
A large number of shark silhouettes are shown swimming in a deep blue ocean. The sun is shining from the upper center, creating a bright, hazy glow and casting long, dark shadows of the sharks. The sharks are of various sizes and are swimming in different directions, some towards the viewer and others away from it.

**TÉCNICAS DE MITIGACIÓN PARA  
REDUCIR LA CAPTURA  
INCIDENTAL DE TIBURONES:  
NO EXISTE UNA BALA DE PLATA**

A faint, light blue compass rose is visible in the bottom left corner of the dark blue background. It shows the cardinal directions: North (N), South (S), East (E), and West (W).

## **Técnicas de mitigación para reducir las capturas accesorias de tiburones: no existe una bala de plata**

**Preparado para la Secretaría de la Convención sobre Especies Migratorias (CMS), febrero de 2024.**

### **AUTORES**

Este informe ha sido elaborado por David Drynan, G. Barry Baker, en nombre de la Secretaría de la CMS.

### **CITA SUGERIDA**

Drynan D, Baker G B, (2024). Técnicas de mitigación para reducir la captura accidental de tiburones: no existe una bala de plata. Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres (CMS). 30 páginas.

### **IMAGEN DE PORTADA**

Escuela de tiburones © Microsoft Stock Images

### **CLÁUSULA DE EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Este documento, redactado originalmente en inglés, se ha traducido automáticamente mediante una herramienta en línea. Remítase al contenido original en inglés como fuente primaria de información. La Secretaría ha utilizado la herramienta gratuita en línea para traducir algunos anexos que contienen texto informativo y no de adopción. Esto ha supuesto un ahorro en el presupuesto de traducción. Agradecemos los comentarios de las Partes sobre este enfoque.

© 2024 CMS. Esta publicación puede ser reproducida total o parcialmente y en cualquier formato con fines educativos y otros fines no lucrativos sin permiso especial del titular de los derechos de autor, siempre que se cite la fuente. La Secretaría de la CMS agradecería recibir una copia de cualquier publicación que utilice esta publicación como fuente. Queda prohibida la reventa o cualquier otro uso comercial de esta publicación sin la autorización previa de la Secretaría de la CMS.

### **AVISO LEGAL**

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la CMS o de las organizaciones que colaboran con ella, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas bajo su autoridad, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

Pueden obtenerse ejemplares de esta publicación en el sitio web de la CMS: <https://www.cms.int>

## **1. Introducción**

Los tiburones han experimentado disminuciones masivas de la población en todo el mundo durante los últimos 50 años, con algunas especies oceánicas disminuyendo hasta en un 71% durante ese período (Pacoureaux et al. 2021). Los tiburones tienen historias de vida seleccionadas por *k* (Holden 1973) que incluyen crecimiento lento, madurez retrasada y baja fecundidad. Estas características los hacen particularmente vulnerables a impactos significativos a largo plazo en la población de cualquier forma de aumento de la mortalidad no natural (Dulvy et al. 2008, Gilman 2011, Dulvy et al. 2014).

La pesca es el principal impulsor de la disminución de la biodiversidad de los ecosistemas marinos en todo el mundo (Dayton et al. 1995). Los tiburones se capturan en pesquerías a nivel mundial a gran escala, con una estimación de la captura total de tiburones de alrededor de 1,4 millones de toneladas solo en 2010 (Worm et al. 2013). Un componente importante de la captura en la pesca es la captura incidental, donde las especies no objetivo se capturan incidentalmente cuando se pescan otras especies más valiosas. Estos individuos no objetivo a veces se retienen si hay un mercado para el producto, sin embargo, muchos se descartan y no se informan (Clarke et al. 2006, Morgan et al. 2009, Worm et al. 2013, Campana et al. 2016), lo que resulta en subestimaciones de la toma total. La falta de datos precisos sobre la captura de tiburones significa que la evaluación cuantitativa de las poblaciones es, en el mejor de los casos, difícil (Clarke et al. 2006). Esta situación presenta no sólo un problema de poblaciones inciertas y disminución de especies, sino también de un desperdicio perverso de recursos en un mundo donde millones de personas dependen de la pesca en pequeña escala para sobrevivir.

La captura incidental de la pesca y la búsqueda de soluciones al problema han recibido cada vez más atención en los últimos tiempos. La mayoría de las investigaciones sobre capturas incidentales hasta la fecha se han centrado en especies carismáticas como aves marinas (Løkkeborg 2011), cetáceos (Leaper y Calderan 2018) y pinnípedos (Hamilton y Baker 2019). La captura incidental de tiburones se ha convertido recientemente en un área activa de investigación, y la mayoría de los estudios se han realizado en los últimos 15-20 años. Las revisiones de mitigación generadas a partir de estos estudios se han centrado en aspectos particulares de la mitigación o el tipo de engranaje (por ejemplo, Gilman et al. 2008, Waugh et al. 2013, Favaro y Cote 2015, Howard 2015, Gilman et al. 2016); biología sensorial (por ejemplo, Hart y Collin 2015, Lucas y Berggren 2022); áreas geográficas (por ejemplo, Stobutzki et al. 2006, Ardill et al. 2011, Molina y Cooke 2012, Sacchi 2021); ciertas especies o grupos de especies (por ejemplo, Dagorn et al. 2013); o para pesquerías particulares (por ejemplo, Clarke et al. 2014, Poisson et al. 2016, Restrepo et al. 2017). Este documento presenta la primera revisión global exhaustiva de medidas técnicas de mitigación (es decir, modificaciones de artes y dispositivos de mitigación) diseñadas para reducir la captura incidental de tiburones en artes de pesca comercial, basándose en el trabajo de Fowler (2016). Incluye evaluaciones de las pruebas de mitigación, la eficacia y una síntesis de las mejores prácticas de mitigación, identificando áreas que requieren mayor atención y cubre todas las especies de tiburones y rayas y técnicas de pesca.

## **2. Métodos**

Aunque ha habido un progreso considerable en algunas pesquerías con respecto al desarrollo, prueba e implementación de medidas de mitigación para reducir la captura incidental de tiburones en artes de pesca comercial, gran parte de esta información no es fácilmente accesible. Las búsquedas bibliográficas se realizaron utilizando diversas bases de datos de búsqueda (EBSCO, Google Scholar, Bycatch.org, sitios web de la Organización Regional de Ordenación Pesquera (OROP)) utilizando términos de búsqueda como *"tiburón*

+ *captura incidental + mitigación*", "*tiburón + repelente*", "*captura incidental + mitigación*". Se realizaron búsquedas oportunistas al revisar los artículos, y cuando los colegas alertaron a los autores sobre los artículos que pueden haberse perdido en las búsquedas estructuradas. Se buscó literatura no publicada o "gris" a través de los sitios web de las OROP, la industria pesquera y los fabricantes comerciales de tecnología de mitigación de la captura incidental, así como contactando a investigadores clave por correo electrónico o ResearchGate (<https://www.researchgate.net/>) para acceder a informes relevantes no publicados. Esto dio lugar a la identificación de 271 artículos, informes y material promocional para su posterior evaluación. Los estudios no se consideraron más si no contenían evidencia empírica relacionada con una técnica. La lista final para su inclusión comprendió 184 artículos.

Al informar los resultados de esta revisión, seguimos a Patterson et al. (2014), al dividir las técnicas de mitigación de la captura incidental en una estructura jerárquica de tres secciones del enfoque más deseable al menos deseable: prevenir la captura, permitir el escape y disminuir la mortalidad en el vaso / aumentar la supervivencia posterior a la liberación.

Siguiendo a Hamilton y Baker (2019), restringimos esta revisión a medidas técnicas de mitigación. Las estrategias efectivas de mitigación de la captura incidental para los tiburones a menudo comprenden un conjunto de medidas de gestión junto con la mitigación técnica. Estos incluyen controles tradicionales de entrada y salida, ajustes operativos a través de protocolos de "códigos de práctica" (por ejemplo, disposiciones de "movimiento", protocolos de manejo y liberación) e implementación de cierres espaciales y / o temporales adecuadamente designados (Dunn et al. 2011, Kaplan et al. 2014, Hazen et al. 2018). Estos enfoques son importantes y se revisarán por separado (D. Drynan y GB Baker, inéditos). También es probable que el desarrollo y la implementación de acuerdos, regulaciones y / o legislación multijurisdiccionales para facilitar la adopción de mitigación, por ejemplo, a través de acuerdos ambientales multilaterales (AMUMA) como CMS (2016) o OROP (IOTC 2017, WCPFC 2019), pero también están fuera del alcance de esta revisión.

### **3. Resultados**

A continuación figura una sinopsis de la evaluación técnica de la mitigación. En el cuadro 1 figura un resumen de la evaluación y la eficacia de cada medida técnica identificada.

Si bien esto proporciona una visión general de las medidas técnicas de mitigación, se debe tener precaución antes de extender las medidas probadas a otras pesquerías. Las características específicas de la pesca, como el tamaño de las especies objetivo y los elementos operacionales, pueden significar que las respuestas de evaluación notificadas como eficaces en una zona o pesquería pueden no ser eficaces en otro lugar con otros taxones objetivo y de capturas incidentales y en condiciones operativas diferentes.

**Cuadro 1** – Resumen de si se ha evaluado una medida técnica de mitigación para reducir la captura incidental de tiburones en operaciones comerciales de arrastre, redes de cerco, palangre, redes de enmalle y nasas/trampas y si hay pruebas de que es eficaz para reducir las capturas incidentales. ("- " = la medida no se considera aplicable a los artes de pesca pertinentes; "?" en la categoría "Evaluado" = no está claro si se ha evaluado esta medida; "?" en la categoría "Efectivo" = falta de conocimiento de los efectos efectivos de la medida, o ha habido resultados contradictorios/no concluyentes, y/o se requieren más ensayos)

Medida técnica	Rastrear		Cerco		Palangre		Red de enmalle		Olla / Trampa	
	Evaluó	Eficaz	Evaluó	Eficaz	Evaluó	Eficaz	Evaluó	Eficaz	Evaluó	Eficaz
3.1.2 Repelentes químicos	-	-	-	-	Sí	?	No	?	No	?
3.1.4 Repelentes eléctricos activos	No	?	Sí	?	No	?	No	?	No	?
3.1.5 Repelentes de metales electropositivos	-	-	-	-	Sí	?	-	-	-	-
3.1.6 Repelentes de imanes	No	?	-	-	Sí	?	Sí	?	Sí	Sí
3.1.7 Visual	Sí	No	-	-	No	?	No	?	No	?
3.1.8 Extracción de barras de luz	-	-	-	-	Sí	?	Sí	?	No	?
3.1.9 Auditivo	No	?	No	?	No	?	No	?	No	?
3.2.1 Tipo de cebo	-	-	-	-	Sí	Sí	-	-	-	-
3.2.2 Tamaño del cebo	-	-	-	-	No	?	-	-	-	-
3.2.3 Eliminación del cebo	-	-	-	-	No	?	-	-	-	-
3.2.4 Cebos artificiales	-	-	-	-	Sí	?	-	-	-	-
3.2.5 Eliminación de las cadenas de cosquillas	Sí	Sí	-	-	-	-	-	-	-	-
3.2.6 Tamaño de malla de red de enmalle	-	-	-	-	-	-	Sí	Sí	-	-
3.2.7 Tensión de la red de enmalle	-	-	-	-	-	-	Sí	?	-	-
3.2.8 DCP (dispositivos de agregación de peces) – Construcción y despliegue	-	-	Sí	Sí	-	-	-	-	-	-

Medida técnica	Rastrear		Cercos		Palangre		Red de enmalle		Olla / Trampa	
	Evaluó	Eficaz	Evaluó	Eficaz	Evaluó	Eficaz	Evaluó	Eficaz	Evaluó	Eficaz
3.2.9 DCP – Cambio de estrategia pesquera	-	-	Sí	Sí	-	-	-	-	-	-
3.2.10 Método de captura de cambios	No	?	No	?	Sí	Sí	No	?	Sí	Sí
3.3.1 Material para líderes	-	-	-	-	Sí	Sí	-	-	-	-
3.3.2 Construcción líder	-	-	-	-	Sí	?	-	-	-	-
3.3.3 Paneles de escape/escotillas en el equipo de cerco	-	-	Sí	No	-	-	-	-	-	-
3.3.4 Excluidos	Sí	Sí	-	-	-	-	-	-	-	-
3.4.1 Reducir el tiempo de remojo	No	?	-	-	Sí	Sí	Sí	?	No	?
3.4.2 Temperatura del agua	No	?	No	?	Sí	?	No	?	No	?
3.4.3 Tipo de gancho	-	-	-	-	Sí	Sí	-	-	-	-
3.4.4 Ganchos modificados	-	-	-	-	Sí	?	-	-	-	-
3.4.5 Lanzamiento antes del Haulback	No	?	Sí	Sí	Sí	Sí	No	?	No	?
3.4.6 Técnicas de manipulación	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	?	No	?
3.4.7 Capas freáticas y rampas de liberación	No	?	No	?	No	?	-	-	-	-

### 3.1 Prevenir la captura mediante técnicas sensoriales

#### 3.1.1 Descripción general de los repelentes

Los repelentes actúan sobre los sistemas sensoriales que los tiburones utilizan para localizar presas o utilizan para evitar ser depredados (Swimmer et al. 2008, Jordan et al. 2013, O'Connell et al. 2014a, Hart y Collin 2015) y su aplicación a la mitigación de la captura incidental ha sido recientemente revisada exhaustivamente por Lucas y Berggren (2023). Se ha pensado que estos mecanismos tienen el potencial de fomentar la evitación de los aparejos de pesca, reduciendo así la captura incidental de tiburones (Jordan et al. 2013). Las técnicas que incluyen químicos, eléctricos activos, metales electropositivos y repelentes visuales han demostrado ser prometedoras, sin embargo, hay una falta de evidencia empírica que demuestre que son efectivas para reducir la captura incidental de tiburones en las pesquerías. Además, hay grandes problemas logísticos, de costos e impacto ambiental que deben superarse antes de que cualquiera de estas técnicas pueda implementarse en la pesca. Como los sistemas sensoriales olfativos, eléctricos y visuales son los sentidos más importantes utilizados por los tiburones para la ubicación de las presas, es más probable que sean útiles para reducir la captura incidental, mientras que los sistemas auditivos y gustativos parecen ser menos importantes (Swimmer et al. 2008, Jordan et al. 2013, O'Connell et al. 2014a, Hart y Collin 2015). Remitimos a los lectores a Hart y Collin 2015 y Lucas y Berggren 2023 para obtener descripciones detalladas de los sistemas sensoriales en tiburones.

