícitamente para desarrollar, influir o implementar acciones concretas de manejo o políticas.	Aunque muchos estudios mencionaban la conservación como motivación general, solo se incluyeron aquellos con impacto documentado hacia el manejo (e.g., Santana-Morales).

et al. 2009, Afonso 2013, Nalesso 2014, De Wysiecki 2023, Beauvais 2024).

Del total de estudios, la mayoría se realizaron en México ($n = 60$), principalmente en la región de Baja California y Baja California Sur ($n = 40$) (Tabla S2 del material suplementario; Fig. 3), seguido por Brasil ($n = 16$) y Ecuador (Islas Galápagos) ($n = 13$) (Fig. 3). Las especies estudiadas abarcaron distintos taxones y mostraron gran variabilidad en comportamiento, hábitos alimenticios y distribución. Las especies más estudiadas fueron el Tiburón Blanco (*Carcharodon carcharias*) ($n = 24$), el Tiburón Martillo común (*Sphyrna lewini*) ($n = 23$), el Tiburón Tigre (*Galeocerdo cuvier*) ($n = 14$) y el Tiburón Ballena (*Rhincodon typus*) ($n = 12$; Tabla S2 del material suplementario; Fig. 3).

La categoría de enfoque más frecuente fue el uso de hábitat ($n = 94$; Fig. 3). Se encontró que el Tiburón Blanco fue la única especie utilizada para estudiar los efectos del marcaje (Domeier et al. 2012), además de aspectos relacionados con su manejo y conservación (Santana-Morales et al. 2021). Asimismo, es importante destacar que solo 11 (10.4%) de los 106 documentos revisados se enfocaron en rayas (Mantarraya Oceánica [*Mobula birostris*], Mantarraya Diablo de Aleta Curva [*Mobula tarapacana*], Mantarraya Diablo de Cola Espinosa [*Mobula japonica*], Mantarraya Pigmea de Munk [*Mobula munkiana*], Raya Hociuda [*Dipturus chilensis*] y la raya *Dipturus trachyderma*, mientras que 95 (89.6%) se centraron en tiburones; no se encontraron registros de quimeras (Tabla S2, Material suplementario).

DISCUSIÓN

La presente revisión bibliográfica abordó la aplicación actual de la telemetría acústica y satelital para el estudio de elasmobranquios en América Latina. Los primeros resultados derivados del uso de esta tecnología en la región surgieron en 2006, y su utilización ha ido en aumento desde entonces. México destaca como el país que ha empleado esta tecnología con mayor frecuencia. Sin embargo, la mayoría de los reportes y estudios disponibles en repositorios institucionales corresponden a literatura gris y no están publicados como literatura primaria, lo que limita el alcance y el impacto de dichos trabajos. Además, el principal enfoque de investigación ha sido la ecología de las especies objetivo, principalmente para dilucidar el uso de hábitat. Solo se identificó un estudio con un enfoque distinto.

Actualmente, revisiones globales como las de Renshaw et al. (2023) y Hammerschlag et al. (2011) se han centrado en estudios de marcaje satelital en tiburones. Las revisiones de Kessel et al. (2014) y Matley et al. (2022) presentaron un análisis integral sobre cómo se han considerado y evaluado los rangos de detección acústica en animales acuáticos. No obstante, no se ha encontrado ningún trabajo que evalúe los distintos tipos de telemetría aplicados al estudio de elasmobranquios, no solo tiburones o fauna acuática en general, en México o América Latina.

El perfeccionamiento de las técnicas de marcaje y rastreo resulta complejo debido a los altos costos asociados (Hebblewhite y Haydon 2010, Skupien et al. 2016), la falta de información básica (Thiem et al. 2010) y el número limitado de revisiones exhaustivas centradas específicamente en el uso de telemetría en peces marinos (Cooke et al. 2011). Ante este panorama, diversos autores han sugerido combinar tecnologías de telemetría, transmisores híbridos y otros dispositivos dentro de un mismo estudio, con el fin de superar las limitaciones inherentes a cada tecnología de rastreo (Brien et al. 2010, Calverley y Downs 2015, Baker et al. 2019).

Telemetría satelital

En América Latina, los estudios que emplean telemetría satelital han permitido esclarecer las relaciones entre los movimientos y comportamientos de especies como el Tiburón Ballena (*Rhincodon typus*) y el Tiburón Azul (*Prionace glauca*), sus presas y características oceanográficas limitantes, como la profundidad de la zona de mínimo oxígeno en la columna de agua (Oñate-González 2008, Mayorga-Martínez 2011).

Desde que se rastreó al primer tiburón equipado con transmisor en 1965, al menos 26 especies de tiburones han sido monitoreadas, incluyendo especies demersales, pelágicas, de arrecife y de aguas profundas, así como algunas de las especies de mayor tamaño, como el Tiburón Blanco (*Carcharodon carcharias*), el Tiburón Ballena (*Rhincodon typus*) y el Tiburón Bocón (*Megachasma pelagios*) (Nelson et al. 1997). Estos hallazgos han contribuido significativamente al fortalecimiento de los esfuerzos de manejo y conservación. Esta revisión destaca las múltiples aplicaciones de los estudios de telemetría (Fig. 1).

En Brasil, Queiroz (2020) y otros autores han utilizado datos provenientes de pescadores, registros de captura e imágenes de video en conjunto con datos de telemetría para estudiar el uso de hábitat del Tiburón de Galápagos (*Carcharhinus galapagensis*). En el Golfo de México, Ajemian et al. (2020) emplearon telemetría para identificar diferencias en los patrones de distribución del Tiburón Tigre (*Galeocerdo cuvier*) relacionadas con la ontogenia y la estacionalidad, así como para evaluar la variabilidad en las tasas de movimiento regional vinculadas al sexo. Estas aplicaciones diversas de la telemetría demuestran su versatilidad para abordar múltiples objetivos de investigación y ofrecer información crítica sobre la ecología y el comportamiento de distintas especies.

Telemetría acústica

Si bien la elucidación del uso de hábitat fue el enfoque principal de la mayoría de los estudios de telemetría, algunos trabajos se centraron en comprender la etología y la ecología trófica de los elasmobranquios, incluyendo especies como el Tiburón Tigre, el Tiburón Blanco y otros tiburones

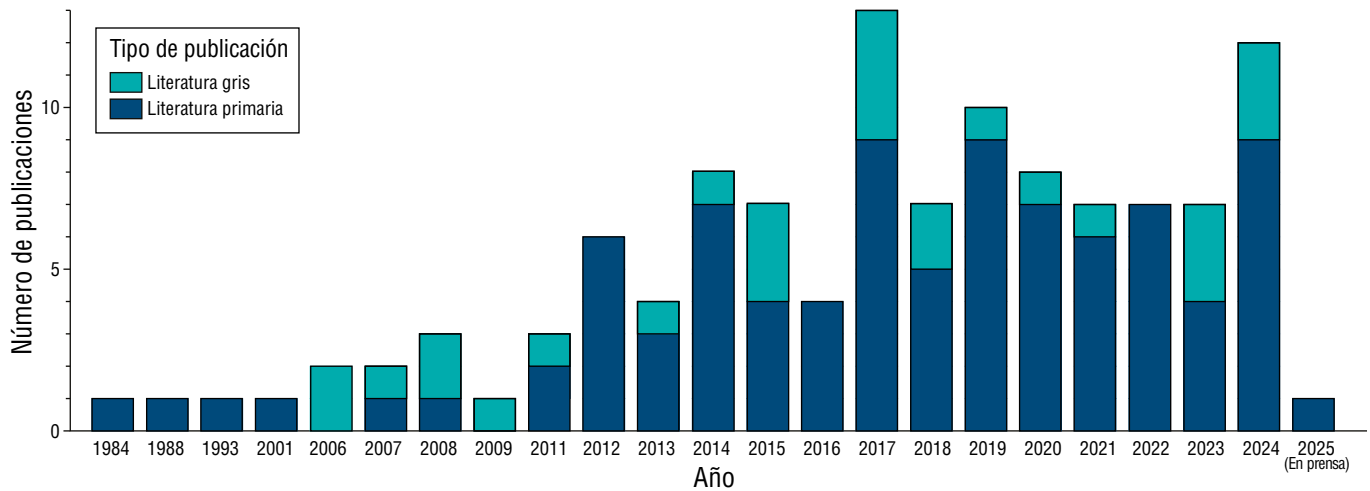


Figura 1. Número de artículos científicos (literatura primaria) y literatura gris publicados usando la telemetría por año en América Latina.

(Papastamatiou et al. 2022, Salinas-de-León et al. 2022, Rangel 2023). Además, y más recientemente, aunque el objetivo principal de estudios como los de Herrera et al. (2024) y Nalesso et al. (2019) fue comprender el uso de hábitat y los patrones de movimiento de los tiburones, dichos trabajos también evidenciaron una clara intención de aplicar los hallazgos de la telemetría a resultados concretos y tangibles en materia de manejo y conservación. Por ejemplo, la investigación sobre ecología trófica realizada por Rangel (2023) en Brasil integró el análisis de isótopos estables con datos de telemetría para informar estrategias de conservación adaptadas a nichos dietarios específicos y requerimientos energéticos de las especies. De manera similar, Salinas-de-León et al. (2019) combinaron telemetría satelital con datos tróficos para identificar zonas críticas de alimentación y cambios ontogenéticos en la dieta del Tiburón Tigre en la Reserva Marina de Galápagos, lo cual contribuyó a la delimitación y ajuste de zonas protegidas que siguen vigentes en la actualidad. En otro ejemplo, Afonso et al. (2014) examinaron la partición espacial mediada por la dieta entre elasmobranquios pelágicos, destacando cómo las diferencias dietarias interespecíficas influyen en los patrones de uso espacial, lo que ha respaldado el manejo pesquero basado en ecosistemas en la región.

Estos ejemplos demuestran cómo los datos de telemetría pueden trascender el conocimiento académico para influir en acciones de manejo prácticas y duraderas en América Latina, cuando se integran con otros enfoques. De hecho, tales esfuerzos pueden servir como modelo para la protección a mayor escala de elasmobranquios y otras especies marinas en peligro. Una mejor comprensión de la ecología del movimiento de los tiburones es esencial para diseñar estrategias de protección eficaces (Heupel 2015). Entre las medidas más efectivas y ampliamente recomendadas se encuentra la reducción de interacciones con pesquerías, lo cual disminuye directamente las presiones antropogénicas sobre estas especies vulnerables.