#### 3.1.2 Química (clasificación: requiere un mayor desarrollo)

Los semioquímicos son sustancias químicas productoras de "señal", generalmente en forma de un olor producido por congéneres en descomposición o feromonas depredadoras. Se cree que la "señal" de congéneres muertos desencadena una respuesta conductual de "miedo", donde los tiburones dejan de alimentarse y abandonan el área inmediatamente como una táctica de supervivencia, que podría explotarse para desalentar las interacciones de los tiburones con los aparejos de pesca (O'Connell et al. 2014, Stroud et al. 2014). Esta clase de semioquímicos se denominan "necromonas".

Se han observado reacciones de evasión en múltiples especies cuando se exponen a necromonas, incluidos los tiburones de Port Jackson (*Heterodontus portusjacksoni*) en condiciones de laboratorio (Gervais y Brown 2021), y en tiburones de arrecife del Caribe (*Carcharhinus perezi*) y tiburones nariz negra (*Carcharhinus acronotus*) en un experimento de campo en individuos salvajes, sin ningún impacto aparente en el comportamiento de los peces teleósteos. (Stroud et al. 2014). Sin embargo, ha habido resultados contradictorios de estudios que han probado la aplicación de necromonas en artes de pesca. La tasa de captura de tiburones tigre (*Galeocerdo cuvier*) en palangres bentónicos no se vio afectada por la presencia de recipientes que contienen especies heteroespecíficas de tiburones en descomposición (Broadhurst y Tolhurst 2021), con la profundidad establecida y el tiempo de remojo factores más importantes que afectan la tasa de captura.

A pesar de esto, existe un claro potencial para una mayor investigación sobre la aplicación de las cualidades repelentes de las necromonas, especialmente en pesquerías que utilizan cebos como el principal atrayente para las especies objetivo. Ha habido resultados prometedores de un ensayo preliminar de un recipiente repelente de tiburones disponible comercialmente ('SuperPolyShark', Shark Defense Technologies, Oak Ridge NJ, EE. Este producto se fabrica a partir de los cadáveres podridos de tiburones y se insertó en el cebo de calamar (*Decabrachia sp.*) en un ensayo con palangre en el Atlántico sudoriental. Los ensayos de varias concentraciones de repelentes mostraron una reducción general del 39% en la tasa de captura de tiburones sin afectar las tasas de captura de especies objetivo (Rice

et al. 2014), sin embargo, este efecto disminuyó con el aumento del tiempo de remojo. Una aplicación más amplia de este prometedor enfoque requiere más investigación sobre otras especies objetivo y no objetivo en una variedad de pesquerías.

A pesar de los resultados prometedores descritos anteriormente, los problemas de alimentación dependiente de la densidad (O'Connell et al. 2014a) y las respuestas específicas de la especie (Noatch y Suski 2012, Hart y Collin 2015) deben superarse antes de que los repelentes químicos puedan aplicarse de manera más amplia para mitigar la captura incidental de tiburones. Ambos problemas requieren un conocimiento detallado de la biología de las especies de tiburones no objetivo para ayudar a resolverlos.

### **3.1.3 Descripción general eléctrica y magnética**

Los repelentes eléctricos y magnéticos dependen de la interferencia con el sistema electrorreceptor en los tiburones para disuadir las interacciones con los aparejos de pesca (Kalmijn 1966). Este sistema está muy desarrollado en la mayoría de los tiburones, pero parece ser utilizado principalmente por especies que habitan en áreas de alta turbidez y / o poca luz, donde las señales visuales para las presas no se detectan fácilmente (Hutchinson et al. 2012, Jordan et al. 2013). Quizás lo más importante para el contexto de la mitigación de la captura incidental de tiburones, los peces teleósteos no poseen un sistema de electrorecepción, por lo que no se ven afectados por la presencia de campos eléctricos débiles (Jordan et al. 2013).

### **3.1.4 Eléctrico activo (clasificación: requiere un mayor desarrollo)**

Varios ensayos de laboratorio y de campo han demostrado potencial para la aplicación de repelentes eléctricos activos en artes de pesca, pero aún no se ha demostrado que sean efectivos en la pesca comercial. Los repelentes eléctricos activos utilizan una fuente de alimentación externa para generar un campo eléctrico que interfiera con el sistema de electrorecepción, y todos los dispositivos disponibles comercialmente están diseñados principalmente como protección personal para buceadores y surfistas (por ejemplo, Huveneers et al. 2013, Kempster et al. 2016, Huveneers et al. 2018, Egeberg et al. 2019, Thiele et al. 2020). Varios ensayos han demostrado que los cebos y los aparejos pueden hacerse poco atractivos para los tiburones mediante el uso de repelentes eléctricos activos, incluso en redes de cerco (Hart y Collin 2015). Los experimentos de laboratorio también han demostrado tasas de alimentación reducidas en varias especies cuando se exponen a estímulos eléctricos activos en la ubicación del cebo (Howard et al. 2018, Polpetta et al. 2021).

Claramente, los sistemas eléctricos activos pueden repeler a los tiburones. Sin embargo, las cuestiones relacionadas con la practicidad del despliegue en un contexto pesquero aún no se han investigado y resuelto a fondo, incluidos el costo inicial de configuración, la frecuencia y los costos de mantenimiento, la minaturización y la seguridad (Jordan et al. 2013).

### **3.1.5 Metales electropositivos (EPM) (Clasificación: No recomendado)**

Los EPM no requieren una fuente de energía externa y funcionan reaccionando (oxidándose) con agua, lo que crea potenciales eléctricos que interfieren con el sistema electrosensorial de los tiburones (Swimmer et al. 2008, Hart y Collin 2015). La mayoría de las investigaciones sobre EPM se han realizado en pesquerías con palangre debido a la practicidad de agregarlos a los anzuelos cebados y al corto alcance en el que pueden ser efectivos (Stoner y Kaimmer 2008, Brill et al. 2009). No está claro si sería posible aplicarlos en otros tipos de aparejos.

Los EPM han demostrado potencial en ensayos de laboratorio y de campo posteriores en artes de pesca donde el comportamiento de alimentación de los tiburones se ve afectado por

su presencia (Jordan et al. 2011). Sin embargo, los resultados han sido contradictorios entre y dentro de las especies, con efectos de habituación, nivel de saciedad, densidad conoespecífica, edad y estrategia de detección de presas que afectan su efectividad, lo que dificulta la aplicación general en las pesquerías (Tallack y Mandelman 2009, McCutcheon y Kajiura 2013, Stoner y Kaimmer 2008, Kaimmer y Stoner 2008, O'Connell et al. 2014a, Godin et al. 2013, Robbins et al. 2011, Grant et al. 2018).

Los EPM pueden ser moldeados para su aplicación en artes de pesca como se ha hecho en ensayos de anzuelos SMART (magnéticos y repelentes selectivos) (O'Connell et al. 2014b, Grant et al. 2018). Sin embargo, se disuelven muy rápidamente y requerirían reemplazo después de solo unos pocos despliegues (Grant et al. 2018), lo que podría hacerlos antieconómicos y poco prácticos para el despliegue pesquero (Stoner y Kaimmer 2008, O'Connell et al. 2014b, Grant et al. 2018)). Además, los EPM también son caros y peligrosos para la máquina debido a sus limaduras altamente inflamables (Tallack y Mandelman 2009) y también son potencialmente tóxicos (Stoner y Kaimmer 2008, Hutchinson et al. 2012, pero ver Brill et al. 2009). Favaro y Cote (2015) concluyeron que los EPM no eran efectivos en general y cuestionaron el valor de una mayor investigación sobre su aplicación en la pesca.

### **3.1.6 Imanes (clasificación: requiere un mayor desarrollo)**

Se cree que los imanes permanentes funcionan a través de la inducción electromagnética e interfieren con la capacidad de muchas especies para navegar (Hart y Collin 2015). Los ensayos de laboratorio y de campo posteriores han demostrado que los imanes permanentes pueden reducir las tasas de captura de tiburones cuando el comportamiento de alimentación de los tiburones se ve afectado por su presencia sin afectar el comportamiento de las especies objetivo (Rigg et al. 2009, O'Connell et al. 2011a, Smith y O'Connell 2014, Richards et al. 2018). Sin embargo, al igual que con los EPM, los resultados han sido contradictorios entre y dentro de las especies (por ejemplo, Stoner y Kaimmer 2008, Porsmoguer et al. 2015, Grant et al. 2018, Westlake et al. 2018, Polpetta et al. 2021) con efectos de habituación (O'Connell et al. 2011a), material magnético (O'Connell et al. 2011b), temperatura del agua (Smith y O'Connell 2014) y tipo de engranaje (O'Connell et al. 2010, O'Connell et al. 2011b, O'Connell et al. 2014a, Richards et al. 2018, Westlake et al. 2018) todos impactaron su efectividad. Cuando se combinan con su gasto, altos requisitos de mantenimiento y problemas de enredo (Cosandey-Godin y Morgan 2011, O'Connell et al. 2014a), los imanes no pueden recomendarse como una medida de reducción de la captura incidental de tiburones en la actualidad en palangres y redes de cerco, pero pueden ser útiles en aplicaciones de artes estáticas como redes de enmalle, trampas y nasas.

### **3.1.7 Visual (calificación: requiere mayor desarrollo)**

La mayoría de los tiburones tienen mala visión del color o son daltónicos (Nguyen y Winger 2019), confiando en el contraste entre un objeto y el fondo para la ubicación visual. Si se puede hacer que los aparejos sean más visibles para los tiburones, esto podría tener un impacto positivo en las tasas de captura incidental (Stone y Dixon 2001). Un estudio sobre el impacto del color de la parrilla de exclusión no mostró ningún efecto sobre las tasas de captura incidental (Chosid et al. 2012), sin embargo, se demostró que la iluminación artificial (luces estroboscópicas) repele a algunos tiburones o retrasa el tiempo de interacción en un estudio que invierte en protección para los bañistas (Ryan et al. 2018). Las luces estroboscópicas pueden justificar una mayor investigación para su aplicación en la pesca, sin embargo, las dificultades y el costo de desplegar luces en artes pueden hacer que esta técnica sea inviable.

### **3.1.8 Luces y barras de luz (clasificación: requiere un mayor desarrollo)**

Muchos pescadores utilizan palos de luz y/o luces para aumentar las tasas de captura de especies objetivo (Gilman et al. 2007a). Esta técnica puede aumentar la tasa de captura de tiburones (Poisson et al. 2010, Nguyen y Winger 2019), particularmente cuando se usa luz verde (Afonso et al. 2021); no tienen efecto (Bielli et al. 2020, Darquea et al. 2020); o incluso disminuir las tasas de captura (Senko et al. 2022), lo que demuestra que no hay un efecto claro y consistente de los palos de luz en las tasas de captura de tiburones. Sin embargo, los modelos sugieren que eliminar los palos de luz de los palangres en áreas que tienen altas tasas de captura de Mako dientuso (*Isurus oxyrinchus*) podría reducir la captura incidental en un 18% (O'Farrell y Babcock 2021). A pesar de los resultados contrastantes anteriores, la simple eliminación de palos ligeros en las pesquerías con palangre puede ser una medida práctica y fácil de implementar para reducir las capturas incidentales. Este enfoque tiene un beneficio adicional de reducir la contaminación marina a partir de menos descartes de barras de luz potencialmente tóxicas (Afonso et al. 2021). Dados los resultados contrastantes, la aplicación de repelentes/atrayentes ligeros en las pesquerías requeriría ensayos locales sobre las especies de interés para confirmar la eficacia antes de una implementación más amplia.

### **3.1.9 Auditivo (Calificación: No recomendado)**

No se han encontrado estudios que investiguen específicamente la efectividad de los repelentes auditivos para los tiburones en las pesquerías, por lo que no se puede recomendar esta técnica. Los estudios experimentales y de campo han demostrado que algunas especies reaccionan a la presencia de sonidos artificiales y naturales, lo que puede reducir las interacciones con el cebo (Chapuis et al. 2019), sin embargo, se ha encontrado que otras especies solo reaccionan cuando los sonidos se administran en combinación con repelentes visuales (Ryan et al. 2018). El despliegue de repelentes auditivos parece poco práctico para los tiburones debido a la falta de evidencia empírica en un contexto pesquero, el tamaño y el costo de los transductores necesarios para crear el sonido, los posibles efectos de la habituación (Hart y Collin 2015, pero ver Chapuis et al. 2019) y otros posibles impactos ambientales no deseados.

## **3.2 Prevenir la captura utilizando técnicas no sensoriales**

### **3.2.1 Tipo de cebo (clasificación: recomendado)**

Los cebos son uno de los principales impulsores de la selectividad de los artes de pesca en las pesquerías de anzuelos, y el tipo de cebo utilizado afectará tanto a la captura objetivo como a la no objetivo (Løkkeborg et al. 2014). Cambiar el cebo de calamar a pez es beneficioso para proteger algunos grupos de especies de captura incidental (por ejemplo, tortugas marinas), pero puede resultar en tasas más altas de captura de tiburones (Gilman et al. 2020). Esto presenta un enigma para los administradores de pesquerías. Múltiples estudios han probado este cambio en el tipo de cebo, y la mayoría se centró en reducir la captura incidental de tortugas marinas en la pesca con palangre (por ejemplo, Gilman et al. 2007b, Yokota et al. 2009, Fernandez-Carvalho et al. 2015). Los tiburones fueron solo una consideración secundaria en estos estudios, pero muchos informaron un aumento en la tasa de captura de tiburones, lo que indica una preferencia por el cebo para peces (por ejemplo, Watson et al. 2005, Foster et al. 2012, Amorim et al. 2015, Howard 2015, Gilman et al. 2016, Kumar et al. 2016, Gilman et al. 2020). Estos incluyen tiburones azules (*Prionace glauca*) (Foster et al. 2012), mako dientuso (Amorim et al. 2015) y tiburón banco de arena (Driggers III et al. 2017), con algunas excepciones notables y contradictorias donde las tasas de captura aumentaron significativamente en el cebo de calamar, por ejemplo, cabeza de martillo

festoneada (*Sphyrna lewini*) (Driggers III et al. 2017), cailón sardinero (*Lamna nasus*) y mako *dientuso* (Foster et al. 2012). Otros estudios no han encontrado ningún efecto del tipo de cebo en las tasas de captura de tiburones, por ejemplo, tiburón azul (Fernández-Carvalho et al. 2015), tiburón azul y mako de aleta corta (Yokota et al. 2009), mientras que otros concluyeron que los cebos para peces reducen la captura incidental de tiburones en comparación con el calamar (Watson et al. 2005, Gilman et al. 2007b). A pesar de algunos de los resultados contrastantes de estudios individuales, los resultados de los metaanálisis de Gilman et al. (2020) confirman que, en general, los cebos para peces aumentan las tasas de captura de tiburones en comparación con los calamares. Para reducir la captura incidental de tiburones, el cebo de calamar debe usarse con preferencia al cebo para peces, sin embargo, se deben realizar ensayos locales antes de una implementación más amplia. Los objetivos de la estrategia de reducción de capturas incidentales de las pesquerías individuales deberán determinar el orden de prioridad de las especies que deben protegerse.

### **3.2.2 Tamaño del cebo (clasificación: requiere un mayor desarrollo)**

El tamaño del cebo se puede utilizar para aumentar la selectividad, donde los cebos grandes tienden a atrapar tiburones grandes, y los cebos pequeños tienden a atrapar tiburones pequeños (Løkkeborg et al. 2014, Kumar et al. 2016, Gilman et al. 2020). Si el objetivo de una estrategia de reducción de la captura incidental de tiburones es reducir el impacto en ciertas clases de edad / tamaño, entonces cambiar el tamaño del cebo podría ser una técnica útil de mitigación de la captura incidental. Se requerirían más ensayos de campo para establecer el tamaño óptimo del cebo para las condiciones y especies locales.

### **3.2.3 Eliminación del cebo (calificación: requiere un mayor desarrollo)**

La eliminación de cebos por completo puede ser beneficiosa para reducir la captura incidental de tiburones, especialmente cuando la especie objetivo prefiere atrayentes como los señuelos. Kyne y Feutry (2017) informaron que el pez deportivo recreativo objetivo Barramundi (*Lates calcarifer*) se captura principalmente en señuelos, y dos especies de tiburones de río de interés para la conservación, el tiburón diente de lanza (*Glyphis glyphis*) y el tiburón de río del norte (*Glyphis garricki*), se capturan principalmente en anzuelos cebados. Al no permitir que se utilicen cebos en esta pesquería, es probable que esto tenga un impacto positivo en ambas especies de tiburones y no afecte a la pesquería objetivo. Es poco probable que este enfoque sea viable en la pesca comercial a gran escala, pero podría aplicarse en la pesca en pequeña escala o recreativa para beneficiar a las especies amenazadas.

### **3.2.4 Cebos artificiales (calificación: requiere un mayor desarrollo)**

Los cebos artificiales ya se utilizan en la pesca comercial y están diseñados principalmente para atraer especies objetivo, pero podrían ser poco atractivos para los tiburones (Erickson et al. 2000, Gilman et al. 2008, Løkkeborg et al. 2014). Pueden estar hechos de productos de desecho en lugar de pescado que de otro modo podría usarse para el consumo humano (cebos artificiales de base ecológica (EBAB); (Bach et al. 2012). El proceso de fabricación de cebos artificiales brinda la oportunidad de incorporar repelentes olfativos que pueden reducir las interacciones de los tiburones con los cebos (Erickson et al. 2000). Este enfoque puede tener un doble impacto positivo al reducir la captura incidental de tiburones y reducir los costos para los pescadores de la reducción de la depredación del cebo (O'Keefe et al. 2014). Los ensayos de campo de cebos artificiales han mostrado resultados iniciales prometedores en la reducción de las tasas de captura incidental (Erickson et al. 2000 y Bach et al. 2012), y un aumento en la captura objetivo (Erickson et al. 2000). Sin embargo, la especificidad de la especie era evidente, donde Requiem (*Carcharhinidae*), Mako (*Isurus sp.*) y tiburones martillo

(*Sphyrnidae sp.*) no tuvieron captura de cebos artificiales, pero las tasas de captura de tiburón azul y punta blanca oceánica (*Carcharhinus longimanus*) no difirieron de los tipos de cebo regulares (Bach et al. 2012). Sería necesario realizar ensayos locales para determinar las respuestas de los tiburones antes de poder utilizar cebos artificiales.

### **3.2.5 Eliminación de cosquillas (Clasificación: recomendado)**

Las cadenas de cosquilleo son un arte opcional que se coloca por delante de las redes de arrastre demersales y perturba las especies bentónicas del fondo marino, aumentando las tasas de captura de especies de especies objetivo. Kynoch et al. (2015) encontraron que la tasa de captura de tiburones se redujo significativamente cuando se eliminó el cosquilleo, sin afectar las tasas de captura de la mayoría de las especies objetivo.

### **3.2.6 Tamaño de malla de red de enmalle (clasificación: recomendado)**

El tamaño de malla de las redes de enmalle y trasmallo puede utilizarse para seleccionar las clases de tamaño/edad de las especies objetivo y no objetivo (Kirkwood y Walker 1986). Es importante señalar que el tamaño de malla no puede seleccionar especies no objetivo a menos que exista una clara diferencia de tamaño entre las especies objetivo y no objetivo. La selectividad es útil cuando es necesario proteger determinadas clases de edad, por ejemplo, los menores que deben mantener el reclutamiento en las poblaciones (Ceyhan et al. 2010). Las redes de enmalle tienen altas tasas de mortalidad y lesiones una vez que se captura un individuo (Rulifson 2007, Thorpe y Frierson 2009, Baremore et al. 2012), por lo que seleccionar el tamaño de malla óptimo es fundamental para reducir la captura incidental mientras se mantiene la captura objetivo (McAuley et al. 2007, Rulifson 2007, Baremore et al. 2012). Los estudios de campo han confirmado que es posible determinar rangos óptimos de tamaño de malla para redes de enmalle y trasmallo que reducen sustancialmente la captura de tiburones juveniles (Carlson y Cortés 2003, Ceyhan et al. 2010)

Un enfoque de modelización es una técnica muy útil para establecer el tamaño de malla más apropiado que maximice la captura de tamaño objetivo y minimice la captura de tamaño no objetivo. Se han realizado varios estudios que han modelado la selectividad del tamaño en redes de enmalle para muchos tiburones capturados comúnmente (por ejemplo, Kirkwood y Walker 1986, Carlson y Cortés 2003, McAuley et al. 2007, Rulifson 2007, Ceyhan et al. 2010 , Baremore et al. 2012)). Estos procedimientos de modelización son bien conocidos, por lo que la selección de tamaños de malla apropiados para otras especies donde se necesita la protección de clases particulares de tamaño / edad en las pesquerías con redes de enmalle y trasmallo debe ser sencilla.

### **3.2.7 Tensión de la red de enmalle (clasificación: requiere un mayor desarrollo)**

La selectividad de las redes de enmalle y trasmallo puede mejorarse aumentando la tensión de la red. En general, con el aumento de la tensión neta, menor es la probabilidad de captura y posterior envoltura y enredo. Thorpe y Frierson (2009) realizaron ensayos de redes de enmalle ancladas modificadas y no modificadas y notificaron tasas de captura significativamente más bajas de tiburones nariz negra y punta negra (*Carcharhinus limbatus*) en redes modificadas, sin afectar la tasa de captura de las especies objetivo. Sin embargo, las tasas de captura de tiburones cabeza de palo (*Sphyrna tiburo*) fueron uniformes en todos los tamaños de malla y redes modificadas / no modificadas debido a su exagerado cephalophoil que resultó en una "envoltura de martillo". Por lo tanto, esta técnica no sería adecuada para otras especies que tienen una fisiología similar, por ejemplo, los tiburones martillo. A pesar de la limitada evidencia disponible para esta técnica, esta parece ser una medida relativamente simple que podría aplicarse utilizando el equipo existente, lo que justifica ensayos de campo adicionales.

### **3.2.8 DCP – Construcción y despliegue (Calificación: recomendada)**

Los dispositivos de agregación de peces (DCP) son estructuras flotantes ancladas (AFAD) o a la deriva (DFAD) con apéndices o colas submarinas desplegadas por los pescadores para crear microhábitat y refugio en el océano abierto (Restrepo et al. 2016). Se utilizan principalmente en la pesca de cerco, pero también en la pesca con caña y línea (Miller et al. 2017), y se construyen a partir de una gama de materiales que incluyen muchos materiales no biodegradables hechos por el hombre, por ejemplo, redes de pesca, botellas de plástico, poliestireno, fibra de vidrio que luego pueden convertirse en un problema sustancial de contaminación marina (Escalle et al. 2019, Proctor et al., 2019, Churchill 2021, Gillman et al., 2022).

Su uso ha aumentado sustancialmente desde que se introdujeron por primera vez en la década de 1990, lo que lleva a un aumento en el volumen y la diversidad de la captura incidental (Watson et al. 2009). Los DCP están asociados con el enredo incidental y el ahogamiento, con un estimado de dos millones de tiburones muertos en todo el mundo cada año (Dagorn et al. 2012a, Filmlalter et al. 2013). La pesca fantasma después de que se abandona un DCP es otra fuente de mortalidad por captura incidental no documentada, ya que muchos se pierden o abandonan y pueden desplazarse miles de kilómetros en las corrientes oceánicas (Escalle et al. 2019).

Cambiar los diseños y los métodos de construcción para crear DCP no entrelazados es posiblemente el método más práctico para reducir la captura de tiburones (Restrepo et al. 2019b) y posiblemente eliminar el enredo por completo (Restrepo et al. 2016). Los cambios relativamente simples, como el uso de un tamaño de malla óptimo, el peso de las redes para mantener la tensión, el enrollar las redes en "salchichas" o la sustitución de las redes por completo con cuerdas, pueden reducir la captura incidental (Dagorn et al. 2012a, Dagorn et al. 2013, Restrepo et al. 2019b). Además, crear apéndices más largos y colocarlos más profundos en la columna de agua puede reducir la captura incidental de algunas especies (Orue et al. 2019).

Para abordar el tema de la contaminación marina, el uso de materiales biodegradables (Ardill et al. 2011, Dagorn et al. 2013, Escalle et al. 2019, Restrepo et al. 2019a, Restrepo et al. 2019b), ya ha sido adoptado por algunas OROP (Restrepo et al. 2019a), aunque todavía existe la necesidad de acordar definiciones de materiales biodegradables y promover el cambio progresivo de estos materiales donde no es posible un cambio inmediato (Zudaire et al. 2021). Si bien la eliminación completa de los DCP y, por lo tanto, la captura incidental alrededor de los dispositivos flotantes pueden no ser posibles a corto plazo, estas medidas pueden reducir en gran medida su impacto.

### **3.2.9 DCP – Cambiar la estrategia de pesca (Calificación: recomendada)**

Cambiar la estrategia de pesca cuando se utilizan DCP puede dar lugar a una mejora de las tasas de captura incidental. En las pesquerías de cerco, establecer escuelas libres y no utilizar DCP en absoluto puede reducir la captura incidental de 3 a 6 veces y producir una captura de "mayor valor" (Ardill et al. 2011, Dagorn et al. 2013, Restrepo et al. 2016). Otra estrategia es establecer solo grandes bancos de atún, donde la proporción de captura a captura incidental disminuye a medida que aumenta el tamaño de la captura (Dagorn et al. 2012b). Evitar los conjuntos en pequeños bancos de especies objetivo parece ser una medida de mitigación de la captura incidental simple y efectiva, especialmente porque la mayoría de los pescadores ya tienen equipos como boyas habilitadas para el Satélite de Posicionamiento Global (GPS) y ecosondas que se pueden usar para determinar la captura probable (Lopez et al. 2017).

Cambiar el calendario de los conjuntos para explotar las diferencias en el comportamiento diel de las especies objetivo y no objetivo puede no ser una estrategia de mitigación efectiva. Los estudios de marcado han demostrado que no hay diferencias temporales en la agregación de especies objetivo/no objetivo en los DCP existentes (Dagorn et al. 2012a, Forget et al. 2015), por lo que acciones como la realización de series nocturnas pueden no ser efectivas. Sin embargo, López et al. (2017) encontraron que este comportamiento es muy variable y difiere entre regiones, lo que requiere estudios específicos regionales para confirmar las prescripciones apropiadas para pesquerías individuales. Además, Orue et al. (2019) informaron de una pequeña ventana de dos semanas inmediatamente después de que se desplieguen los DCP, donde se agregan las especies objetivo y antes de que lleguen las especies no objetivo que podrían explotarse y reducir la captura incidental. Sin embargo, la mayoría de los DCP se utilizan con mayor frecuencia más allá de esta ventana de tiempo de implementación inicial, por lo que cualquier reducción en la captura incidental sería de corta duración. Finalmente, un ensayo para alejar a los tiburones del FAD remolcando bolsas de cebo antes del cuajado demostró el potencial de este método, pero los tamaños de muestra pequeños no permitieron sacar conclusiones firmes (Dagorn et al. 2012a).

### **3.2.10 Método de captura de cambios (clasificación: recomendado)**

Si bien el uso de artes alternativas puede no ser práctico en todas las circunstancias (Ardill et al. 2011), cambiar el método de captura puede reducir las tasas de captura incidental de tiburones. Para abordar la captura incidental de tiburón de Groenlandia (*Somniosus microcephalus*), se realizaron ensayos para evaluar si era factible cambiar de la captura fija de palangre y redes de enmalle a trampas noruegas. En un ensayo pareado realizado por Grant (2015) con trampas de olla y palangres, la captura incidental del tiburón de Groenlandia se redujo a cero en las trampas sin reducir la captura objetivo, mientras que 15 individuos fueron capturados en palangres. Un mayor refinamiento del diseño de la olla también registró cero capturas incidentales de tiburones de Groenlandia, y las tasas de captura incidental de otras especies no objetivo fueron significativamente más bajas (Folkins et al. 2021).