En México, la mayoría de las aplicaciones de la telemetría acústica activa se han centrado en la evaluación del uso de hábitat, siendo el Tiburón Blanco la especie más estudiada (Hoyos-Padilla 2009, Hoyos-Padilla 2016, Aquino-Baleytó et al. 2021, Santana-Morales 2021). En menor medida, también se han realizado estudios sobre el Tiburón Martillo común, la Mantarraya Oceánica y el Tiburón Nariz Afilada del Pacífico (*Rhizoprionodon longurio*) (Trejo-Ramírez 2017, Rosende-Pereiro 2018, Ruíz-Sakamoto 2018). Además, los primeros registros del uso de telemetría acústica activa en América Latina se remontan a la Isla Guadalupe, México, en 2006 (Hoyos-Padilla 2009). El uso de telemetría en esta localidad ha sido fundamental para mejorar la comprensión de la biología y ecología del Tiburón Blanco en aguas mexicanas, así como para informar planes de conservación y manejo (Hoyos-Padilla 2016).

Baja California, México, un lugar clave en el uso de la telemetría

Debido a su proximidad geográfica con Estados Unidos y al trabajo colaborativo entre instituciones, Baja California destaca como la región de América Latina con el mayor número de publicaciones que utilizan tecnología de rastreo por telemetría. Algunos estudios han reportado que individuos marcados en California, EE.UU., cruzaron la frontera hacia Baja California, México (Domeier et al. 2012, Nasby-Lucas 2019, White et al. 2019, Anderson et al. 2021, Kanive et al. 2023;). Estos estudios respaldan que Baja California sea la región con más estudios de telemetría en esta revisión, y uno de los puntos geográficos destacados para el cual Renshaw et al. (2023) y Hussey et al. (2015) reportaron un mayor número de aplicaciones de telemetría satelital y acústica, respectivamente.

Además, entre los estudios binacionales incluidos en este análisis, todos ($n = 18$), excepto uno, usaron telemetría

para describir los movimientos del Tiburón Mako (*Isurus oxyrinchus*) a lo largo de las costas de California y Baja California (e.g., Medellín Ortiz 2008), y corresponden a literatura primaria. Este hecho resalta el mayor uso de la telemetría como herramienta de investigación en la región y el número de contribuciones de literatura científica primaria en comparación con las de otras regiones de América Latina.

México es el único país en América Latina donde se han realizado estudios que abordan específicamente los efectos del marcaje (Domeier et al. 2012) y otros aspectos relacionados a la gestión y conservación de elasmobranquios (Santana-Morales et al. 2021). Estas 2 líneas de investigación se han enfocado en el Tiburón Blanco en la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe, ubicada dentro de la Zona Económica Exclusiva del Pacífico mexicano. Esta reserva es uno de los pocos sitios conocidos a nivel mundial de agregación crítica para el Tiburón Blanco, que potencialmente funciona como zona de alimentación, apareamiento o crianza (Domeier y Nasby-Lucas 2012, Malpica-Cruz et al. 2013, Hoyos-Padilla 2016). Las condiciones ecológicas de la reserva permitieron el desarrollo de turismo de vida silvestre en forma de una actividad de buceo en jaula, la cual fue reconocida internacionalmente y operó desde principios del año 2000 hasta su suspensión oficial en enero de 2023 por decreto del gobierno mexicano (Meza-Arce et al. 2020, SEMARNAT 2023). Por lo tanto, la combinación de intereses geográficos, ecológicos y económicos probablemente permitió que la región de Baja California se convirtiera en una de las áreas más estudiadas mediante telemetría en América Latina.

Desafíos específicos para la investigación con telemetría en América Latina

Hellström et al. (2022) consideran que la telemetría acústica moderna es una tecnología de bajo costo y que no requiere mantenimiento. Sin embargo, su implementación en América Latina todavía enfrenta desafíos logísticos, ya que los costos a menudo superan los presupuestos promedio locales de investigación, y la financiación se dirige típicamente hacia especies carismáticas (Habib et al. 2014). Además, la importancia de seleccionar la tecnología de telemetría más apropiada, en función de factores como el tipo de hábitat, las especies objetivo y los objetivos de investigación, ha sido identificada como un factor que limita la adopción de estas herramientas por parte de los investigadores (Jacob y Rudran 2012, Skupien et al. 2016). Estas limitaciones, junto con el contexto económico regional, restringen el desarrollo general de la investigación marina y la implementación y el avance específicos de estudios de telemetría enfocados en elasmobranquios y otras especies marinas en América Latina.

Muchos autores, incluyendo Cooke et al. (2008), Obrist et al. (2010) y Dwyer et al. (2023), consideran el seguimiento acústico como una tecnología útil y de bajo costo que reduce el costo total de monitoreo. Sin embargo, la telemetría sigue siendo costosa para la mayoría de los países latinoamericanos

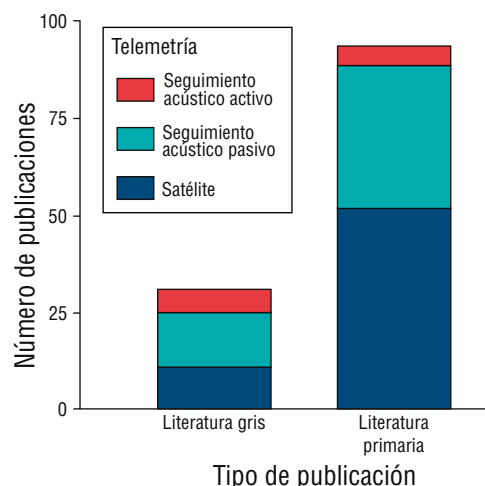


Figura 2. Número de artículos científicos (literatura primaria) y literatura gris que emplearon los diferentes tipos de telemetría en América Latina.

con presupuestos de investigación limitados, donde los costos de adquirir nueva tecnología deben equilibrarse con la necesidad de una recopilación de datos más intensiva, frecuente y detallada (Zenteno-Savín 2007). Además, los transmisores y otros elementos (e.g., antenas y receptores de señal) aumentan el costo de este tipo de investigación.

En el caso de la telemetría satelital, los transmisores GPS se consideran la adquisición de equipo más costosa, y su uso también implica tarifas de transmisión de datos satelitales (Franklin et al. 2009, Skupien et al. 2016). A diferencia de la telemetría acústica, la telemetría satelital no está limitada por la distribución espacial de las estaciones de monitoreo. Skupien et al. (2016) informaron que cada transmisor GPS usado en su estudio costó aproximadamente \$1,225 (USD), mientras que cada transmisor VHF costó \$183-300 (USD). Estas diferencias de precio pueden hacer que la telemetría satelital sea restrictiva en cuanto a costos.

Además, los costos de las expediciones de campo, como combustible, salarios, reparaciones, duración, comida para el personal científico y logística, pueden igualar o incluso superar la cantidad invertida en los dispositivos de telemetría. Por esta razón, los investigadores que usan telemetría satelital a menudo recurren a tamaños de muestra más pequeños, lo que puede comprometer la solidez del diseño experimental y limitar las inferencias a nivel de población (Hebblewhite y Haydon 2010, Recio et al. 2011).

Dejando de lado los aspectos técnicos, desde una perspectiva histórica, los investigadores que no son hablantes nativos de inglés enfrentan mayores dificultades para producir publicaciones científicas (Ferguson y Pérez-Llantada 2011). Por lo tanto, gran parte de la producción científica de América Latina se publica en revistas locales clasificadas como de bajo impacto y en idiomas distintos del inglés (Ramírez-Castañeda 2020). De hecho, el 22.6% de los documentos revisados en

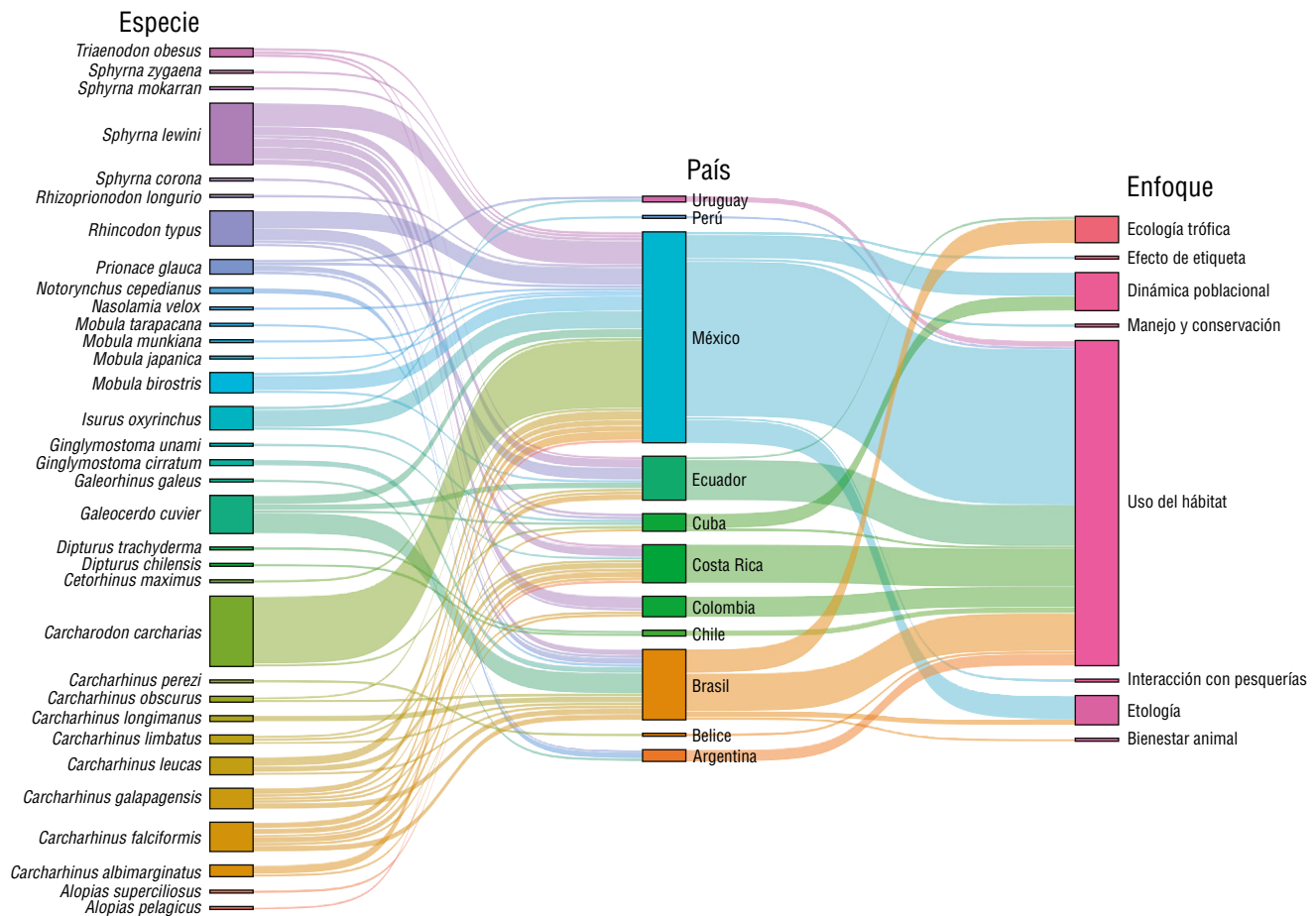


Figura 3. Relación entre especies, enfoque de investigación con el uso de telemetría y países en América Latina.

este estudio fueron tesis o informes en español o portugués, y el 79.1% no formó parte de la literatura científica en inglés, lo que limita su visibilidad y relevancia. Algunas medidas dirigidas a reducir este sesgo incluyen la provisión de servicios de revisión y traducción por parte de revistas internacionales, la posibilidad de publicar tanto en inglés como en el idioma nativo del investigador (Meneghini y Packer 2007), y la promoción de cursos gratuitos de redacción en inglés en las universidades (Ferguson y Pérez-Llantada 2011).

Además de los problemas de idioma, la inversión de los gobiernos latinoamericanos en investigación influye directamente en la producción académica (Man et al. 2004). Como tal, las limitaciones presupuestarias restringen el estudio y el monitoreo, y las altas tarifas de publicación provocan que información valiosa permanezca en la literatura gris o detrás de barreras de pago, limitando así la audiencia. Lawson (2015) sugiere que se deberían ofrecer exenciones de tarifas a autores de países de ingresos bajos o medios para impulsar la publicación de contenido científico de alta calidad en países con muchas especies de interés para la conservación. Nuestros resultados mostraron que, entre 2006 y 2024, solo algunos años incluyeron publicaciones de literatura primaria centradas en la telemetría de elasmobranchios, mientras que

se generó literatura gris en todos los años, lo que refuerza la conclusión de que, en América Latina, mucha información científica (e.g., tesis de posgrado) no llega a la revisión por pares ni a la publicación en revistas científicas (Man et al. 2004, Lawson 2015).

Habib et al. (2014) llevaron a cabo una revisión similar a la nuestra, centrada en la aplicación de la tecnología de telemetría en India, analizando 82 estudios que cubrieron 47 especies de 4 clases taxonómicas. La mayoría de estos estudios tuvieron como objetivo recopilar datos primarios, como el área de distribución, los patrones de migración, el comportamiento de movimiento y las preferencias de hábitat. Estos hallazgos se alinean con nuestra revisión de estudios de telemetría en América Latina. Las revisiones identificaron desafíos similares para ambas regiones que también son destacados por Darras et al. (2016) y Kessel et al. (2014). Los problemas clave incluían la duración de la batería y el reemplazo de marcas, tamaños de muestra pequeños, liberación prematura de marcas, dificultades para obtener permisos de captura y marcaje de animales, datos de localización imprecisos, desafíos en la transmisión de datos y limitaciones en el alcance de los hidrófonos acústicos (Tablas 1 y 2).

Telemetría para el manejo y conservación de elasmobranquios

Evaluar la aplicación de los resultados obtenidos de estudios de telemetría sobre elasmobranquios en América Latina es importante. Por ejemplo, aunque la mayor parte de la literatura publicada que usa telemetría en elasmobranquios afirma tener implicaciones para la conservación, la conexión entre la mayoría de estos estudios y acciones directas de conservación y manejo es, en el mejor de los casos, débil (Campbell et al. 2015, Jeffers y Godley 2016, Mitchell et al. 2023). Sin embargo, muchos científicos afirman que más datos llevarán a un mejor manejo y sugieren evaluar el retorno de inversión de la investigación que utiliza dispositivos de telemetría portados por animales (Maxwell et al. 2015).

De hecho, la telemetría proporciona información valiosa sobre el comportamiento migratorio de los elasmobranquios y puede informar sobre las interacciones con actividades humanas. Por ejemplo, el modelo regional desarrollado por Salazar-Cervantes (2023) usando telemetría satelital tiene como objetivo comprender los factores biológicos y ambientales que determinan la distribución del Tiburón Jaquetón Sedoso (*Carcharhinus falciformis*) y su superposición con las actividades pesqueras en el Pacífico mexicano. El Tiburón Jaquetón Sedoso no está oficialmente protegido en México; por lo tanto, los estudios de manejo enfocados que se basen en estos resultados iniciales podrían mejorar el manejo pesquero, reducir la captura incidental y desarrollar estrategias de conservación para asegurar la supervivencia de sus poblaciones.

Aunque la Norma Oficiales Mexicana NOM-059 (DOF 2010) protege especies como el Tiburón Blanco, el Tiburón Peregrino (*Cetorhinus maximus*) y el Tiburón Ballena, y la NOM-029-Pesca (DOF 2007) regula la explotación de tiburones como recurso pesquero, aún existe evidencia de sobreexplotación de elasmobranquios (Mollet et al. 1996, Holts 1998, Castro 1999, Shivji et al. 2005, Smith et al. 2009, Cartamil 2011, Santana-Morales et al. 2020, Sosa-Nishizaki et al. 2020). Además, siguen existiendo brechas significativas de conocimiento respecto al comportamiento, la migración y la ecología general de los elasmobranquios (Sundström et al. 2001, Heupel y Simpfendorfer 2008).

Los elasmobranquios son los vertebrados vivientes más antiguos de la Tierra (Edwards et al. 2019) y, en su mayoría, siguen una estrategia K (Conrath y Musick 2012), lo que los hace particularmente vulnerables a las presiones antropogénicas resaltando así la importancia de llenar vacíos de conocimiento mediante la telemetría. Por ejemplo, para especies oceánicas de gran tamaño, como el Tiburón Sedoso que presenta una baja tasa de renovación poblacional (Márquez et al. 2006) y enfrenta amenazas por sobrepesca y cambios ambientales, el conocimiento derivado de la telemetría puede resultar crítico para el diseño e implementación de acciones de manejo adecuadas. Para especies oceánicas, una matriz de receptores acústicos bien diseñada puede ser más apropiada

para dilucidar mejor áreas críticas y patrones migratorios (Lennox et al. 2023). Por lo tanto, las diferencias entre especies costeras y oceánicas, especialmente en lo que respecta al comportamiento espacial y uso del hábitat, pueden influir en la efectividad de la telemetría acústica, particularmente en lo relativo a la ubicación de los receptores y el rango de detección.

Dado el potencial de los datos derivados de la telemetría para informar la gestión de recursos y la conservación, y los altos costos involucrados en la recopilación de estos datos (e.g., costos financieros de equipos y salarios, el potencial de mortalidad y reducción en la producción reproductiva [Cooke et al. 2008, Brownscombe et al. 2022]), es esencial evaluar el beneficio de conservación de la telemetría. Además, se debe incentivar a los investigadores a utilizar tecnología de telemetría con una lógica de conservación subyacente, orientando su investigación hacia la recopilación de información robusta que impulse acciones para maximizar la supervivencia y persistencia de las especies y mejorar la gestión de los recursos pesqueros (Liang et al. 2023).

Dado la gran inversión y las complejas necesidades logísticas que implica aplicar la telemetría al estudio de los elasmobranquios, se recomienda una planificación cuidadosa (e.g., Habib et al. 2014). De hecho, cuando las preguntas de investigación se eligen cuidadosamente y el estudio está bien diseñado, una sola implementación de marcas puede generar conocimientos significativos. Los datos de telemetría también pueden revelar información inesperada que puede orientar los esfuerzos de manejo. Por ejemplo, Bradley et al. (2019) revelaron que la pesca ilegal de tiburones dentro de un santuario fue detectada cuando las marcas satelitales transmitieron desde una embarcación, lo que indicó captura ilegal, transferencia en el mar y transporte hacia las Islas Marshall. Tolotti et al. (2015) utilizaron la telemetría para evaluar la vulnerabilidad del Tiburón Oceánico Punta Blanca (*Carcharhinus longimanus*) a las pesquerías de palangre en Brasil. Así mismo, Aldana-Moreno et al. (2020) realizaron un monitoreo basado en telemetría en el Parque Nacional Revillagigedo, una reserva marina de no extracción y Sitio Patrimonio Mundial de la UNESCO, para apoyar la conservación del Tiburón Martillo común, una especie en peligro de extinción. Estos ejemplos sugieren cómo la telemetría puede proporcionar información útil para fines de manejo y conservación futuros, más allá de abordar únicamente preguntas ecológicas y biológicas.

Además, en muchos casos, las trayectorias de seguimiento se comparten en sitios web de acceso público o a través de otros medios, lo que ayuda a mejorar la diseminación y el impacto al facilitar una comunicación científica efectiva (Cooke et al. 2017). Existen pocos ejemplos de análisis de datos que informen decisiones de manejo, y aún menos que utilicen datos derivados de telemetría (Liang et al. 2023). Por ejemplo, estudios de rastreo por radio en el Reino Unido revelaron que la especie protegida del Murciélago Común Pipistrello (*Pipistrellus pipistrellus*), que no puede estudiarse

fácilmente mediante observación directa únicamente, explota hábitats específicos y, por lo tanto, requiere medidas de conservación adaptadas (Davidson-Watts y Jones 2006). Además, la investigación en biotelemetría sobre salmones anádromos (*Salmo* spp. y *Oncorhynchus* spp.) ha permitido comprender mejor los eventos de mortalidad derivados de interacciones de pesca con devolución (catch-and-release) y los factores fisiológicos que influyen en el fracaso reproductivo, lo que a su vez justifica restricciones sobre poblaciones explotadas (Nielsen et al. 2009, Drenner et al. 2012).

Aunque la tecnología de telemetría se ha utilizado cada vez más a nivel mundial para la gestión y formulación de políticas sobre especies marinas, su aplicación en América Latina sigue siendo limitada, con pocos estudios que logren vincular eficazmente la investigación con acciones concretas de conservación en el caso de los elasmobranquios. Si bien algunas revisiones se han centrado en distintos taxones y discuten el potencial de la telemetría para la gestión de especies marinas (e.g., Cooke et al. 2008 [salmones]; Jeffers y Godley 2016 [tortugas marinas]) y para la formulación de políticas (Barton et al. 2015), estas subestiman la importancia de establecer vínculos claros entre la investigación y las acciones de manejo.