### **3.3 Aumentar el escape**

Si los tiburones pueden escapar o ser liberados mientras aún están en el agua, tienen muchas más posibilidades de sobrevivir al encuentro (Ardill et al. 2011, Poisson et al. 2014). También hay beneficios de seguridad para los pescadores en la liberación de tiburones en el agua al minimizar el potencial de mordeduras y colisiones físicas durante el desenganche o desenredo de peces desembarcados (Poisson et al. 2011, Poisson et al. 2012, Zollett y Swimmer 2019).

#### **3.3.1 Material líder (Calificación: recomendada)**

Los líderes de alambre tienen tasas de captura más altas y mortalidad en el buque de los tiburones en comparación con los líderes de nylon (Ward et al. 2008, Gilman et al. 2016, Santos et al. 2017, pero ver Afonso et al. 2012), con algunos estudios que también informan aumentos en las tasas de captura objetivo cuando se usaron líderes de nylon (Ward et al. 2008, Afonso et al. 2012). Las tasas de captura más bajas de tiburones en estos estudios se han atribuido a la capacidad de los tiburones para morder al líder de nylon y escapar hasta cuatro veces la velocidad en comparación con los líderes de alambre (Afonso et al. 2012, Santos et al. 2017). Afonso et al. (2012) demostraron que cuando se incluyeron todas las mordeduras de tiburón, la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) fue la misma entre los tipos de líderes, por lo que la imagen puede no ser tan clara como se pensó al principio. Estos resultados indican que el material líder en sí mismo puede no afectar las tasas de captura; Más bien, el nylon facilita el escape antes del acarreo. La disminución de la mortalidad en los

buques de los tiburones capturados en líderes de nylon fue casi universal a partir de los estudios revisados, con la excepción de Afonso et al. (2012), quienes informaron una mayor mortalidad en los vasos en los líderes de nylon, con tiburones sedosos (*Carcharhinus falciformis*), punta blanca oceánica y zorros que solo se encontraron vivos en el acarreo en los líderes de alambre. A pesar de estos resultados contradictorios, las revisiones de Ardill et al. (2011), Patterson et al. (2014) y un metaanálisis realizado por Musyl y Gilman (2019) coinciden en que los líderes de nylon son preferibles, y que los líderes de alambre deben prohibirse como ya se implementó en Australia y Sudáfrica (Gilman et al. 2008). En general, el cambio de alambre a material de nylon es un medio eficaz para reducir la captura incidental de tiburones, pero cualquier equipo de arrastre (anzuelos, líderes y otros aparejos que estén mal enganchados) debe eliminarse, preferiblemente antes de ser llevado a bordo para aumentar la supervivencia posterior a la liberación (Sepúlveda et al. 2015, Musyl y Gilman 2019, Grant et al. 2020).

### **3.3.2 Construcción líder (calificación: requiere más desarrollo)**

La construcción líder puede influir en las tasas de captura de tiburones. Stone y Dixon (2001) encontraron que los ganglios de nylon multifilamento trenzados y alquitranados capturaron alrededor de la mitad del número de tiburones y especies objetivo en comparación con los ganglios de monofilamento, lo que atribuyeron a la mayor visibilidad de los gangliones multifilamento. Grant et al. (2020) también probaron la diferencia entre estos dos tipos de ganglios e informaron lo contrario, con tres veces menos tiburón de Groenlandia capturado en monofilamento. Esto se atribuyó a las mordeduras, ya que la tasa de pérdida de gancho se duplicó para el monofilamento, pero se señaló que el enganche en el fondo del mar puede haber influido en este resultado. La falta de estudios y resultados contrastantes significa que esta técnica requeriría más trabajo antes de hacer una evaluación.

### **3.3.3 Escotillas/paneles de evacuación en el equipo de cerco con jareta (clasificación: requiere un mayor desarrollo)**

Los paneles / escotillas de escape se han probado en pesquerías de cerco con jareta con un éxito limitado (Itano et al. 2012, Restrepo et al. 2016), sin embargo, con refinamientos que incluyen la posición de la escotilla y la consideración de las condiciones del mar (por ejemplo, la dirección actual) se pueden lograr mejoras (Itano et al. 2012). Otro enfoque probado fue sacar a los tiburones de la red mediante la creación de una gran ventana de escape que permite que el FAD sea remolcado antes de cerrar el monedero (Dagorn et al. 2012a). Los resultados de este estudio no fueron concluyentes, ya que no todos los tiburones siguieron el FAD, tal vez debido a la presencia cercana del ruido del buque o del propulsor (Restrepo et al. 2016). Es necesario investigar el comportamiento de las especies objetivo y no objetivo mientras están dentro de la red para determinar si la segregación entre los dos grupos en cualquier etapa puede ser explotada (Poisson et al. 2021). Estas medidas no pueden recomendarse actualmente sin más ensayos de campo.

### **3.3.4 Excluidores en redes de arrastre (Clasificación: recomendado)**

En las redes de arrastre, los excluidores son una medida eficaz de mitigación de las capturas accesorias para grandes especies no objetivo sin afectar a las tasas de captura objetivo y pueden aumentar el valor de las capturas objetivo mediante la reducción de los daños (Brewer et al. 2006, Chosid et al. 2012, Vasapollo et al. 2019). Los excluyentes se desarrollaron principalmente para excluir las tortugas marinas (Brewer et al. 1998) y los mamíferos marinos (Hamilton y Baker 2019) donde existe una gran diferencia de tamaño entre las especies objetivo y no objetivo, pero también se han utilizado para reducir la captura de tiburones (Stobutzki et al. 2002).

La investigación se ha centrado en probar los diseños de excluidores y la configuración de las aberturas de escape (Brewer et al. 1998, Stephenson et al. 2008), el uso de un embudo dentro de la red para mantener la captura objetivo cuando se usa un exclusor (Fennessy e Isaksen 2007, Zeeberg et al. 2006), la selectividad del tamaño de los excluidos y el espaciado de la cuadrícula (Brčić et al. 2015), los efectos del color de la parrilla, el ángulo de la cuadrícula y la ubicación de la escotilla de escape (es decir, la configuración) (Chosid et al. 2012, Wakefield et al. 2017), y la evaluación de la efectividad del exclusor en la totalidad de los estudios pesqueros (Raborn et al. 2012), la mayoría de los cuales han reportado impactos positivos en la captura incidental. No todos los ensayos de excluidores han tenido éxito, lo que demuestra que la aplicación de una técnica en un área puede no traducirse a otras áreas sin ensayos y ajustes para adaptarse a las condiciones locales (Shepherd y Myers 2005, Brčić et al. 2015). Shepherd y Myers (2005) también informaron que a pesar del uso obligatorio de excluidores durante más de 20 años, la ausencia de otras medidas de mitigación complementarias no ha sido suficiente para detener la disminución de la población de tiburones. A pesar de estas preocupaciones, está claro que el uso de excluidores cuando se configuran correctamente puede reducir sustancialmente la captura incidental de tiburones.

### **3.4 Disminuir la mortalidad en los vasos y aumentar la supervivencia posterior a la liberación**

Si la captura de tiburones no puede evitarse por completo y las técnicas para permitir el escape no son efectivas o prácticas, las últimas opciones para los pescadores son reducir la mortalidad en el buque y aumentar la supervivencia posterior a la liberación después de la captura y el manejo. Como el objetivo general de la mitigación de la captura incidental es garantizar que los individuos no objetivo sigan siendo viables en la población, es crucial tomar medidas para garantizar que los tiburones sobrevivan a encuentros inevitables. En muchas situaciones, en particular en los países en desarrollo, donde no es posible trasladarse a diferentes áreas, cambiar las configuraciones de los aparejos o detener la pesca por completo, esta puede ser la única opción viable disponible para los pescadores (Gupta et al. 2020).

Varios estudios han demostrado que muchas especies son particularmente susceptibles al proceso de captura, por lo que las técnicas para aumentar la supervivencia y las disposiciones de liberación obligatoria sirven de poco ya que es probable que el tiburón muera poco después (Morgan et al. 2009, Marshall et al. 2015). Sin embargo, algunas especies como el tiburón azul y el tiburón tigre son robustas y sobreviven bien al proceso de captura, lo que las convierte en buenas candidatas para su liberación (Morgan y Burgess 2007, Musyl et al. 2011, Nunes et al. 2019). Como parte de cualquier estrategia de mitigación de capturas incidentales, es imperativo que se recopilen datos sobre las especies capturadas y qué tan bien sobreviven al manejo para que se puedan tomar decisiones informadas sobre técnicas de manejo apropiadas específicas de la especie.

#### **3.4.1 Reduzca el tiempo de remojo / tiempo en línea (calificación: recomendado)**

Reducir el tiempo de inmersión de los aparejos y, por lo tanto, el tiempo que un tiburón es atrapado es una forma sencilla de reducir la mortalidad en el vaso y aumentar la supervivencia posterior a la liberación para la mayoría de los aparejos (Ward et al. 2004, Diaz y Serafy 2005, Morgan y Burgess 2007, Morgan et al. 2009, Morgan y Carlson 2010, Carruthers et al. 2011, Poisson et al. 2011, Braccini et al. 2012, Gallagher et al. 2014, Marshall et al. 2015, Bell and Lyle 2016, Nunes et al. 2019). Cuanto más tiempo un tiburón está atrapado en artes de pesca, más probable es que sufra lesiones, hipoxia, agotamiento y depredación que resulte en mortalidad (Cook et al. 2019). Una medida inmediata para disminuir la mortalidad

de tiburones es cesar la práctica de arrastrar tiburones en palangres hasta que se procese el resto de la captura, lo que en la práctica reduciría el tiempo de remojo (Musyl y Gilman 2019).

Los estudios de tiburones marcados con satélite han confirmado que cuando un tiburón se desembarca en buenas condiciones, lo que generalmente es el resultado de un tiempo más corto capturado en los engranajes, la supervivencia posterior a la liberación es mucho más probable (Moyes et al. 2006, Musyl et al. 2011, Tolotti et al. 2015). El impacto de la reducción del tiempo de inmersión en la captura objetivo parece ser mínimo, pero también puede resultar en una reducción de las tasas de captura de tiburones, lo cual es un resultado deseable (Ward et al. 2004). Sin embargo, el hallazgo general de que la reducción de los tiempos de remojo tiene un impacto positivo en la supervivencia no se aplica a todas las especies: Morgan et al. (2009) encontraron que el aumento del tiempo de remojo no tuvo ningún impacto en la supervivencia en el vaso para *el tiburón toro (Carcharhinus leucas)* y *el tiburón oscuro (Carcharhinus obscurus)*. Frick et al. (2010) informaron que el tiburón gomoso (*Mustelus antarcticus*) sufrió una alta mortalidad por captura en redes de enmalle en un entorno experimental, incluso con tiempos de remojo muy cortos. Contrariamente a las expectativas, la supervivencia posterior al encuentro aumentó con el aumento de los tiempos de remojo. El mismo estudio también informó que las mismas especies tenían tasas de mortalidad muy bajas cuando se capturaban en artes de palangre, lo que demuestra la importancia del conocimiento específico de la especie sobre las interacciones del tipo de aparejos al diseñar una estrategia de mitigación.

Otros factores que deben considerarse al evaluar el tiempo de remojo incluyen una mayor supervivencia asociada con el aumento del tamaño corporal (Díaz y Serafy 2005, Gallagher et al. 2014, pero ver Morgan y Carlson 2010), la disminución de la supervivencia asociada con el aumento de la temperatura del agua (ver más abajo, Gallagher et al. 2014) y la mortalidad específica por sexo donde los machos capturados tienen una mortalidad más alta que las mujeres (Coelho et al. 2012). Estos factores se complican aún más por las respuestas específicas de la especie, por ejemplo, Morgan y Carlson (2010) encontraron que el aumento del tamaño corporal y el mayor tiempo en línea aumentaron la mortalidad en los tiburones de banco de arena (*Carcharhinus plumbeus*), *mientras que* Díaz y Serafy (2005) encontraron lo contrario para el tiburón azul. A pesar de estos matices específicos de la especie, reducir los tiempos de remojo es una mitigación efectiva y relativamente simple de implementar para la captura incidental de tiburones (Cook et al. 2019, Musyl y Gilman 2019, Zollett y Swimmer 2019).

### **3.4.2 Temperatura del agua (clasificación: requiere un mayor desarrollo)**

Las temperaturas más altas del agua pueden resultar en una mayor mortalidad en el vaso para múltiples especies de tiburones (Morgan y Burgess 2007, Braccini et al. 2012). Esto se debe a la respuesta al estrés de la captura que reduce el pH de la sangre y causa acidosis, que aumenta a medida que aumenta la temperatura del agua (Hyatt et al. 2018). En contraste, Dapp et al. (2017) encontraron lo contrario para el tiburón azul, donde la mortalidad fue mayor en temperaturas más bajas del agua. Una revisión de Gale et al. (2013) encontró que el 70% de los estudios concluyeron que las temperaturas más cálidas contribuyeron a un aumento en la mortalidad en los vasos. La temperatura del agua podría usarse para determinar cierres de tiempo / área cuando las temperaturas del agua alcanzan un umbral particular (Morgan y Burgess 2007). Esto puede ser particularmente útil a medida que las temperaturas del agua aumentan a nivel mundial debido al cambio climático, pero requerirá el conocimiento de las reacciones específicas de la especie en las condiciones locales.