Solo Mascarenhas-Junior (2023) de la Universidad Federal de Pernambuco, Brasil, ha abordado verdaderamente la necesidad de contextualizar la información desde una perspectiva latinoamericana en su revisión de estudios de telemetría sobre movimientos y uso espacial de cocodrilos. Sin embargo, actualmente no existe ningún trabajo que aborde de manera similar a los elasmobranquios. Santana-Morales et al. (2021) fueron los únicos autores que proporcionaron una aplicación de conservación y manejo basada en telemetría acústica activa para un elasmobranquio (i.e., Tiburón Blanco) en América Latina. Si bien siempre existirá la necesidad de investigación ecológica básica y de descubrimiento, la actual crisis de biodiversidad y conservación (Ceballos 2020, Dulvy 2021, WWF 2024, Wang 2025), combinada con el número limitado de estudios de telemetría con aplicaciones directas a la conservación y manejo de elasmobranquios, destaca una brecha crítica en la necesidad de estos datos.

Dada la inversión global en dispositivos de telemetría para especies amenazadas, tenemos una obligación ética y práctica de maximizar las inversiones en investigación que beneficien la conservación. Es necesario desarrollar nuevas herramientas y marcos conceptuales que vinculen eficazmente el creciente catálogo de datos derivados de la telemetría animal con acciones de conservación y manejo, a fin de mejorar el retorno de inversión en conservación de estas técnicas. Enfoques que evalúan explícitamente cómo los datos científicos pueden reducir la incertidumbre en la toma de decisiones, como el análisis del valor de la información, deberían desempeñar un papel cada vez más importante en la orientación de las prioridades de investigación. Por ejemplo, combinar datos de telemetría con otros conjuntos de datos ambientales y basados en amenazas puede ayudar

a identificar áreas de alta preocupación para el manejo y orientar los esfuerzos de reducción de captura incidental para especies en peligro crítico. Este enfoque de análisis y uso de datos también podría aplicarse a otras poblaciones y especies para las cuales se dispone de datos de telemetría y otras fuentes puntuales (Liang 2023).

Traducido al español por los autores.

DECLARACIONES FINALES

Material Suplementario

El material suplementario de este estudio puede descargarse en: <https://www.cienciasmarinas.com.mx/index.php/cmarinas/article/view/3541/420421222>.

Financiamiento

Este estudio fue financiado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) que otorgó una beca doctoral a CIV-A (CVU 847758).

Disponibilidad de datos

Los datos de este estudio están disponibles para el autor de correspondencia previa solicitud razonable.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: CIVA, LMC; Curación de datos: CIVA; Análisis formal: CIVA; Investigación: CIVA, LMC; Metodología: CIVA, LMC; Supervisión: LMC, OSM; Validación: LMC, OSM; Visualización: CIVA, LFAS; Redacción–borrador original: CIVA, LMC; Redacción–revisión y edición: CIVA, LMC, OSM, LFAS.

Uso de herramientas de IA

La primera autora de este trabajo utilizó herramientas de inteligencia artificial únicamente para verificar la traducción de términos técnicos durante la redacción de la versión en inglés del manuscrito.

REFERENCIAS

- Acosta-Pinzón S. 2023. Análisis de la distribución hábitat y riesgo de los tiburones martillo en la zona de Malpelo mediante Modelos Ocultos de Markov [dissertation]. [Colombia]: National University of Colombia. 64 p.
- Acuña-Marrero D, Smith ANH, Hammerschlag N, Hearn A, Anderson MJ, Calich H, Pawley MDM, Fischer C, Salinas-de-León P. 2017. Residency and movement patterns of

- an apex predatory shark (*Galeocerdo cuvier*) at the Galapagos Marine Reserve. *PLoS One*. 12(8):e0183669.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183669>
- Afonso AS. 2013. Bioecology and movement patterns of sharks off Recife, Brazil: applications in the mitigation of shark attack hazard [dissertation]. [Portugal]: Universidade do Algarve. 296 p.
- Afonso AS, Hazin FHV. 2014. Post-release survival and behavior and exposure to fisheries in juvenile tiger sharks, *Galeocerdo cuvier*, from the South Atlantic. *J Exp Mar Biol Ecol*. 454:55-62.
<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2014.02.008>
- Ajemian MJ, Drymon JM, Hammerschlag N, Wells RD, Street G, Falterman B, MacKinney JA, Driggers III WB, Hoffmayer ER, Fischer C, et al. 2020. Movement patterns and habitat use of tiger sharks (*Galeocerdo cuvier*) across ontogeny in the Gulf of Mexico. *PLoS One*. 15(7):e0234868.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234868>
- Aldana-Moreno A, Hoyos-Padilla EM, González-Armas R, Galván-Magaña F, Hearn A, Klimley AP, Winram W, Becerril-García EE, Ketchum JT. 2020. Residency and diel movement patterns of the endangered scalloped hammerhead *Sphyrna lewini* in the Revillagigedo National Park. *J Fish Biol*. 96(2): 543-548.
<https://doi.org/10.1111/jfb.14239>
- Anderson JM, Clevestine AJ, Stirling BS, Burns ES, Meese EN, White CF, Logan RK, O'Sullivan J, Rex PT, May (III) J. 2021. Non-random co-occurrence of juvenile white sharks (*Carcharodon carcharias*) at seasonal aggregation sites in southern California. *Front Mar Sci*. 8:688505.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2021.688505>
- Aquino-Baleytó M, Leos-Barajas V, Adam T, Hoyos-Padilla M, Santana-Morales O, Galván-Magaña F, González-Armas R, Lowe CG, Ketchum JT, Villalobos H. 2021. Diving deeper into the underlying white shark behaviors at Guadalupe Island, Mexico. *Ecol Evol*. 11(21):14932.
<https://doi.org/10.1002/ece3.8178>
- Baker CJ, Franklin CE, Campbell HA, Irwin TR, Dwyer RG. 2019. Ontogenetic shifts in the nesting behaviour of female crocodiles. *Oecologia*. 189(4):891-904.
<https://doi.org/10.1007/s00442-019-04382-4>
- Barriá C, Colmenero AI. 2019. La pesca de tiburones y rayas en el noroeste del Mediterráneo, una situación compleja. *Der Anim: Forum Anim Law Stud*. 10(4):0105-111.
<https://doi.org/10.5565/rev/da.468>
- Barton PS, Lentini PE, Alacs E, Bau S, Buckley YM, Burns EL, Driscoll DA, Guja LK, Kujala H, Lahoz-Monfort JJ, et al. 2015. Guidelines for using movement science to inform biodiversity policy. *Environ Manag*. 56:791-801.
<https://doi.org/10.1007/s00267-015-0570-5>
- Beauvais S. 2024. Patrones de movimiento y uso del hábitat del tiburón punta plateada (*Carcharhinus albimarginatus*) en el Archipiélago de Revillagigedo [dissertation]. [Mexico]: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 70 p.
- Becker A, Holland M, Smith JA, Suthers IM. 2015. Fish movement through an estuary mouth is related to tidal flow. *Estuaries Coast*. 39(4):1199-1207.
<https://doi.org/10.1007/s12237-015-0043-3>
- Benson JF, Jorgensen SJ, O'Sullivan JB, Winkler C, White CF, Garcia-Rodriguez E, Sosa-Nishizaki O, Lowe CG. 2018. Juvenile survival, competing risks, and spatial variation in mortality risk of a marine apex predator. *J Appl Ecol*. 55(6):2888-2897.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.13158>
- Bessudo S, Soler GA, Klimley PA, Ketchum J, Arauz R, Hearn A, Guzmán A, Calmettes B. 2011. Vertical and horizontal movements of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) around Malpelo and Cocos Islands (Tropical Eastern Pacific) using satellite telemetry. *Bol Investig Mar Cost*. 40(Suppl 1):91-106.
- Bigelow HB, William CS. 1953. Sawfishes, guitarfishes, skates, rays, and chimaeroids. Fishes of the western North Atlantic. *Sears Found Mar Res Mem*. 1(2):xv 588.
- Bonfil R, O'Brien S. 2015. Strongly directional and differential swimming behavior of an adult female white shark, *Carcharodon carcharias* (Chondrichthyes: Lamnidae) from Guadalupe Island, Mexico. *Lat Am J Aquat Res*. 43(1):267-273.
<https://doi.org/10.3856/vol43-issue1-fulltext-24>
- Bradley D, Mayorga J, McCauley DJ, Cabral RB, Douglas P, Gaines SD. 2018. Leveraging satellite technology to create true shark sanctuaries. *Conserv. Lett*. 12(2):e12610.
<https://doi.org/10.1111/conl.12610>
- Brien MA, Webb GR, Manolis CH, Lindner G, Ottway D. 2010. A method for attaching tracking devices to crocodilians. *Herp Rev*. 41(3):305.
- Bridges AS, Dorcas ME. 2000. Temporal variation in anuran calling behavior: implications for surveys and monitoring Programs. *Copeia*. 2000(2):587-592.
[https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2000\)000\[0587:TVIACB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2000)000[0587:TVIACB]2.0.CO;2)
- Brownscombe JW, Griffin LP, Brooks JL, Danylchuk AJ, Cooke SJ, Midwood JD. 2022. Applications of telemetry to fish habitat science and management. *Can J Fish Aquat Sci*. 79(8):1347-59.
<https://doi.org/10.1139/cjfas-2021-0101>
- Bruce BD, Harasti D, Lee K, Gallen C, and Bradford R. 2019. Broad-scale movements of juvenile white sharks *Carcharodon carcharias* in eastern Australia from acoustic and satellite telemetry. *Mar Ecol Prog Ser*. 619:1-15.
<https://doi.org/10.3354/meps12969>
- Byrne ME, Cortés E, Vaudo JJ, Harvey GCM, Sampson M, Wetherbee BM, Shivji M. 2017. Satellite telemetry reveals higher fishing mortality rates than previously estimated, suggesting overfishing of an apex marine predator. *Proc Biol Sci*. 284(1860):20170658.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0658>
- Byrne ME, Vaudo JJ, Harvey GCM, Johnston MW, Wetherbee BM, Shivji M. 2019. Behavioral response of a mobile marine predator to environmental variables differs across ecoregions. *Ecography*. 42(9):1569-1578.
<https://doi.org/10.1111/ecog.04463>
- Calverley PM, Downs CT. 2015. Movement and home range of Nile crocodiles in Ndumo game reserve, South Africa. *Koedoe Afr Prot Area Cons Sci*. 57(1):1-3.
<https://doi.org/10.4102/koedoe.v57i1.1234>
- Campbell HA, Beyer HL, Dennis TE, Dwyer RG, Forester JD, Fukuda Y, Lynch C, Hindell MA, Menke N, Morales JM, et al. 2015. Finding our way: on the sharing and reuse of animal telemetry data in Australasia. *Sci Total Environ*. 534:79-84.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.089>
- Cartamil D, Santana-Morales O, Escobedo-Olvera M, Kacev D, Castillo-Geniz L, Graham JB, Rubin RD, Sosa-Nishizaki O. 2011. The artisanal elasmobranch fishery of the Pacific coast of Baja California, Mexico. *Fish Res*. 108(2-3):393-403.
<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.01.020>
- Castro JJ, Woodley CM, Brudek RL. 1999. A preliminary evaluation of the status of shark species. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Fisheries Technical Paper, No. 380. 72 p.
- Catalán I, Tejedor A, Alemany F, Reglero P. 2011. Trophic ecology of Atlantic bluefin tuna *Thunnus thynnus* larvae. *J Fish Biol*. 78(5):1545-1560.
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.02960.x>
- Ceballos G, Ehrlich PR, Raven PH. 2020. Vertebrates on the brink as indicators of biological annihilation and the sixth mass extinction. *Proc Natl Acad Sci USA*. 117(24):13596-13602.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1922686117>

- Chapple TK, Gleiss AC, Jewell OJD, Wikelski M, Block BA. 2015. Tracking sharks without teeth: a non-invasive rigid tag attachment for large predatory sharks. *Anim Biotelemetry*. 3:14. <https://doi.org/10.1186/s40317-015-0044-9>
- Chávez-Calderón E. 2017. Movimientos y uso del hábitat del tiburón toro (*Carcharhinus leucas*) en el estero Coyote, Guanacaste, Costa Rica [dissertation]. [Costa Rica]: Universidad Nacional de Costa Rica. 83 p.
- Coelho R, Domingo A, Carlson J, Natanson L, Cortes E, Miller P. 2017. Satellite tagging of shortfin mako for habitat use and post-release survival: progress report for SRDCP. *Collect Vol Sci Pap ICCAT*. 74(4):1601-1612.
- Conrath CL, Musick JA. 2012. Reproductive Biology of Elasmobranchs. In: Carrier JC, Musick JA, Heithaus MR (eds.), *Biology of Sharks and Their Relatives*. 2nd ed. Boca Raton (USA): CRC Press. p. 291-312.
- Cooke SJ, Hinch SG, Farrell AP, Patterson DA, Miller-Saunders K, Welch DW, Donaldson MR, Hanson KC, Crossin GT, Mathes MT, et al. 2008. Developing a mechanistic understanding of fish migrations by linking telemetry with physiology, behavior, genomics and experimental biology: an interdisciplinary case study on adult Fraser River sockeye salmon. *Fisheries*. 33(7):321-339. <https://doi.org/10.1577/1548-8446-33.7.321>
- Cooke SJ, Woodley CM, Brad Eppard M, Brown RS, Nielsen JL. 2011. Advancing the surgical implantation of electronic tags in fish: a gap analysis and research agenda based on a review of trends in intracoelomic tagging effects studies. *Rev Fish Biol Fisheries*. 21:127-151. <https://doi.org/10.1007/s1160-010-9193-3>
- Cooke SJ, Gallagher AJ, Sopinka NM, Nguyen VM, Skubel RA, Hammerschlag N, Boon S, Young N, Danylchuk AJ. 2017. Considerations for effective science communication. *Facets*. 2(1):233-248. <https://doi.org/10.1139/facets-2016-0055>
- Croll DA, Marinovic B, Benson S, Chavez F. 2005. From wind to whales: trophic links in a coastal upwelling system. *Mar Ecol Prog Ser*. 289:117-130. <https://doi.org/10.3354/meps289117>
- Crossin GT, Heupel MR, Holbrook CM, Hussey NE, Lowerre-Barbieri SK, Nguyen VM, Raby GD, Cooke SJ, Young N, Iverson SJ, et al. 2017. Acoustic telemetry and fisheries management. *Ecol Appl*. 27(4):1031-1049. <https://doi.org/10.1002/eap.1533>
- Cuevas JM, García M, Di Giacomo E. 2014. Diving behaviour of the critically endangered tope shark *Galeorhinus galeus* in the Natural Reserve of Bahía San Blas, northern Patagonia. *Anim Biotelemetry*. 2:11. <https://doi.org/10.1186/2050-3385-2-11>
- Curtis TH. 2008. Distribution, movements, and habitat use of bull shark (*Carcharhinus leucas*, Müller and Henle 1839) in the Indian River Lagoon system, Florida [dissertation]. [USA]: University of Florida. 135 p.
- Darras K, Putts P, Rembold K, Tschardt T. 2016. Measuring sound detection spaces for acoustic animal sampling and monitoring. *Biol. Conserv*. 201:29-37. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.06.021>
- Davidson-Watts I, Jones G. 2006. Differences in foraging behaviour between *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774) and *Pipistrellus pygmaeus* (Leach, 1825). *J Zool*. 268(1):55-62. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2005.00016.x>
- Dewar H, Wilson SG, Hyde JR, Snodgrass OE, Leising A, Lam CH, Dokomos R, Wraith JA, Bograd SJ, Van Sommeran SR. 2018. Basking shark (*Cetorhinus maximus*) movements in the eastern North Pacific determined using satellite telemetry. *Front Mar Sci*. 5:163. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00163>
- De Wysiecki AM, Barnett A, Cortés F, Wiff R, Merlo PJ, Jaureguizar AJ, Awruch CA, Trobbiani GA, Irigoyen AJ. 2023. The essential habitat role of a unique coastal inlet for a widely distributed apex predator. *R Soc Open Sci*. 10(10):230667. <https://doi.org/10.1098/rsos.230667>
- Digby A, Towsey M, Bell BD, Teal PD, Giuggioli L. 2013. A practical comparison of manual and autonomous methods for acoustic monitoring. *Methods Ecol Evol*. 4(7):675-683. <http://dx.doi.org/10.1111/2041-210X.12060>
- [DOF] Diario Oficial de la Federación. 2007. Norma Oficial Mexicana, NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento. Mexico City (Mexico): Secretaría de Gobernación. 44 p.
- [DOF] Diario Oficial de la Federación. 2010. Norma Oficial Mexicana, NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Mexico City (Mexico): Secretaría de Gobernación. 78 p.
- Domeier ML, Nasby-Lucas N. 2008. Migration patterns of white sharks *Carcharodon carcharias* tagged at Guadalupe Island, Mexico, and identification of an eastern Pacific shared offshore foraging area. *Mar Ecol Prog Ser*. 370:221-237. <https://doi.org/10.3354/meps07628>
- Domeier ML, Nasby-Lucas N. 2012. Sex-specific Migration Patterns and Sexual Segregation of Adult White Sharks, *Carcharodon carcharias*, in the Northeastern Pacific. In: Domeier ML (ed.), *Global Perspectives on the Biology and Life History of the White Shark*. Boca Raton (USA): CRC Press. p. 133-146.
- Domeier ML, Nasby-Lucas N, Lam CH. 2012. Fine-scale Habitat Use by White Sharks at Guadalupe Island, Mexico. In: Domeier ML (ed.), *Global Perspectives on the Biology and Life History of the White Shark*. Boca Raton (USA): CRC Press. p. 121-132.
- Drenner SM, Clark TD, Whitney CK, Martins EG, Cooke SJ, Hinch SG. 2012. A synthesis of tagging studies examining the behaviour and survival of anadromous salmonids in marine environments. *PLoS One*. 7(3):e31311. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031311>
- Dulvy NK, Pacoureau N, Rigby CL, Pollom RA, Jabado RW, Ebert DA, Finucci B, Pollock CM, Cheok J, Derrick DH, et al. 2021. Overfishing drives over one-third of all sharks and rays toward a global extinction crisis. *Curr Biol*. 31(21):4773-4787.e8. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.08.062>
- Dwyer RG, Rathbone M, Foote DL, Bennett MB, Butcher PA, Otway NM, Loudon BM, Jaine FRA, Franklin CE, Kilpatrick C. 2023. Marine reserve use by a migratory coastal shark, *Carcharias taurus*. *Biol Conserv*. 283:110099. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110099>
- Edwards JE, Hiltz E, Broell F, Bushnell PG, Campana SE, Christiansen JS, Devine BM, Gallant JJ, Hedges KJ, MacNeil AM, et al. 2019. Advancing research for the management of long-lived species: a case study on the Greenland shark. *Front Mar Sci*. 6:87. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00087>
- Espinoza M, Farrugia TJ, Webber DM, Smith F, Lowe CG. 2011. Testing a new acoustic telemetry technique to quantify long-term, fine-scale movements of aquatic animals. *Fish Res*. 108(2-3):364-371. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.01.011>
- Ferguson G, Pérez-Llantada C, Plo R. 2011. English as an international language of scientific publication: A study of attitudes. *Wor Eng*. 30(1):41-59. <https://doi.org/10.1111/j.1467-971x.2010.01656.x>
- Franklin CE, Read MA, Kraft PG, Liebsch N, Irwin SR, Campbell HA. 2009. Remote monitoring of crocodilians: implantation,