### **3.4.3 Tipo de gancho (clasificación: recomendado)**

Reemplazar los anzuelos J con ganchos circulares generalmente resulta en menos enganche interno o intestinal, tasas más altas de enganche de mandíbula y menor mortalidad en el vaso para los tiburones. Se ha encontrado que el enganche interno es consistentemente mayor cuando se usan ganchos J en comparación con los ganchos circulares (Watson et al. 2005, Ward et al. 2009, Al-Qartoubi et al. 2018, Nunes et al. 2019), y los ganchos circulares tienen más probabilidades de engancharse en la boca o la mandíbula, lo que hace que la liberación sea más fácil y rápida (Kerstetter y Graves 2006, Al-Qartoubi et al. 2018, Grant et al. 2020). Cuando se engancha internamente, la liberación a menudo solo es posible cortando el líder, lo que deja el gancho en su lugar donde puede causar lesiones internas o dejar el equipo de arrastre unido, reduciendo la supervivencia posterior a la liberación (Sepúlveda et al. 2015, Nunes et al. 2019). Las comparaciones de los tipos de anzuelos han reportado casi universalmente una mayor mortalidad en los vasos cuando se usan anzuelos J (Kerstetter y Graves 2006, Carruthers et al. 2009, Reinhardt et al. 2018, Nunes et al. 2019, Zollett y Swimmer 2019, pero ver Afonso et al. 2012).

Si bien el cambio de anzuelos J a anzuelos circulares parece ser una medida efectiva de mitigación de la captura incidental, existe una compensación contra una CPUE aparentemente más alta para múltiples especies de tiburones en anzuelos circulares (por ejemplo, Afonso et al. 2011, Ward et al. 2009, Reinhardt et al. 2018). Sin embargo, el aumento de la CPUE de tiburones en los anzuelos circulares no es universal (Kim et al. 2006, Yokota et al. 2006) y las respuestas específicas de la especie pueden desempeñar un papel en la determinación de las tasas de captura (Fernandez-Carvalho et al. 2015). Algunos autores también han atribuido diferentes resultados en estudios de CPUE de tiburones al tipo de cebo utilizado (Amorim et al. 2015, Gilman et al. 2007b, Watson et al. 2005, Godin et al. 2012). El conocimiento de la preferencia de cebo de especies locales y cómo esto interactúa con el tipo de anzuelo es crucial para una implementación exitosa.

Independientemente de la variedad de respuestas al tipo de anzuelo informado, existe un acuerdo general de que los anzuelos circulares parecen aumentar la CPUE para los tiburones, pero las tasas de enganche interno y las lesiones posteriores son más bajas en comparación con los anzuelos J (Ardill et al. 2011, Graves et al. 2012, Patterson et al. 2014, Favaro y Cote 2015, Gilman et al. 2016, Reinhardt et al. 2018). Sin embargo, esto debe tratarse con precaución ya que los diferentes artes, lugares de pesca, tiempo, especies objetivo, especies no objetivo, tipo de cebo y tamaño / forma de los anzuelos pueden confundir los resultados (Godin et al. 2012, Graves et al. 2012).

### **3.4.4 Ganchos modificados (clasificación: requiere más desarrollo)**

Similar al efecto del tamaño del cebo, el uso de anzuelos más grandes también puede afectar la selectividad, con anzuelos grandes que capturan peces grandes y anzuelos pequeños que capturan peces pequeños (Morgan et al. 2009). Esto puede proporcionar una herramienta útil para proteger determinadas clases de tamaño o edad, por ejemplo, los menores necesarios para el reclutamiento. Ha habido pocos estudios que hayan investigado el efecto del aumento del tamaño/ancho del anzuelo en la CPUE, con resultados variados que incluyen una reducción de la CPUE tanto para las especies objetivo como para las que están en el objetivo (Swimmer et al. 2011) y el aumento de la CPUE para ambas (Gilman et al. 2012). Gilman et al. (2018) informaron respuestas específicas de especies objetivo y no objetivo distintas en un ensayo de tres tamaños de anzuelo diferentes, lo que ilustra la necesidad de realizar ensayos locales antes de una implementación más amplia. La modificación de la altura y el ancho del gancho puede influir en la selectividad del engranaje, pero esto requiere más estudios para determinar los tamaños óptimos para adaptarse a las condiciones locales.

### **3.4.5 Lanzamiento antes del acarreo (clasificación: recomendado)**

Liberar a un tiburón capturado en el agua antes de ser arrastrado a bordo puede mejorar la supervivencia posterior a la liberación (Musyl y Gilman 2019, Zollett y Swimmer 2019). Cortar a través de los líderes lo más cerca posible del anzuelo en los palangres en el lado del buque, o la liberación antes del barandilla en redes de cerco (Ardill et al. 2011, Poisson et al. 2014), son dos técnicas relativamente simples que pueden mejorar la supervivencia posterior a la liberación. La liberación en esta etapa del proceso de captura elimina casi por completo los riesgos de mortalidad asociados con el manejo, el aplastamiento, las abrasiones y la hipoxia, y beneficia a los pescadores al reducir el riesgo de lesiones de los tiburones desembarcados (Poisson et al. 2011, Poisson et al. 2012, Cook et al. 2019, Zollett and Swimmer 2019).

### **3.4.6 Técnicas de manipulación (Calificación: recomendada)**

Los estudios de marcado satelital de múltiples especies de tiburones han informado que las técnicas de manejo cuidadoso aumentan la supervivencia posterior a la liberación (por ejemplo, Musyl et al. 2011, Poisson et al. 2011, Poisson et al. 2014). Esta es una de las pocas medidas de mitigación de la captura incidental de tiburones donde existe un acuerdo completo sobre su efectividad en todos los estudios revisados. Es fácil de implementar, a bajo costo o sin costo para los pescadores, y da como resultado una menor mortalidad para los tiburones capturados (Gupta et al. 2020). La implementación de esta técnica se basa en la educación de los pescadores. Para lograr esto, Poisson et al. (2012) produjeron una guía simple, informativa e ilustrativa para pescadores de cerco sobre técnicas de manejo de mejores prácticas, que proporciona un excelente modelo para otras pesquerías.

### **3.4.7 Capas freáticas para la clasificación y liberación de rampas (Calificación: requiere mayor desarrollo)**

En relación con los problemas de las técnicas de manejo adecuadas y la reducción del tiempo que un tiburón está a bordo y fuera del agua, algunos estudios han abogado por el uso de capas freáticas y rampas de liberación en los buques pesqueros para facilitar la clasificación rápida y el retorno más seguro al agua de las especies capturadas incidentalmente (Poisson et al. 2012, Cook et al. 2019). Las capas freáticas pueden ser simplemente una mesa con lados altos donde se bombea agua de mar para que los peces puedan continuar respirando mientras están fuera del agua. Las rampas de liberación se instalan junto a la mesa de clasificación y permiten el rápido retorno de la captura incidental no objetivo al agua sin la necesidad de manipularla más. Aunque se supone que esto sería beneficioso para aumentar la supervivencia posterior a la liberación, no hemos sido posible localizar ningún estudio que haya demostrado su eficacia. Esta técnica merece una mayor investigación.

## **Conclusiones y orientaciones futuras**

La síntesis de las pruebas anteriores demuestra que no existe una técnica única que pueda aplicarse a todas las especies, artes de pesca y regiones, con la excepción de la mejora de las prácticas de manipulación. Las respuestas a las modificaciones de aparejos varían entre regiones, dependiendo de las condiciones ambientales locales, la composición de las especies y otros factores de confusión, de modo que no se puede suponer que las técnicas que son efectivas en un área funcionen en otra. Para mitigar eficazmente la captura incidental de tiburones, la mayoría de las pesquerías requerirán que se emplee una combinación de técnicas, pero pueden provocar impactos no deseados en otras especies. Esto requerirá que cada pesquería con capturas no intencionales de tiburones evalúe qué especies están capturando, qué no deberían capturar, cuáles de ellas están en mayor riesgo y cuál es la historia de vida, el comportamiento y las características de alimentación que tienen que podrían explotarse para minimizar su captura. También es necesario abordar factores

interactivos de problemas biológicos, ambientales y técnicos para encontrar una solución para estas circunstancias particulares (Broadhurst et al. 2006, Gallagher et al. 2014). Deben realizarse ensayos de técnicas en las esferas pertinentes para garantizar la eficacia antes de exigir un enfoque particular para reducir las capturas incidentales.

Uno de los problemas fundamentales para identificar y evaluar los métodos de mitigación es la escasez de datos detallados sobre la historia de vida y las características de movimiento de muchas especies de tiburones, los factores que contribuyen a la probabilidad de que una especie sea capturada y escape, y los factores estresantes que aumentan la mortalidad. Poisson et al. (2021) describen los avances recientes en tecnología que podrían ayudar en gran medida a identificar lo que realmente ocurre cuando se captura un tiburón, incluido el uso de vehículos submarinos autónomos (UAV) y drones aéreos para ayudar a los pescadores a decidir dónde y cuándo se deben establecer los aparejos para maximizar la captura objetivo y minimizar la captura incidental. El costo de utilizar estas tecnologías puede ser prohibitivo para muchas pesquerías y Estados, y requiere apoyo técnico y financiero para garantizar un uso generalizado.

Existen múltiples enfoques para mitigar la captura incidental que pueden dividirse en métodos regulatorios (por ejemplo, cuotas, prohibiciones de captura, cierres de tiempo / área, retención total, etc.) y métodos técnicos (por ejemplo, modificaciones de aparejos, cambios en los métodos y técnicas de pesca, etc.), y solo hemos tratado las técnicas de mitigación técnica en este documento. Cualquiera que sea el enfoque que se adopte (incluida la combinación de medidas reglamentarias y técnicas), se debe considerar el nivel de reducción de capturas incidentales requerido, el impacto en la captura de especies objetivo, el impacto en especies no objetivo, los impactos no deseados en otras especies no objetivo y el impacto económico de cualquier técnica (O'Keefe et al. 2014, Poisson et al. 2021) . Equilibrar estos impactos a menudo requiere un enfoque de compensación para maximizar la reducción de la captura incidental mientras se mantiene la viabilidad económica de la pesquería (Booth et al. 2020). Cualquier técnica de mitigación de la captura incidental debe ser práctica y económicamente viable para que los pescadores la adopten voluntariamente, lo que requiere una estrecha participación y aportes de la industria y los administradores de pesquerías (Favaro y Cote 2015).

La prioridad para la mitigación de la captura incidental debe ser evitar la captura. Hay múltiples beneficios tanto para los pescadores como para los tiburones cuando esto se logra, a través de capturas desembarcadas de mayor valor, más oportunidades de capturar especies objetivo, menos lesiones a los pescadores, menos daños y pérdida de artes y menores impactos en el ecosistema. Las medidas técnicas de mitigación más prometedoras para reducir la mortalidad por captura incidental de tiburones son la elección del tipo de cebo, no usar cebos en absoluto, construir DCP no enredados, cambiar la estrategia de pesca cuando se usan DCP, usar tamaños de malla efectivos, eliminar las cadenas de cosquillas o cambiar el método de captura. Algunas técnicas pueden ser mucho más efectivas si se usan en concierto entre sí (Restrepo et al. 2016), pero se debe tener cuidado para garantizar que estos métodos no entren en conflicto entre sí o afecten involuntariamente a otros grupos de especies. Otros métodos previos a la captura que requieren más investigación, desarrollo y ensayos de campo incluyen el uso de cebos artificiales mezclados con repelentes olfativos como necromonas, tamaño óptimo de cebo, repelentes eléctricos activos, luces estroboscópicas, eliminación de palos de luz, aumento de la tensión de la red en redes de enmalle y alejar a los tiburones de los DCP antes de hacer conjuntos, ya que actualmente muchos no parecen ser una opción práctica o requieren más evidencia empírica de su eficacia.

Si no se puede evitar la captura, entonces se deben hacer esfuerzos para permitir el escape antes del regreso. Al igual que evitar la captura, los beneficios para los pescadores incluyen ahorrar tiempo en el arrastre al no tener que desenredar y / o desenganchar tiburones en cubierta, lo que también resultará en menos lesiones para los pescadores. Permitir el escape también elimina el tiempo fuera del agua para los tiburones y reduce el daño a la captura objetivo. Las medidas más efectivas incluyen el uso de líderes de nylon monofilamento en lugar de líderes de alambre o cortar a través de líderes en el gancho en el engranaje de gancho y línea y el uso de excluidores en concierto con BRD configurados adecuadamente, como paneles de escape o escotillas en redes de arrastre.

Por último, si el arrastre después de la captura es inevitable, se deben hacer esfuerzos para reducir la mortalidad en el buque y aumentar la supervivencia posterior a la liberación. El manejo cuidadoso y la liberación rápida de los tiburones, independientemente de los artes utilizados, es esencial. Los cambios en las prácticas de pesca a través de la reducción del tiempo de remojo, la liberación de tiburones de la red cuando el equipo todavía está en el agua, y el uso de anzuelos circulares parecen ser las técnicas más apropiadas disponibles actualmente. El uso de equipos como mesas de clasificación de agua y rampas de liberación también podría ser beneficioso para los tiburones, especialmente los ventiladores de ariete obligados que sufren la mayor mortalidad una vez fuera del agua, pero esto requiere más estudio.

En general, mitigar la captura incidental de tiburones es un problema extremadamente complejo que ninguna técnica va a resolver. Las soluciones deben tener en cuenta la especificidad de las especies, adaptadas a las pesquerías individuales y su marco y objetivos de gestión, tener en cuenta las interacciones entre las estrategias de mitigación y los impactos no deseados, y hacer concesiones entre mantener la captura objetivo y minimizar la captura incidental. La necesidad de datos detallados sobre los movimientos y las historias de vida de las especies de tiburones es urgente y debe priorizarse. Es necesario evaluar las técnicas para la región y las especies donde se desplegarán, y la participación de la industria pesquera debe alentarse y buscarse activamente al principio del proceso. Los pescadores ya poseen un enorme cuerpo de conocimiento que debe ser reconocido, respetado y utilizado en el diseño de cualquier estrategia de mitigación. Sin su aporte y apoyo, ninguna solución de mitigación de la captura incidental será efectiva.