- attachment and release methods for transmitters and data-loggers. *Mar Freshw Res.* 60(4):284-292.
<https://doi.org/10.1071/MF08153>
- González-de-Dios J, Buñuel-Álvarez JC, Aparicio-Rodrigo M. 2011. Listas guía de comprobación de revisiones sistemáticas y metaanálisis: declaración PRISMA. *Evid Pediatr.* 7:97.
- Graham WM, Largier JL. 1997. Upwelling shadows as nearshore retention sites: the example of northern Monterey Bay. *Cont Shelf Res.* 17(5):509-532.
[https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(96\)00045-3](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(96)00045-3)
- Habib B, Shrotriya S, Sivakumar K, Sinha PR, Mathur VB. 2014. Three decades of wildlife radio telemetry in India: a review. *Anim Biotelemetry.* 2:1-10.
<https://doi.org/10.1186/2050-3385-2-4>
- Hamlett WC. 1999. Sharks, Skates, and Rays: The Biology of Elasmobranch Fishes. 1st ed. Baltimore (USA): Johns Hopkins University Press. 528 p.
- Hammerschlag N, Gallagher AJ, Lazarre DM. 2011. A review of shark satellite tagging studies. *J Exp Mar Biol Ecol.* 398(1-2):1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2010.12.012>
- Hart KM, Guzy JC, Smith BJ. 2021. Drivers of realized satellite tracking duration in marine turtles. *Mov Ecol.* 9:1.
<https://doi.org/10.1186/s40462-020-00237-3>
- Hartog JR, Patterson TA, Hartmann K, Jumppanen P, Cooper S, Bradford R. 2009. Developing Integrated Database Systems for the Management of Electronic Tagging Data. In: Nielsen JL, Arrizabalaga H, Fragoso N, Hobday A, Lutcavage M, Sibert J (eds). *Tagging and tracking of marine animals with electronic devices.* Amsterdam (Netherlands): Springer Press. p. 367-80.
- Hearn AR, Green J, Román MH, Acuna-Marrero D, Espinoza E, Klimley AP. 2016. Adult female whale sharks make long-distance movements past Darwin Island (Galapagos, Ecuador) in the Eastern Tropical Pacific. *Mar Biol.* 163(10):214.
<https://doi.org/10.1007/s00227-016-2991-y>
- Hebblewhite M, Haydon DT. Distinguishing technology from biology: a critical review of the use of GPS telemetry data in ecology. 2010. *Phi Trans Roy Soc B: Bio Sci.* 365(1550):2303-12.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0087>
- Heithaus MR, Wirsing AJ, Dill LM, Heithaus LI. 2007. Long-term movements of tiger sharks satellite-tagged in Shark Bay, Western Australia. *Mar Biol.* 151:1455-1461.
<https://doi.org/10.1007/s00227-006-0583-y>
- Hellström G, Lennox R, Bertram M, Brodin T. 2022. Acoustic telemetry. *Curr Biol.* 32(16):R863-R865.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.05.032>
- Herrera MA, Cardeñoso D, Papastamatiou YP, Vaudo J, Bermúdez-Rivas C, Shivji M. 2024. High residency of a critically endangered hammerhead shark to a small area: implications for marine protected area management and design. *Mar Ecol Prog Ser.* 743:47-63.
<https://doi.org/10.3354/meps14658>
- Heupel MR, Semmens JM, Hobday AJ. 2006. Automated acoustic tracking of aquatic animals: scales, design and deployment of listening station arrays. *Mar Freshwater Res.* 57:1.
<https://doi.org/10.1071/MF05091>
- Heupel MR, Simpfendorfer CA. 2008. Movement and distribution of young bull sharks *Carcharhinus leucas* in a variable estuarine environment. *Aquat Biol.* 1(3):277-289.
<https://doi.org/10.3354/ab00030>
- Heupel MR, Simpfendorfer CA, Espinoza M, Smoothey AF, Tobin A, Peddemors V. 2015. Conservation challenges of sharks with continental scale migrations. *Front Mar Sci.* 2:1-7.
<http://doi.org/10.3389/fmars.2015.00012>
- Hicks GL, Lobel PS. 2024. An examination of the effects of dorsal fin-mounted SPOT on *Carcharodon carcharias*, the Great White Shark. *Fishes.* 9(6):231.
<https://doi.org/10.3390/fishes9060231>
- Hockersmith EE, Beeman JW. 2012. A History of Telemetry in Fishery Research. In: Adams NS, Beeman JW, Eiler JH (eds.), *Telemetry Techniques: A User Guide for Fisheries Research.* Bethesda (USA): American Fisheries Society. p. 13-34.
- Hoyos-Padilla EM. 2009. Patrones de movimiento del tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*) en Isla Guadalupe, México [dissertation]. [México]: Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. 156 p.
- Hoyos-Padilla EM, Klimley AP, Galván-Magaña F, Antoniou A. 2016. Contrasts in the movements and habitat use of juvenile and adult white sharks (*Carcharodon carcharias*) at Guadalupe Island, Mexico. *Anim Biotelemetry.* 4:14.
<https://doi.org/10.1186/s40317-016-0106-7>
- Hueter RE, Tyminski JP, Pina-Amargos F, Morris JJ, Abierno AR, Angulo Valdés JA, López-Fernández N. 2018. Movements of three female silky sharks (*Carcharhinus falciformis*) as tracked by satellite-linked tags off the Caribbean coast of Cuba. *Bull Mar Sci.* 94(0):000-000.
<https://doi.org/10.5343/bms.2017.1162>
- Hussey NE, Kessel ST, Aarestrup K, Cooke SJ, Cowley PD, Fisk AT, Whoriskey FG. 2015. Aquatic animal telemetry: a panoramic window into the underwater world. *Science.* 348(6240):1255642.
<https://doi.org/10.1126/science.1255642>
- Jacob AA, Rudran R. 2012. Radiotelemetria em Estudos Populacionais. In: Cullen-Jr L, Rudran R, Valladares-Padua C (eds.), *Métodos de Estu dos em Biologia da Conservação & Manejo da Vida Silvestre.* Curitiba (Brazil): UFPR Press. p. 285-342.
- Jeffers VF, Godley BJ. 2016. Satellite tracking in sea turtles: how do we find our way to the conservation dividends? *Biol Conserv.* 199:172-184.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.04.032>
- Jewell OJD, Weisel MA, Gennari E, Towner AV, Bester MN, Johnson RL, Singh S. 2011. Effects of smart position only (SPOT) tag deployment on White Sharks *Carcharodon carcharias* in South Africa. *PLoS ONE.* 6(11):e27242.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027242>
- Jorgensen SJ, Chapple TK, Anderson S, Hoyos-Padilla M, Reeb C, Block BA. 2012. Connectivity Among White Shark Coastal Aggregation Areas in the Northeastern Pacific. In: Domeier ML (ed.), *Global Perspectives on the Biology and Life History of the White Shark.* Boca Raton (USA): CRC Press. p. 159-167.
- Kanive PE, Rotella JJ, Chapple TK, Anderson SD, Hoyos-Padilla M, Klimley AP, Galván-Magaña F, Andrezejczek S, Block BA, Jorgensen SJ. 2023. Connectivity between White Shark populations off Central California, USA, and Guadalupe Island, Mexico. *Front Mar Sci.* 10:1210969.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1210969>
- Kessel ST, Cooke SJ, Heupel MR, Hussey NE, Simpfendorfer CA, Vagle S, Fisk AT. 2014. A review of detection range testing in aquatic passive acoustic telemetry studies. *Rev Fish Biol Fish.* 24(1):199-218.
<https://doi.org/10.1007/s11160-013-9328-4>
- Kirk DA, Park AC, Smith AC, Howes BJ, Prouse BK, Kyssa NG, Fairhurst EN, Prior KA. 2018. Our use, misuse, and abandonment of a concept: Whither habitat? *Ecol Evol.* 8(8):4197-4208.
<https://doi.org/10.1002/ece3.3812>
- Klimley AP, Nelson DR. 1984. Diel movement patterns of the scalloped hammerhead shark (*Sphyrna lewini*) in relation to El Bajo Espíritu Santo: a refuging central-position social system. *Behav Ecol Sociobiol.* 15:45-54.
<https://doi.org/10.1007/BF00310214>
- Kohler NE, Turner PA. 2001. Shark tagging: a review of conventional methods and studies. *Environ Biol Fish.* 60:191-223.
<https://doi.org/10.1023/A:1007679303082>