## Referencias

- Afonso, A. S., F. H. V. Hazin, F. Carvalho, J. C. Pacheco, H. Hazin, D. W. Kerstetter, D. Murie and G. H. Burgess (2011) Fishing gear modifications to reduce elasmobranch mortality in pelagic and bottom longline fisheries off Northeast Brazil. *Fisheries Research* 108(2/3): 336-343.
- Afonso, A. S., B. Mourato, H. Hazin and F. H. V. Hazin (2021) The effect of light attractor color in pelagic longline fisheries. *Fisheries Research* 235.
- Afonso, A. S., R. Santiago, H. Hazin and F. H. Hazin (2012) Shark bycatch and mortality and hook bite-offs in pelagic longlines: interactions between hook types and leader materials. *Fisheries Research* 131: 9-14.
- Al-Qartoubi, I. A., S. Bose, H. S. Al-Masroori and A. Govender (2018) Circle hook versus J-hook: A case study of the Sultanate of Oman. *Journal of Agricultural and Marine Sciences* 23: 29-39.
- Amorim, S., M. N. Santos, R. Coelho and J. Fernandez-Carvalho (2015) Effects of 17/0 circle hooks and bait on fish catches in a southern Atlantic swordfish longline fishery. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 25(4): 518-533.
- Ardill, D., D. Itano and R. Gillett (2011). A review of bycatch and discard issues in Indian Ocean tuna fisheries. *Smartfish Working Papers*. Indian Ocean Commission IOTC-2012-WEPB08-INF20.
- Bach, P., T. Hodent, C. Donadío, E. Romanov, L. Dufossé and J. Robin (2012). Bait innovation as a new challenge in pelagic longlining. *EBFMtuna-2012: Towards ecosystem-based management of tuna fisheries, mitigating impacts of fishing on pelagic ecosystems*, MADE Symposium, 15 – 19 October 2012, Montpellier.
- Baremore, I. E., D. M. Bethea and K. I. Andrews (2012) Gillnet selectivity for juvenile blacktip sharks (*Carcharhinus limbatus*). *Fishery Bulletin* 110(2): 230-241.
- Bell, J. D. and J. M. Lyle (2016) Post-capture survival and implications for by-catch in a multi-species coastal gillnet fishery. *PLoS ONE* 11(11): e0166632.
- Bielli, A., J. Alfaro-Shigueto, P. D. Doherty, B. J. Godley, C. Ortiz, A. Pasara, J. H. Wang, J. C. Mangel (2020) An illuminating idea to reduce bycatch in the Peruvian small-scale gillnet fishery. *Biological Conservation* 241: 108277
- Booth, H., D. Squires and E. J. Milner-Gulland (2020) The mitigation hierarchy for sharks: A risk-based framework for reconciling trade-offs between shark conservation and fisheries objectives. *Fish and Fisheries* 21(2): 269-289.
- Braccini, M., J. Van Rijn and L. Frick (2012) High post-capture survival for sharks, rays and chimaeras discarded in the main shark fishery of Australia? *PLoS ONE* 7(2): e32547.
- Brčić, J., B. Herrmann, F. De Carlo and A. Sala (2015) Selective characteristics of a shark-excluding grid device in a Mediterranean trawl. *Fisheries Research* 172: 352-360.
- Brewer, D., D. Heales, D. Milton, Q. Dell, G. Fry, B. Venables and P. Jones (2006) The impact of turtle excluder devices and bycatch reduction devices on diverse tropical marine communities in Australia's northern prawn trawl fishery. *Fisheries Research* 81(2-3): 176-188.
- Brewer, D., N. Rawlinson, S. Eayrs and C. Burrige (1998) An assessment of bycatch reduction devices in a tropical Australian prawn trawl fishery. *Fisheries Research* 36(2-3): 195-215.
- Brill, R., P. Bushnell, L. Smith, C. Speaks, R. Sundaram and J. Wang (2009) The repulsive and feeding-deterrent effects of electropositive metals on juvenile sandbar sharks (*Carcharhinus plumbeus*). *Fishery Bulletin* 107(3): 298.
- Broadhurst, M. K., P. Suuronen and A. Hulme (2006) Estimating collateral mortality from towed fishing gear. *Fish and Fisheries* 7(3): 180-218.
- Broadhurst, M. K. and D. J. Tolhurst (2021) Null effects of decomposing shark tissue on baited-hook catches of elasmobranchs. *Regional Studies in Marine Science*: 101898.
- Campana, S. E., W. Joyce, M. Fowler and M. Showell (2016) Discards, hooking, and post-release mortality of porbeagle (*Lamna nasus*), shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*), and blue shark (*Prionace glauca*) in the Canadian pelagic longline fishery. *ICES Journal of Marine Science* 73(2): 520-528.
- Carlson, J. K. and E. Cortés (2003) Gillnet selectivity of small coastal sharks off the southeastern United States. *Fisheries Research* 60(2-3): 405-414.

- Carruthers, E. H., J. D. Neilson and S. C. Smith (2011) Overlooked bycatch mitigation opportunities in pelagic longline fisheries: Soak time and temperature effects on swordfish (*Xiphias gladius*) and blue shark (*Prionace glauca*) catch. *Fisheries Research* 108(1): 112-120.
- Carruthers, E. H., D. C. Schneider and J. D. Neilson (2009) Estimating the odds of survival and identifying mitigation opportunities for common bycatch in pelagic longline fisheries. *Biological Conservation* 142(11): 2620-2630.
- Ceyhan, T., O. Hepkafadar and Z. Tosunoglu (2010) Catch and size selectivity of small-scale fishing gear for the smooth-hound shark *Mustelus mustelus* (Linnaeus, 1758)(Chondrichthyes: Triakidae) from the Aegean Turkish coast. *Mediterranean Marine Science* 11(2): 213-224.
- Chapuis, L., S. P. Collin, K. E. Yopak, R. D. McCauley, R. M. Kempster, L. A. Ryan, C. Schmidt, C. C. Kerr, E. Gennari, C. A. Egeberg and N. S. Hart (2019) The effect of underwater sounds on shark behaviour. *Scientific Reports* 9:6924: 1-11.
- Chosid, D. M., M. Pol, M. Szymanski, F. Mirarchi and A. Mirarchi (2012) Development and observations of a spiny dogfish *Squalus acanthias* reduction device in a raised footrope silver hake *Merluccius bilinearis* trawl. *Fisheries Research* 114: 66-75.
- Churchill, R. (2021) Just a Harmless Fishing Fad—or Does the Use of FADs Contravene International Marine Pollution Law? *Ocean Development & International Law* 52:2, 169-192.
- Clarke, S., M. Sato, C. Small, B. Sullivan, Y. Inoue and D. Ochi (2014). Bycatch in longline fisheries for tuna and tuna-like species: a global review of status and mitigation measures. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 588*. FAO (Food & Agriculture Organisation), Rome.
- Clarke, S. C., M. K. McAllister, E. J. Milner-Gulland, G. Kirkwood, C. G. Michielsens, D. J. Agnew, E. K. Pikitch, H. Nakano and M. S. Shivji (2006) Global estimates of shark catches using trade records from commercial markets. *Ecology Letters* 9(10): 1115-1126.
- CMS (2016) The Memorandum of Understanding on the Conservation of Migratory Sharks. Retrieved 24 March 2022, from <https://www.cms.int/sharks/en/page/sharks-mou-text>.
- Coelho, R., J. Fernandez-Carvalho, P. G. Lino and M. N. Santos (2012) An overview of the hooking mortality of elasmobranchs caught in a swordfish pelagic longline fishery in the Atlantic Ocean. *Aquatic Living Resources* 25(4): 311-319.
- Cook, K. V., A. J. Reid, D. A. Patterson, K. A. Robinson, J. M. Chapman, S. G. Hinch and S. J. Cooke (2019) A synthesis to understand responses to capture stressors among fish discarded from commercial fisheries and options for mitigating their severity. *Fish and Fisheries* 20(1): 25-43.
- Cosandey-Godin, A. and A. Morgan (2011). *Fisheries bycatch of sharks: options for mitigation*. Ocean Science Division, Pew Environment Group, Washington DC, USA.
- Dagorn, L., J. Filmlalter and F. Forget (2012a) Summary of results on the development of methods to reduce the mortality of silky sharks by purse seiners. Eighth working party on ecosystems and bycatch, Cape Town, South Africa: 17-19.
- Dagorn, L., J. D. Filmlalter, F. Forget, M. J. Amandè, M. A. Hall, P. Williams, H. Murua, J. Ariz, P. Chavance and N. Bez (2012b) Targeting bigger schools can reduce ecosystem impacts of fisheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 69(9): 1463-1467.
- Dagorn, L., K. N. Holland, V. Restrepo and G. Moreno (2013) Is it good or bad to fish with FADs? What are the real impacts of the use of drifting FADs on pelagic marine ecosystems? *Fish and Fisheries* 14(3): 391-415.
- Dapp, D. R., C. Huveneers, T. I. Walker, J. Mandelman, D. W. Kerstetter and R. D. Reina (2017) Using logbook data to determine the immediate mortality of blue sharks (*Prionace glauca*) and tiger sharks (*Galeocerdo cuvier*) caught in the commercial U.S. pelagic longline fishery. *Fishery Bulletin* 115(1): 27-41.
- Darquea, J. J., C. Ortiz-Alvarez, F. Córdova-Zavaleta, R. Medina, A. Bielli, J. Alfaro-Shigueto and J. C. Mangel (2020) Trialing net illumination as a bycatch mitigation measure for sea turtles in a small-scale gillnet fishery in Ecuador. *Latin American Journal of Aquatic Research* 48(3): 446-455.
- Dayton, P. K., S. F. Thrush, M. T. Agardy and R. J. Hofman (1995) Environmental effects of marine fishing. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 5(3): 205-232.
- Diaz, G. A. and J. E. Serafy (2005) Longline-caught blue shark (*Prionace glauca*): factors affecting the numbers available for live release. *Fishery Bulletin* 103(4): 720.

- Driggers III, W. B., M. D. Campbell, K. M. Hannan, E. R. Hoffmayer, C. M. Jones, L. M. Jones and A. G. Pollack (2017) Influence of bait type on catch rates of predatory fish species on bottom longline gear in the northern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin* 115(1): 50-59.
- Dulvy, N. K., J. K. Baum, S. Clarke, L. J. Compagno, E. Cortés, A. Domingo, S. Fordham, S. Fowler, M. P. Francis and C. Gibson (2008) You can swim but you can't hide: the global status and conservation of oceanic pelagic sharks and rays. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18(5): 459-482.
- Dulvy, N. K., S. L. Fowler, J. A. Musick, R. D. Cavanagh, P. M. Kyne, L. R. Harrison, J. K. Carlson, L. N. Davidson, S. V. Fordham and M. P. Francis (2014) Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. *elife* 3: e00590.
- Dunn, D. C., A. M. Boustany and P. N. Halpin (2011) Spatio-temporal management of fisheries to reduce by-catch and increase fishing selectivity. *Fish and Fisheries* 12(1): 110-119.
- Egeberg, C. A., R. M. Kempster, N. S. Hart, L. Ryan, L. Chapuis, C. C. Kerr, C. Schmidt, E. Gennari, K. E. Yopak and S. P. Collin (2019) Not all electric shark deterrents are made equal: Effects of a commercial electric anklet deterrent on white shark behaviour. *PLoS ONE* 14(3): 1-18.
- Erickson, D., S. Goldhor and R. Giurca (2000). Efficiency and species selectivity of fabricated baits used in Alaska demersal longline fisheries. 2000 ICES Annual Science Conference, 27-30 September 2000, Brugge, Belgium CM 2000/J:04.
- Escalle, L., J. Scutt Phillips, M. Brownjohn, S. Brouwer, A. Sen Gupta, E. Van Sebille, J. Hampton and G. Pilling (2019) Environmental versus operational drivers of drifting FAD beaching in the Western and Central Pacific Ocean. *Scientific Reports* 9:14005: 1-12.
- Favaro, B. and I. M. Cote (2015) Do by-catch reduction devices in longline fisheries reduce capture of sharks and rays? A global meta-analysis. *Fish and Fisheries* 16(2): 300-309.
- Fennessy, S. and B. Isaksen (2007) Can bycatch reduction devices be implemented successfully on prawn trawlers in the Western Indian Ocean? *African Journal of Marine Science* 29(3): 453-463.
- Fernandez-Carvalho, J., R. Coelho, M. N. Santos and S. Amorim (2015) Effects of hook and bait in a tropical northeast Atlantic pelagic longline fishery: Part II—Target, bycatch and discard fishes. *Fisheries Research* 164: 312-321.
- Filmalter, J. D., M. Capello, J.-L. Deneubourg, P. D. Cowley and L. Dagorn (2013) Looking behind the curtain: quantifying massive shark mortality in fish aggregating devices. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11(6): 291-296.
- Folkens, M. H., S. M. Grant and P. Walsh (2021) A feasibility study to determine the use of baited pots in Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) fisheries, supported by the use of underwater video observations. *PeerJ* 9: e10536.
- Forget, F. G., M. Capello, J. D. Filmalter, R. Govinden, M. Soria, P. D. Cowley and L. Dagorn (2015) Behaviour and vulnerability of target and non-target species at drifting fish aggregating devices (FADs) in the tropical tuna purse seine fishery determined by acoustic telemetry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 72(9): 1398-1405.
- Foster, D. G., S. P. Epperly, A. K. Shah and J. W. Watson (2012) Evaluation of hook and bait type on the catch rates in the western North Atlantic Ocean pelagic longline fishery. *Bulletin of Marine Science* 88(3): 529-545.
- Fowler, S. (2016). Review and gap analysis of shark and ray bycatch mitigation measures employed by fisheries management bodies. First Workshop of the Conservation Working Group, Agenda Item 3, Bristol, United Kingdom 31 October-01 November 2016. Convention on the Conservation of Migratory Species CMS/Sharks/CWG1/Doc.3.1.
- Frick, L. H., R. D. Reina and T. I. Walker (2010) Stress related physiological changes and post-release survival of Port Jackson sharks (*Heterodontus portusjacksoni*) and gummy sharks (*Mustelus antarcticus*) following gill-net and longline capture in captivity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 385(1-2): 29-37.
- Gale, M. K., S. G. Hinch and M. R. Donaldson (2013) The role of temperature in the capture and release of fish. *Fish and Fisheries* 14(1): 1-33.
- Gallagher, A., E. Orbesen, N. Hammerschlag and J. Serafy (2014) Vulnerability of oceanic sharks as pelagic longline bycatch. *Global Ecology and Conservation* 1: 50-59.

- Gervais, C. R. and C. Brown (2021) Impact of conspecific necromones on the oxygen uptake rates of a benthic elasmobranch. *Animal Behaviour* 174: 1-8.
- Gilman, E., M. Chaloupka, P. Bach, H. Fennell, M. Hall, M. Musyl, S. Piovano, F. Poisson and L. Song (2020) Effect of pelagic longline bait type on species selectivity: a global synthesis of evidence. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 30(3): 535-551.
- Gilman, E., M. Chaloupka and M. Musyl (2018) Effects of pelagic longline hook size on species-and size-selectivity and survival. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 28(2): 417-433.
- Gilman, E., M. Chaloupka, A. Read, P. Dalzell, J. Holetschek and C. Curtice (2012) Hawaii longline tuna fishery temporal trends in standardized catch rates and length distributions and effects on pelagic and seamount ecosystems. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 22(4): 446-488.
- Gilman, E., M. Chaloupka, Y. Swimmer and S. Piovano (2016) A cross-taxa assessment of pelagic longline by-catch mitigation measures: conflicts and mutual benefits to elasmobranchs. *Fish and Fisheries* 17(3): 748-784.
- Gilman, E., S. Clarke, N. Brothers, J. Alfaro-Shigueto, J. Mandelman, J. Mangel, S. Petersen, S. Piovano, N. Thomson and P. Dalzell (2008) Shark interactions in pelagic longline fisheries. *Marine Policy* 32(1): 1-18.
- Gilman, E., S. Clarke, B. Nigel, J. A. Shigueto, M. John, M. Jeff, P. Samantha, S. Piovano, T. Nicola and D. Paul (2007a) Shark Depredation and Unwanted Bycatch in Pelagic Longline Fisheries: Industry Practices and Attitudes, and Shark Avoidance Strategies. Western Pacific Regional Fishery Management Council, Honolulu, USA.
- Gilman, E., D. Kobayashi, T. Swenarton, N. Brothers, P. Dalzell and I. Kinan-Kelly (2007b) Reducing sea turtle interactions in the Hawaii-based longline swordfish fishery. *Biological Conservation* 139(1/2): 19-28.
- Gilman, E. L. (2011) Bycatch governance and best practice mitigation technology in global tuna fisheries. *Marine Policy* 35(5): 590-609.
- Godin, A. C., J. K. Carlson and V. Burgener (2012) The effect of circle hooks on shark catchability and at-vessel mortality rates in longlines fisheries. *Bulletin of Marine Science* 88(3): 469-483.
- Godin, A. C., T. Wimmer, J. H. Wang and B. Worm (2013) No effect from rare-earth metal deterrent on shark bycatch in a commercial pelagic longline trial. *Fisheries Research* 143: 131-135.
- Grant, S. (2015). Development of Turbot Potting Technologies In Arctic Canada (P-452) Avoiding the incidental capture of Greenland shark in Arctic Canada's turbot fisheries through the development of potting technologies. Centre for Sustainable Aquatic Resources, Fisheries and Marine Institute of Memorial University. St John's, Canada.
- Grant, S. M., J. G. Munden and K. J. Hedges (2020) Effects of monofilament nylon versus braided multifilament nylon gangions on catch rates of Greenland shark (*Somniosus microcephalus*) in bottom set longlines. *PeerJ* 8: e10407.
- Grant, S. M., R. Sullivan and K. J. Hedges (2018) Greenland shark (*Somniosus microcephalus*) feeding behavior on static fishing gear, effect of SMART (Selective Magnetic and Repellent-Treated) hook deterrent technology, and factors influencing entanglement in bottom longlines. *PeerJ* 6: e4751.
- Graves, J. E., A. Z. Horodysky and D. W. Kerstetter (2012) Incorporating circle hooks into Atlantic pelagic fisheries: case studies from the commercial tuna/swordfish longline and recreational billfish fisheries. *Bulletin of Marine Science* 88(3): 411-422.
- Gupta, T., H. Booth, W. Arlidge, C. Rao, M. Manohar Krishnan, N. Namboothri, K. Shanker and E. J. Milner-Gulland (2020) Mitigation of Elasmobranch Bycatch in Trawlers: A Case Study in Indian Fisheries. *Frontiers in Marine Science* 7(571).
- Hamilton, S. and G. B. Baker (2019) Technical mitigation to reduce marine mammal bycatch and entanglement in commercial fishing gear: lessons learnt and future directions. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 29(2): 223-247.
- Hart, N. S. and S. P. Collin (2015) Sharks senses and shark repellents. *Integrative zoology* 10(1): 38-64.
- Hazen, E. L., K. L. Scales, S. M. Maxwell, D. K. Briscoe, H. Welch, S. J. Bograd, H. Bailey, S. R. Benson, T. Eguchi and H. Dewar (2018) A dynamic ocean management tool to reduce bycatch and support sustainable fisheries. *Science Advances* 4(5): eaar3001.

- Holden, M. (1973) Are long-term sustainable fisheries for elasmobranchs possible? *Rapports et Procès-verbaux des Réunions. Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 164: 360-367.
- Howard, S. (2015). Mitigation options for shark bycatch in longline fisheries. *New Zealand Aquatic Environment and Biodiversity Report No. 148*. Ministry for Primary Industries, Wellington, New Zealand.
- Howard, S., R. Brill, C. Hepburn, J. Rock and H. e. M. Pol (2018) Microprocessor-based prototype bycatch reduction device reduces bait consumption by spiny dogfish and sandbar shark. *ICES Journal of Marine Science* 75(6): 2235-2244.
- Hutchinson, M., J. H. Wang, Y. Swimmer, K. Holland, S. Kohin, H. Dewar, J. Wraith, R. Vetter, C. Heberer and J. Martinez (2012) The effects of a lanthanide metal alloy on shark catch rates. *Fisheries Research* 131-133: 45-51.
- Huveneers, C., P. J. Rogers, J. M. Semmens, C. Beckmann, A. A. Kock, B. Page and S. D. Goldsworthy (2013) Effects of an Electric Field on White Sharks: In Situ Testing of an Electric Deterrent. *PLoS ONE* 8(5): 1-11.
- Huveneers, C., S. Whitmarsh, M. Thiele, L. Meyer, A. Fox and C. J. Bradshaw (2018) Effectiveness of five personal shark-bite deterrents for surfers. *PeerJ* 6: e5554.
- Hyatt, M. W., P. A. Anderson and P. M. O'Donnell (2018) Influence of Temperature, Salinity, and Dissolved Oxygen on the Stress Response of Bull (*Carcharhinus leucas*) and Bonnethead (*Sphyrna tiburo*) Sharks after Capture and Handling. *Journal of Coastal Research* 34(4): 818-827.
- IOTC (2017) Indian Ocean Tuna Commission Resolution 17/05. Retrieved 24 March 2022, from [https://www.ccsbt.org/sites/default/files/userfiles/file/other\\_rfm\\_o\\_measures/iotc/Resolution%2017\\_05.pdf](https://www.ccsbt.org/sites/default/files/userfiles/file/other_rfm_o_measures/iotc/Resolution%2017_05.pdf).
- Itano, D., J. Muir, M. Hutchinson and B. Leroy (2012). Development and testing of a release panel for sharks and non-target finfish in purse seine gear. Western and Central Pacific Fisheries Commission, Busan, Republic of Korea. WCPFC-SC8 EB-WP-14.
- Jordan, L. K., J. W. Mandelman and S. M. Kajiura (2011) Behavioral responses to weak electric fields and a lanthanide metal in two shark species. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 409(1-2): 345-350.
- Jordan, L. K., J. W. Mandelman, D. M. McComb, S. V. Fordham, J. K. Carlson and T. B. Werner (2013) Linking sensory biology and fisheries bycatch reduction in elasmobranch fishes: a review with new directions for research. *Conservation Physiology* 1(1).
- Kaimmer, S. and A. W. Stoner (2008) Field investigation of rare-earth metal as a deterrent to spiny dogfish in the Pacific halibut fishery. *Fisheries Research* 94(1): 43-47.
- Kalmijn, A. J. (1966) Electro-perception in sharks and rays. *Nature* 212(5067): 1232-1233.
- Kaplan, D. M., E. Chassot, J. M. Amandé, S. Dueri, H. Demarcq, L. Dagorn and A. Fonteneau (2014) Spatial management of Indian Ocean tropical tuna fisheries: potential and perspectives. *ICES Journal of Marine Science* 71(7): 1728-1749.
- Kempster, R. M., C. A. Egeberg, N. S. Hart, L. Ryan, L. Chapuis, C. C. Kerr, C. Schmidt, C. Huveneers, E. Gennari and K. E. Yopak (2016) How close is too close? The effect of a non-lethal electric shark deterrent on white shark behaviour. *PLoS ONE* 11(7): e0157717.
- Kerstetter, D. W. and J. E. Graves (2006) Effects of circle versus J-style hooks on target and non-target species in a pelagic longline fishery. *Fisheries Research* 80(2-3): 239-250.
- Kim, S., D. Moon, D. An and J. Koh (2006). Comparison of circle hooks and J hooks in the catch rate of target and bycatch species taken in the Korean tuna longline fishery. Western and Central Pacific Fisheries Commission, Manila, Philippines. WCPFC SC2-2006/EB WP-12.
- Kirkwood, G. and T. Walker (1986) Gill net mesh selectivities for gummy shark, *Mustelus antarcticus* Günther, taken in south-eastern Australian waters. *Marine and Freshwater Research* 37(6): 689-697.
- Kumar, K. A., P. Pravin and B. Meenakumari (2016) Bait, bait loss, and depredation in pelagic longline fisheries—A review. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* 24(4): 295-304.
- Kyne, P. M. and P. Feutry (2017) Recreational fishing impacts on threatened river sharks: A potential conservation issue. *Ecological Management & Restoration* 18(3): 209-213.

- Kynoch, R. J., R. J. Fryer and F. C. Neat (2015) A simple technical measure to reduce bycatch and discard of skates and sharks in mixed-species bottom-trawl fisheries. *ICES Journal of Marine Science* 72(6): 1861-1868.
- Leaper, R. and S. Calderan (2018). Review of methods used to reduce risks of cetacean bycatch and entanglements. CMS Technical Series No. 38. Convention on the Conservation of Migratory Species, Bonn, Germany.
- Løkkeborg, S. (2011) Best practices to mitigate seabird bycatch in longline, trawl and gillnet fisheries—efficiency and practical applicability. *Marine Ecology Progress Series* 435: 285-303.
- Løkkeborg, S., S. I. Siikavuopio, O.-B. Humborstad, A. C. Utne-Palm and K. Ferter (2014) Towards more efficient longline fisheries: fish feeding behaviour, bait characteristics and development of alternative baits. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 24(4): 985-1003.
- Lopez, J., G. Moreno, L. Ibaibarriaga and L. Dagorn (2017) Diel behaviour of tuna and non-tuna species at drifting fish aggregating devices (DFADs) in the Western Indian Ocean, determined by fishers' echo-sounder buoys. *Marine Biology* 164(3): 1-16.
- Lucas, S., and P. Berggren (2023) A systematic review of sensory deterrents for bycatch mitigation of marine megafauna. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 33: 1-33.
- Marshall, H., G. Skomal, P. G. Ross and D. Bernal (2015) At-vessel and post-release mortality of the dusky (*Carcharhinus obscurus*) and sandbar (*C. plumbeus*) sharks after longline capture. *Fisheries Research* 172: 373-384.
- McAuley, R., C. Simpfendorfer and I. Wright (2007) Gillnet mesh selectivity of the sandbar shark (*Carcharhinus plumbeus*): implications for fisheries management. *ICES Journal of Marine Science* 64(9): 1702-1709.
- McCutcheon, S. M. and S. M. Kajiura (2013) Electrochemical properties of lanthanide metals in relation to their application as shark repellents. *Fisheries Research* 147: 47-54.
- Miller, K. I., I. Nadheeh, A. R. Jauharee, R. C. Anderson and M. S. Adam (2017) Bycatch in the Maldivian pole-and-line tuna fishery. *PLoS ONE* 12(5): 1-21.
- Molina, J. and S. Cooke (2012) Trends in shark bycatch research: current status and research needs. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 22(3): 719-737.
- Morgan, A. and G. H. Burgess (2007) At-vessel fishing mortality for six species of sharks caught in the Northwest Atlantic and Gulf of Mexico. *Gulf and Caribbean Research* 19(2): 123-129.
- Morgan, A. and J. K. Carlson (2010) Capture time, size and hooking mortality of bottom longline-caught sharks. *Fisheries Research* 101(1-2): 32-37.
- Morgan, A., P. W. Cooper, T. Curtis and G. H. Burgess (2009) Overview of the US east coast bottom longline shark fishery, 1994–2003. *Marine Fisheries Review* 71(1): 23-38.
- Moyes, C. D., N. Fragoso, M. K. Musyl and R. W. Brill (2006) Predicting Postrelease Survival in Large Pelagic Fish. *Transactions of the American Fisheries Society* 135(5): 1389-1397.
- Musyl, M. K., R. W. Brill, D. S. Curran, N. M. Fragoso, L. M. McNaughto, A. Nielsen, B. S. Kikkawa and C. D. Moyes (2011) Postrelease survival, vertical and horizontal movements, and thermal habitats of five species of pelagic sharks in the central Pacific Ocean. *Fishery Bulletin* 109(4): 341-368.
- Musyl, M. K. and E. L. Gilman (2019) Meta-analysis of post-release fishing mortality in apex predatory pelagic sharks and white marlin. *Fish and Fisheries* 20(3): 466-500.
- Nguyen, K. Q. and P. D. Winger (2019) Artificial Light in Commercial Industrialized Fishing Applications: A Review. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* 27(1): 106-126.
- Noatch, M. R. and C. D. Suski (2012) Non-physical barriers to deter fish movements. *Environmental Reviews* 20(1): 71-82.
- Nunes, D. M., F. H. V. Hazin, I. S. L. Branco-Nunes, H. Hazin, J. C. Pacheco, A. S. Afonso, B. L. Mourato and F. C. Carvalho (2019) Survivorship of species caught in a longline tuna fishery in the western equatorial Atlantic Ocean. *Latin American Journal of Aquatic Research* 47(5): 798-807.
- O'Connell, C. P., D. C. Abel, P. H. Rice, E. M. Stroud and N. C. Simuro (2010) Responses of the southern stingray (*Dasyatis americana*) and the nurse shark (*Ginglymostoma cirratum*) to permanent magnets. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 43(1): 63-73.