- Kohler NE, Turner PA, Zamora-Terol S, Acuña-Marrero D. 2012. The use of acoustic telemetry to monitor the behavior of sharks and rays around the Galapagos Islands. *Rev Fish Biol Fisheries*. 22(3):933-955.
- Lahoz-Monfort JJ, Magrath MJ. 2021. A comprehensive overview of technologies for species and habitat monitoring and conservation. *BioScience*. 71(10):1038-1062. <https://doi.org/10.1093/biosci/biab073>
- Lawson S. 2015. Fee waivers for open access journals. *Publications*. 3(3):155-67. <https://doi.org/10.3390/publications3030155>
- Lennox RJ, Aarestrup K, Alós J, Arlinghaus R, Aspillaga E, Bertram MG, Birnie-Gauvin K, Brodin T, Cooke SJ, Dahlmo LS, et al. 2023. Positioning aquatic animals with acoustic transmitters. *Methods Ecol Evol*. 14(10):2514-2530. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14191>
- Liang D, Bailey H, Hoover AL, Eckert S, Zarate P, Alfaro-Shigueto J, Mangel JC, De Paz-Campos N, Quinones-Davila J, Samiento-Barturen D. 2023. Integrating telemetry and point observations to inform management and conservation of migratory marine species. *Ecosphere*. 14(1):e4375. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4375>
- Llopiz JK, Cowen RK. 2008. Precocious, selective and successful feeding of larval billfishes in the oceanic Straits of Florida. *Mar Ecol Prog Ser*. 358:231-244. <https://doi.org/10.3354/meps07320>
- Llopiz JK, Richardson DE, Shiroza A, Smith SL, Cowen RK. 2010. Distinctions in the diets and distributions of larval tunas and the important role of appendicularians. *Limnol Oceanogr*. 55(3):983-996. <https://doi.org/10.4319/lo.2010.55.3.0983>
- Llopiz JK, Hobday AJ. 2015. A global comparative analysis of the feeding dynamics and environmental conditions of larval tunas, mackerels, and billfishes. *Deep-Sea Res II: Top Stud Oceanogr*. 113:113-124. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2014.05.014>
- Logan RK, Anderson JM, Burns ES, Samara-Chacon Y, Freedman R, García-Rodríguez E, Jahn E, Lyons K, Meese EN, Merson Z, et al. 2024. Long-term tracking captures the timing of ontogenetic niche shifts in northeast Pacific white sharks. *Ecosphere*. 15(10):e70034. <https://doi.org/10.1002/ecs2.70034>
- Lombard AT, Reyers B, Schonegevel LY, Cooper J, Smith-Adao LB, Nel DC, Froneman PW, Ansorge IJ, Bester MN, Tosh CA, et al. 2007. Conserving pattern and process in the Southern Ocean: designing a marine protected area for the Prince Edward Islands. *Antarct Sci*. 19(1):39-54. <https://doi.org/10.1017/S0954102007000077>
- Madalozzo B, Santos TG, Santos MB, Both C, Cechin S. 2017. Biodiversity assessment: selecting sampling techniques to access anuran diversity in grassland ecosystems. *Wildl Res*. 44:78-91. <https://doi.org/10.1071/WR16086>
- Malpica-Cruz L, Herzka SZ, Sosa-Nishizaki O, Escobedo-Olvera MA. 2013. Tissue-specific stable isotope ratios of shortfin mako (*Isurus paucus*) and white (*Carcharodon carcharias*) sharks as indicators of size-based differences in foraging habitat and trophic level. *Fish Oceanogr*. 22:429-445. <https://doi.org/10.1111/fog.12034>
- Man JP, Weinkauff JG, Tsang M, Sin JH. 2004. Why do some countries publish more than others? An international comparison of research funding, English proficiency and publication output in highly ranked general medical journals. *Euro J Epi*. 2004;19(8):811-7. <https://doi.org/10.1023/B:EJEP.0000036571.00320.b8>
- Márquez-Farías JF, Rodríguez-Valencia JA, Cisneros-Mata MA. 2006. Distribución y migración de tiburones pelágicos en el Golfo de California y sus zonas adyacentes. La Paz (México): Instituto Nacional de la Pesca y Programa Golfo de California de WWF-México. Reporte técnico parcial, No. 1. 45 p.
- Mascarenhas-Junior PB, Sousa-Correia JM, Simões PI. 2023. Tracking crocodylia: a review of telemetry studies on movements and spatial use. *Anim Biotelemetry*. 11(1):21. <https://doi.org/10.1186/s40317-023-00333-2>
- Matley JK, Klinard NV, Barbosa-Martins AP, Aarestrup K, Aspillaga E, Cooke SJ, Cowley PD, Heupel MR, Lowe CG, Lowerre-Barbieri SK, et al. 2022. Global trends in aquatic animal tracking with acoustic telemetry. *Trends Ecol Evol*. 37(1):79-94. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.09.001>
- Maxwell SL, Rhodes JR, Runge MC, Possingham HP, Ng CF, McDonald-Madden E. 2015. How much is new information worth? Evaluating the financial benefit of resolving management uncertainty. *J Appl Ecol*. 52(1):12-20. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12373>
- Mayorga-Martínez M. 2011. Patrones en los movimientos horizontales y verticales del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) y su relación a variables oceanográficas [dissertation]. [Mexico]: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 81 p.
- McFarlane GA, Wydoski RS, Prince ED. 1990. Historical review of the development of external tags and marks. *Am Fish Soc Symp*. 7:9-29.
- Medellín-Ortiz A. 2008. Movimientos del tiburón mako (*Isurus paucus*) en el Pacífico Noreste [dissertation]. [Mexico]: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 76 p.
- Meneghini R, Packer AL. 2007. Is there science beyond English? Initiatives to increase the quality and visibility of non-English publications might help to break down language barriers in scientific communication. *EMBO Rep*. 8(2):112-116. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400906>
- Meza-Arce MI, Malpica-Cruz L, Hoyos-Padilla ME, Mojica FJ, Arredondo-García MC, Leyva C, Zertuche-Chanes R, Santana-Morales O. 2020. Unraveling the white shark observation tourism at Guadalupe Island, Mexico: Actors, needs and sustainability. *Mar Policy*. 119:104056. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104056>
- Mitchell JD, Drymon JM, Vardon J, Coulson PG, Simpfendorfer CA, Scyphers SB, Kajiura SM, Hoel K, Williams S, Ryan KL. 2023. Shark depredation: future directions in research and management. *Rev Fish Biol Fish*. 33(2):475-499. <https://doi.org/10.1007/s11160-022-09732-9>
- Mollet HF, Ebert DA, Cailliet GM, Testi AD, Klimley AP, Compagno LJ. 1996. A Review of Length Validation Methods and Protocols to Measure Large White Sharks. In: Klimley AP, Ainley DG (eds.), *Great White Sharks: The Biology of Carcharodon carcharias*. San Diego (USA): Academic Press. p. 91-108.
- Moraga J, Cartes-Velásquez R. 2015. Pautas de Chequeo, Parte II: QUOROM y PRISMA. *Rev Chil Cir*. 67(3):325-330. <https://doi.org/10.4067/S0718-40262015000300015>
- Nalesso E. 2014. Distribución espacio-temporal de los tiburones martillo, *Sphyrna lewini*, alrededor de la Isla del Coco (2005-2013), Pacífico Tropical Oriental [dissertation]. [Mexico]: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 89 p.
- Nalesso E, Hearn A, Sosa-Nishizaki O, Steiner T, Antoniou A, Bessudo S, Soler G, Kimley P, Lara F, Ketchum JT, Arauz R. 2019. Movements of scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) at Cocos Island, Costa Rica and between oceanic islands in the Eastern Tropical Pacific. *PLoS One*. 14(3):e0213741. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213741>
- Nasby-Lucas N, Domeier ML. 2012. Use of Photo Identification to Describe a White Shark Aggregation at Guadalupe Island,

- Mexico. In: Domeier ML (ed.), Global Perspectives on the Biology and Life History of the White Shark. Boca Raton (USA): CRC Press. p. 381-391.
- Nasby-Lucas N, Dewar H, Sosa-Nishizaki O, Wilson C, Hyde JR, Vetter RD, Wraith J, Block BA, Kinney MJ, Sippel T, et al. 2019. Movements of electronically tagged shortfin mako sharks (*Isurus oxyrinchus*) in the eastern North Pacific Ocean. *Anim Biotelemetry*. 7:12. <https://doi.org/10.1186/s40317-019-0174-6>
- Nasby-Lucas N, Domeier ML. 2020. Impact of satellite linked radio transmitting (SLRT) tags on the dorsal fin of subadult and adult white sharks (*Carcharodon carcharias*). *Bull Mar Sci*. 96(1):23-30. <https://doi.org/10.5343/bms.2019.0019>
- Nates-López A. 2015. Caracterización individual del uso del hábitat del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) en Bahía de los Ángeles mediante el uso de fotoidentificación y telemetría acústica [dissertation]. [Mexico]: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 68 p.
- Nelson DR, McKibben JN, Strong WR, Lowe CG, Sisneros JA, Schroeder DM, Lavenberg RJ. 1997. An acoustic tracking of a megamouth shark, *Megachasma pelagios*: a crepuscular vertical migrator. *Environ Biol Fishes*. 49:389-399. <https://doi.org/10.1023/A:1007369619576>
- Nielsen JL, Arrizabalaga H, Fragoso N, Hobday A, Lutcavage M, Sibert J. 2009. Preface: Tagging and Tracking of Marine Animals with Electronic Devices. In: Nielsen JL, Arrizabalaga H, Fragoso N, Hobday A, Lutcavage M, Sibert J (eds.), Tagging and Tracking of Marine Animals with Electronic Devices. New York (USA): Springer. p. v-xvi.
- Obrist MK, Pavan G, Sueur J, Riede K, Llusia D, Márquez R. 2010. Bioacoustics approaches in biodiversity inventories. *Abc Taxa*. 8:68-99.
- Oñate-González EC. 2008. Descripción de los movimientos del tiburón azul (*Prionace glauca*) usando telemetría satelital [dissertation]. [Mexico]: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 79 p.
- O'Sullivan J, Lowe CG, Sosa-Nishizaki O, Jorgensen SJ, Anderson JM, Farrugia TJ, García-Rodríguez E, Lyons K, McKinzie MK, Oñate-González EC, et al. 2022. A biologging database of juvenile white sharks from the northeast Pacific. *Sci Data*. 9(1):142. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01235-3>
- Papastamatiou YP, Mourier J, TinHan T, Luongo S, Hosoki S, Santana-Morales O, Hoyos-Padilla M. 2022. Social dynamics and individual hunting tactics of white sharks revealed by biologging. *Biol Lett*. 18(3):20210599. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2021.0599>
- Pauthenet E, Roquet F, Madec G, Guinet C, Hindell M, McMahon CR, Nerini D. 2018. Seasonal meandering of the Polar Front upstream of the Kerguelen Plateau. *Geophys Res Lett*. 45(18):9774-9781. <https://doi.org/10.1029/2018GL079614>
- Queiroz JDGRd. 2020. Histórico de recuperação e padrões de movimentação do tubarão de Galápagos *Carcharhinus galapagensis* (SNODGRASS & HELLER, 1905) no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Brasil [dissertation]. [Brazil]: Universidade Federal de Pernambuco. 71 p.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. Vienna (Austria): R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>.
- Ramírez-Castañeda V. 2020. Disadvantages in preparing and publishing scientific papers caused by the dominance of the English language in science: the case of Colombian researchers in biological sciences. *PLoS ONE*. 15(9):e0238372. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238372>
- Rangel BDS. 2023. Ecofisiologia e relações tróficas de elasmobrânquios: biomarcadores como ferramentas para conservação [dissertation]. [Brazil]: Universidade de São Paulo. 255 p.
- Recio MR, Renaud M, Maloney R, Seddon PJ. 2011. Cost comparison between GPS- and VHF-based telemetry: case study of feral cats. *NZJ Ecol*. 35(1):114-117. <https://newzealandecology.org/nzje/2947/pdf>
- Renshaw S, Hammerschlag N, Gallagher AJ, Lubitz N, Sims DW. 2023. Global tracking of shark movements, behaviour and ecology: A review of the renaissance years of satellite tagging studies, 2010–2020. *J Exp Mar Biol Ecol*. 560:151841. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2022.151841>
- Rigby C, Appleyard S, Chin A, Heupel M, Humber F, Jeffers V, Simpfendorfer C, White W, Campbell I. 2019. Rapid assessment toolkit for sharks and rays. Gland (Switzerland): WWF International and CSTFA, James Cook University. Technical report, No. 1. 66 p.
- Rodgers AR. 2001. Recent Telemetry Technology. In: Millspaugh JJ, Marzluff JM (eds.), Radio Tracking and Animal Populations. San Diego (USA): Academic Press. p. 79-121.
- Rodríguez-Arana-Favela JP. 2018. Movimientos, conectividad genética y tamaño poblacional del tiburón martillo *Sphyrna lewini*, en sus áreas de crianza al sur del Golfo de California [dissertation]. [Mexico]: Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. 76 p.
- Rooker JR, Dance MA, Wells RD, Ajemian MJ, Block BA, Castleton MR, Dewar H, Snodgrass OE, Winton MV, Zuckerman ZC, et al. 2019. Population connectivity of pelagic megafauna in the Cuba-Mexico-United States triangle. *Sci Rep*. 9(1):1663. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38144-8>
- Rosende-Pereiro A, Corgos A. 2018. Pilot acoustic tracking study on young of the year scalloped hammerhead sharks, *Sphyrna lewini*, within a coastal nursery area in Jalisco, Mexico. *Lat Am J Aquat Res*. 46(4):645-659. <https://doi.org/10.3856/vol46-issue4-fulltext-2>
- Ruiz-Sakamoto AT. 2018. Movimientos y nivel de residencia de la manta gigante, *Mobula birostris* en Bahía de Banderas, México [dissertation]. [Mexico]: Autonomous University of Baja California Sur. 59 p.
- Salazar-Cervantes E. 2023. Modelo de distribución regional de alta resolución del traslape espacial entre el hábitat del tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*) y los barcos de pesca [dissertation]. [Mexico]: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 96 p.
- Salinas-de-León P, Fierro-Arcos D, Suarez-Moncada J, Proaño A, Guachisaca-Salinas J, Páez-Rosas D. 2019. A matter of taste: Spatial and ontogenetic variations on the trophic ecology of the tiger shark at the Galapagos Marine Reserve. *PLoS One*. 14(9):e0222754. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222754>
- Salinas-de-León P, Fierro-Arcos D, Suarez-Moncada J, Proaño A, Guachisaca-Salinas J, Páez-Rosas D. 2022. A matter of taste: Spatial and ontogenetic variations on the trophic ecology of the tiger shark at the Galapagos Marine Reserve. *PLoS One*. 17(5):e0268666. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268666>
- Santana-Morales O, Cartamil D, Sosa-Nishizaki O, Zertuche-Chanes R, Hernández-Gutiérrez E, Graham J. 2020. Artisanal elasmobranch fisheries of northwestern Baja California, Mexico = Pesquería artesanal de elasmobranchios en el noroeste de Baja California, México. *Cienc Mar*. 46(1):1-18. <https://doi.org/10.7773/cm.v46i1.3023>
- Santana-Morales O, Hoyos-Padilla EM, Medellín-Ortiz A, Sepulveda C, Beas-Luna R, Aquino-Baleytó M, Castillo-Géniz JL. 2021. How much is too much? A carrying capacity study of white shark cage diving in Guadalupe Island, Mexico. *Mar*

- Policy. 131:104588.
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104588>
- Seitz AC, Wilson D, Norcross BL, Nielsen JL. 2003. Pop-up archival transmitting (PAT) tags: a method to investigate the migration and behavior of Pacific halibut *Hippoglossus stenolepis* in the Gulf of Alaska. *Alaska Fish Res Bull.* 10(2):124-136.
- [SEMARNAT] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2023. Acuerdo por el que se da a conocer el Resumen del Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe. Mexico City (Mexico): SEMARNAT. Diario Oficial de la Federación, tomo DCCCLXIV, No. 8. 252 p.
- Shivji MS, Chapman DD, Pikitch EK and Raymond PW. 2005. Genetic profiling reveals illegal international trade in fins of the great white shark, *Carcharodon carcharias*. *Conserv Genet.* 6:1035-1039.
<https://doi.org/10.1007/s10592-005-9036-2>
- Sjoberg D. 2021. Ggsankey: Sankey, alluvial and Sankey bump plots. R package v. 0.0.99999. San Francisco (USA): GitHub. <https://github.com/davidsjoberg/ggsankey>
- Skupien GM, Andrews KM, Norton TM. 2016. Benefits and biases of VHF and GPS telemetry: a case study of American alligator spatial ecology. *Wild Soc Bull.* 40(4):772-80.
<https://doi.org/10.1002/wsb.697>
- Smith WD, Bizzarro JJ, Cailliet GM. 2009. The artisanal elasmobranch fishery on the east coast of Baja California, Mexico: Characteristics and management considerations = La pesca artesanal de elasmobranchios en la costa oriental de Baja California, México: Características y consideraciones de manejo. *Cienc Mar.* 35(2):209-236.
<https://doi.org/10.7773/cm.v35i2.1534>
- Sosa-Nishizaki O, García-Rodríguez E, Morales-Portillo CD, Pérez-Jiménez JC, Rodríguez-Medrano MC, Bizzarro JJ, Castillo-Géniz JL. 2020. Fisheries interactions and the challenges for target and nontargeted take on shark conservation in the Mexican Pacific. *Adv Mar Biol.* 85(1):39-69.
<https://doi.org/10.1016/bs.amb.2020.03.001>
- Spurgeon E, Anderson JM, Liu Y, Barajas VL, Lowe CG. 2022. Quantifying thermal cues that initiate mass emigrations in juvenile white sharks. *Sci Rep.* 12(1):19874.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-24377-1>
- Stevens JD. 1999. Shark tagging: a brief history of methods. In: Musick JA (ed.), *Fish Movement and Migration*. Bethesda (USA): American Fisheries Society. p. 65-68.
- Stewart JD, Hoyos-Padilla EM, Kumli KR, Rubin RD. 2016. Deep-water feeding and behavioral plasticity in *Manta birostris* revealed by archival tags and submersible observations. *Zool.* 119(5):406-413.
<https://doi.org/10.1016/j.zool.2016.05.010>
- Strickland BA, Gastrich K, Mazzotti FJ, Massie JA, Paz V, Viadero N, Rehage JS, Heithaus MR. 2020. Variation in movement behavior of alligators after a major hurricane. *Ani Biotel.* 8(1):1-10.
<https://doi.org/10.1186/s40317-020-00193-0>
- Sundström LF, Gruber SH, Clermont SM, Correia JPS, de Marignac JRC, Morrissey JF, Lowrance CR, Thomassen L, Oliveira MT. 2001. Review of elasmobranch behavioral studies using ultrasonic telemetry with special reference to the lemon shark, *Negaprion brevirostris*, around Bimini Islands, Bahamas. *Environ Biol Fishes.* 60:225-250.
<https://doi.org/10.1023/A:1007657505099>
- Thiem JD, Taylor MK, McConnachie SH, Biender TR, Cooke SJ. 2010. Trends in the reporting of tagging procedures for fish telemetry studies that have used surgical implantation of transmitters: a call for more complete reporting. *Rev Fish Biol Fish.* 21:117-126.
<https://doi.org/10.1007/s11160-010-9194-2>
- Tolotti MT, Bach P, Hazin F, Travassos P, Dagorn L. 2015. Vulnerability of the oceanic whitetip shark to pelagic longline fisheries. *PLoS One.* 10(10):e0141396.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141396>
- Trefethen PS. 1956. Sonic equipment for tracking individual fish. Washington (USA): US Department of the Interior, Fish and Wildlife Service. Special Scientific Report-Fisheries, No. 179. 11 p.
- Trejo-Ramírez A. 2017. Caracterización de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México, como una posible área de crianza del tiburón bironche, *Rhizoprionodon longurio* (Jordan & Gilbert, 1882) [dissertation]. [Mexico]: Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. 147 p.
- Tyminski JP, de la Parra-Venegas R, González-Cano J, Hueter RE. 2015. Vertical movements and patterns in diving behavior of whale sharks as revealed by pop-up satellite tags in the eastern Gulf of Mexico. *PLoS One.* 10(11):e0142156.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142156>
- Vaudo JJ, Byrne ME, Wetherbee BM, Harvey GM, Shivji MS. 2017. Long-term satellite tracking reveals region-specific movements of a large pelagic predator, the shortfin mako shark, in the western North Atlantic Ocean. *J Appl Ecol.* 54(6):1765-1775.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12852>
- Walton I, Cotton C. 1898. *The Complete Angler, or, The Contemplative Man's Recreation*. London (UK): Cassell & Co. Treatise, vol. 5. 288 p.
- Wang Z, Cui N, Hung C-M, Li S-H, Dong F. 2025. A 150-year avian extinction debt forewarns a global species crisis and highlights conservation opportunities. *Conserv Lett.* 18:e13078.
<https://doi.org/10.1111/conl.13078>
- Welch DW, Eveson JP. 1999. An assessment of light-based geolocation estimates from archival tags. *Can J Fish Aquat Sci.* 57:1317-1327.
<https://doi.org/10.1139/f99-049>
- Weng KC, Castilho PC, Morrisette JM, Landeira-Fernandez AM, Holts DB, Schallert RJ, Goldman KJ, Block BA. 2005. Satellite tagging and cardiac physiology reveal niche expansion in salmon sharks. *Science.* 310:104-106.
<https://doi.org/10.1126/science.1114616>
- Weng KC, O'Sullivan JB, Lowe CG, Winkler CE, Dewar H, Block BA. 2007. Movements, behavior and habitat preferences of juvenile white sharks *Carcharodon carcharias* in the eastern Pacific. *Mar Ecol Prog Ser.* 338:211-224.
<https://doi.org/10.3354/meps338211>
- Werry JM, Lee SY, Lemckert CJ, Otway NM. 2012. Natural or artificial? Habitat-use by the bull shark, *Carcharhinus leucas*. *PLoS One.* 7(11):e49796.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049796>
- White CF, Lyons K, Jorgensen SJ, O'Sullivan J, Winkler C, Weng KC, Lowe CG. 2019. Quantifying habitat selection and variability in habitat suitability for juvenile white sharks. *PLoS One.* 14(5):e0214642.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214642>
- Wingfield DK, Peckham SH, Foley DG, Palacios DM, Lavaniegos BE, Durazo R, Nichols WJ, Croll DA, Bograd SJ. 2011. The making of a productivity hotspot in the coastal ocean. *PLoS One.* 6(11):e27874.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027874>
- [WWF] World Wide Fund for Nature. 2024. *Living Planet Report 2024—A system in peril*. Gland (Switzerland):WWF. Technical report, No. 2024. 87 p.
- Yeiser BG, Heupel MR, Simpfendorfer CA. 2008. Occurrence, home range and movement patterns of juvenile bull (*Carcharhinus leucas*) and lemon (*Negaprion brevirostris*) sharks within a Florida estuary. *Mar Freshw Res.* 59(6):489-501.
<https://doi.org/10.1071/MF07181>
- Young JW, Hunt BPV, Cook TR, Llopiz JK, Hazen EL, Pethybridge HR, Ceccarelli D, Brian PV, Elliott L, Anela-Choy C, et al.

2015. The trophodynamics of marine top predators: Current knowledge, recent advances and challenges. *Deep-Sea Res Part II*. 113:170-187.
<https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2014.05.015>
- Zanella I, Arauz R. 2006. Pesquería y conservación del tiburón en Costa Rica. Heredia (Costa Rica): Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional. Apéndices y Memorias, No. 11. 21 p.
- Zenteno-Savín T, Belebóni RO, Hermes-Lima M. 2007. The cost of Latin American science: Introduction for the second issue of CBP-Latin America. *Comp Biochem Physiol A*. 146(4):463-469.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.06.044>