- O'Connell, C. P., D. C. Abel, S. H. Gruber, E. M. Stroud and P. H. Rice (2011a) Response of juvenile lemon sharks, *Negaprion brevirostris*, to a magnetic barrier simulating a beach net. *Ocean & Coastal Management* 54(3): 225-230.
- O'Connell, C. P., D. C. Abel, E. M. Stroud and P. H. Rice (2011b) Analysis of permanent magnets as elasmobranch bycatch reduction devices in hook-and-line and longline trials. *Fishery Bulletin* 109(4): 394-401.
- O'Connell, C. P., E. M. Stroud and P. He (2014a) The emerging field of electrosensory and semiochemical shark repellents: Mechanisms of detection, overview of past studies, and future directions. *Ocean & Coastal Management* 97: 2-11.
- O'Connell, C. P., P. He, J. Joyce, E. M. Stroud and P. H. Rice (2014b) Effects of the SMART™ (Selective Magnetic and Repellent-Treated) hook on spiny dogfish catch in a longline experiment in the Gulf of Maine. *Ocean & Coastal Management* 97: 38-43.
- O'Keefe, C. E., S. X. Cadrin and K. D. Stokesbury (2014) Evaluating effectiveness of time/area closures, quotas/caps, and fleet communications to reduce fisheries bycatch. *ICES Journal of Marine Science* 71(5): 1286-1297.
- O'Farrell, H. B. and E. A. Babcock (2021) Shortfin mako hot sets—Defining high bycatch conditions as a basis for bycatch mitigation. *Fisheries Research* 244: 106123.
- Orue, B., J. Lopez, G. Moreno, J. Santiago, M. Soto and H. Murua (2019) Aggregation process of drifting fish aggregating devices (DFADs) in the Western Indian Ocean: Who arrives first, tuna or non-tuna species? *PLoS ONE* 14(1): 1-24.
- Pacoureaux, N., C. L. Rigby, P. M. Kyne, R. B. Sherley, H. Winker, J. K. Carlson, S. V. Fordham, R. Barreto, D. Fernando and M. P. Francis (2021) Half a century of global decline in oceanic sharks and rays. *Nature* 589(7843): 567-571.
- Patterson, H., S. Hansen and J. Larcombe (2014). A review of shark bycatch mitigation in tuna longline fisheries. Western and Central Pacific Fisheries Commission, Majuro, Republic of the Marshall Islands. WCPFC-SC10-2014/ EB-WP-05.
- Poisson, F., P. Budan, S. Coudray, E. Gilman, T. Kojima, M. Musyl and T. Takagi (2021) New technologies to improve bycatch mitigation in industrial tuna fisheries. *Fish and Fisheries* 23(3): 545-563.
- Poisson, F., F. A. Crespo, J. R. Ellis, P. Chavance, P. Bach, M. N. Santos, B. Séret, M. Korta, R. Coelho, J. Ariz and H. Murua (2016) Technical mitigation measures for sharks and rays in fisheries for tuna and tuna-like species: turning possibility into reality. *Aquatic Living Resources* 29(4): 1-45.
- Poisson, F., J. D. Filmlalter, A.-L. Vernet and L. Dagorn (2014) Mortality rate of silky sharks (*Carcharhinus falciformis*) caught in the tropical tuna purse seine fishery in the Indian Ocean. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 71(6): 795-798.
- Poisson, F., J.-C. Gaertner, M. Taquet, J.-P. Durbec and K. Bigelow (2010) Effects of lunar cycle and fishing operations on longline-caught pelagic fish: fishing performance, capture time, and survival of fish. *Fishery Bulletin* 108(3): 268-281.
- Poisson, F., A.-L. Vernet, J. Filmlalter, M. Goujon and L. Dagorn (2011). Survival rate of silky sharks (*Carcharhinus falciformis*) caught incidentally onboard French tropical purse seiners. *Indian Ocean Tuna Commission, Victoria, Seychelles*. IOTC-2011-WPEB07-28.
- Poisson, F., A. Vernet, B. Séret and L. Dagorn (2012) Good practices to reduce the mortality of sharks and rays caught incidentally by the tropical tuna purse seiners. EU FP7 project #210496 MADE Deliverable 7.2.
- Polpetta, M., F. Piva, S. Gridelli and F. Bargnesi (2021) Behavioural responses in the sand tiger shark (*Carcharias taurus*) to permanent magnets and pulsed magnetic fields. *Marine Biology Research* 17(1): 41-56.
- Porsmoguer, S. B., D. Bănaru, C. F. Boudouresque, I. Dekeyser and C. Almarcha (2015) Hooks equipped with magnets can increase catches of blue shark (*Prionace glauca*) by longline fishery. *Fisheries Research* 172: 345-351.
- Proctor, C.H., Natsir, M., Mahiswara, et al. (2019) A characterisation of FAD-based tuna fisheries in Indonesian waters. Final Report as output of ACIAR Project FIS/2009/059. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra. 111pp.

- Raborn, S. W., B. J. Gallaway, J. G. Cole, W. J. Gazey and K. I. Andrews (2012) Effects of Turtle Excluder Devices (TEDs) on the Bycatch of Three Small Coastal Sharks in the Gulf of Mexico Penaeid Shrimp Fishery. *North American Journal of Fisheries Management* 32(2): 333-345.
- Reinhardt, J. F., J. Weaver, P. J. Latham, A. Dell'Apa, J. E. Serafy, J. A. Browder, M. Christman, D. G. Foster and D. R. Blankinship (2018) Catch rate and at-vessel mortality of circle hooks versus J-hooks in pelagic longline fisheries: A global meta-analysis. *Fish and Fisheries* 19(3): 413-430.
- Restrepo, V., L. Dagorn, D. Itano, F. Justel-Rubio, F. Forget and G. Moreno (2017). A Summary of bycatch issues and ISSF Mitigation Activities To Date in Purse Seine Fisheries, with Emphasis on FADs. ISSF Technical Report 2017-06. International Seafood Sustainability Foundation, Washington, D.C., USA.
- Restrepo, V., L. Dagorn and G. Moreno (2016). Mitigation of Silky Shark Bycatch in Tropical Tuna Purse Seine Fisheries. ISSF Technical Report 2016-17. International Seafood Sustainability Foundation, Washington, D.C., USA.
- Restrepo, V., L. Dagorn, G. Moreno, J. Murua, F. Forget and F. Justel-Rubio (2019a). Report of the International Workshop on Mitigating Environmental Impacts of Tropical Tuna Purse Seine Fisheries. Rome, Italy, 12-13 March, 2019. ISSF Technical Report 2019-08. International Seafood Sustainability Foundation, Washington, D.C., USA.
- Restrepo, V., H. Koehler, G. Moreno and H. Murua (2019b). Recommended Best Practices for FAD Management in Tropical Tuna Purse Seine Fisheries. ISSF Technical Report 2019-11. International Seafood Sustainability Foundation, Washington, D.C., USA.
- Rice, P., B. DeSanti and E. M. Stroud (2014). Performance of a long lasting shark repellent bait for elasmobranch bycatch reduction during commercial pelagic longline fishing. Report to the Bycatch Reduction Engineering Program. National Marine Fisheries Service, Office of Sustainable Fisheries, Silver Spring, MD, USA.
- Richards, R. J., V. Raoult, D. M. Powter and T. F. Gaston (2018) Permanent magnets reduce bycatch of benthic sharks in an ocean trap fishery. *Fisheries Research* 208: 16-21.
- Rigg, D. P., S. C. Peverell, M. Hearndon and J. E. Seymour (2009) Do elasmobranch reactions to magnetic fields in water show promise for bycatch mitigation? *Marine and Freshwater Research* 60(9): 942-948.
- Robbins, W., V. Peddemors and S. Kennelly (2011) Assessment of permanent magnets and electropositive metals to reduce the line-based capture of Galapagos sharks, *Carcharhinus galapagensis*. *Fisheries Research* 109(1): 100-106.
- Rulifson, R. A. (2007) Spiny dogfish mortality induced by gill-net and trawl capture and tag and release. *North American Journal of Fisheries Management* 27(1): 279-285.
- Ryan, L. A., L. Chapuis, J. M. Hemmi, S. P. Collin, R. D. McCauley, K. E. Yopak, E. Gennari, C. Huvneers, R. M. Kempster, C. C. Kerr, C. Schmidt, C. A. Egeberg and N. S. Hart (2018) Effects of auditory and visual stimuli on shark feeding behaviour: the disco effect. *Marine Biology* 165(1): 1-1.
- Sacchi, J. (2021). Overview of mitigation measures to reduce the incidental catch of vulnerable species in fisheries. Studies and Reviews No. 100. General Fisheries Commission for the Mediterranean, FAO, Rome.
- Santos, M., P. Lino and R. Coelho (2017) Effects of leader material on catches of shallow pelagic longline fisheries in the southwest Indian Ocean. *Fishery Bulletin* 115: 219-232.
- Senko, J. F., S. H. Peckham, D. Aguilar-Ramirez and J. H. Wang (2022) Net illumination reduces fisheries bycatch, maintains catch value, and increases operational efficiency. *Current Biology* 32: 1-8.
- Sepulveda, C., C. Heberer, S. Aalbers, N. Spear, M. Kinney, D. Bernal and S. Kohin (2015) Post-release survivorship studies on common thresher sharks (*Alopias vulpinus*) captured in the southern California recreational fishery. *Fisheries Research* 161: 102-108.
- Shepherd, T. D. and R. A. Myers (2005). Direct and indirect fishery effects on small coastal elasmobranchs in the northern Gulf of Mexico 8: 1095-1104.
- Smith, L. E. and C. P. O'Connell (2014) The effects of neodymium-iron-boron permanent magnets on the behaviour of the small spotted catshark (*Scyliorhinus canicula*) and the thornback skate (*Raja clavata*). *Ocean & Coastal Management* 97: 44-49.

- Stephenson, P. C., S. Wells and J. King (2008). Evaluation of Exclusion Grids to Reduce the Bycatch of Dolphins, Turtles, Sharks, and Rays in the Pilbara Trawl Fishery. Fisheries Research Report No. 171. Department of Fisheries, Government of Western Australia, North Beach, WA, Australia.
- Stobutzki, I., E. Lawrence, N. Bensley and W. Norris (2006). Bycatch mitigation approaches in Australia's eastern tuna and billfish fishery: Seabirds, turtles, marine mammals, sharks, and non-target fish. Information Paper presented at the Ecosystem and Bycatch Specialist Working Group of the Second Meeting of the Scientific Committee of the WCPFC, Manila 2006. Australian Fisheries Management Authority, Canberra, Australia. WCPFCSC2/EBSWG-IP5
- Stobutzki, I. C., M. J. Miller, D. S. Heales and D. T. Brewer (2002) Sustainability of elasmobranchs caught as bycatch in a tropical prawn (shrimp) trawl fishery. *Fishery Bulletin* 100(4): 800-821.
- Stone, H. H. and L. K. Dixon (2001) A comparison of catches of swordfish, *Xiphias gladius*, and other pelagic species from Canadian longline gear configured with alternating monofilament and multifilament nylon gangions. *Fishery Bulletin* 99(1): 210-216.
- Stoner, A. W. and S. M. Kaimmer (2008) Reducing elasmobranch bycatch: laboratory investigation of rare earth metal and magnetic deterrents with spiny dogfish and Pacific halibut. *Fisheries Research* 92(2-3): 162-168.
- Stroud, E. M., C. P. O'Connell, P. H. Rice, N. H. Snow, B. B. Barnes, M. R. Elshaer and J. E. Hanson (2014) Chemical shark repellent: Myth or fact? The effect of a shark necromone on shark feeding behavior. *Ocean & Coastal Management* 97: 50-57.
- Swimmer, Y., J. Suter, R. Arauz, K. Bigelow, A. López, I. Zanela, A. Bolaños, J. Ballester, R. Suárez, J. Wang and C. Boggs (2011) Sustainable fishing gear: the case of modified circle hooks in a Costa Rican longline fishery. *Marine Biology* 158(4): 757-767.
- Swimmer, Y., J. Wang and L. Mcnaughton (2008). Shark Deterrent and incidental capture workshop, April 10–11, 2008. NOAA Technical Memorandum. US Department of Commerce, Washington, D.C., USA. NOAA-TM-NMFS-PIFSC-16.
- Tallack, S. M. and J. W. Mandelman (2009) Do rare-earth metals deter spiny dogfish? A feasibility study on the use of electropositive "mischmetal" to reduce the bycatch of *Squalus acanthias* by hook gear in the Gulf of Maine. *ICES Journal of Marine Science* 66(2): 315-322.
- Thiele, M., J. Mourier, Y. Papastamatiou, L. Ballesta, E. Chateauminois and C. Huvneers (2020) Response of blacktip reef sharks *Carcharhinus melanopterus* to shark bite mitigation products. *Scientific Reports* 10(1): 3563.
- Thorpe, T. and D. Frierson (2009) Bycatch mitigation assessment for sharks caught in coastal anchored gillnets. *Fisheries Research* 98(1-3): 102-112.
- Tolotti, M. T., P. Bach, F. Hazin, P. Travassos and L. Dagorn (2015) Vulnerability of the Oceanic Whitetip Shark to Pelagic Longline Fisheries. *PLoS ONE* 10(10): 1-17.
- Vasapollo, C., M. Virgili, A. Petetta, G. Bargione, A. Sala and A. Lucchetti (2019) Bottom trawl catch comparison in the Mediterranean Sea: Flexible Turtle Excluder Device (TED) vs traditional gear. *PLoS ONE* 14(12): 1-19.
- Wakefield, C. B., J. Santana-Garcon, S. R. Dorman, S. Blight, A. Denham, J. Wakeford, B. W. Molony and S. J. Newman (2017) Performance of bycatch reduction devices varies for chondrichthyan, reptile, and cetacean mitigation in demersal fish trawls: assimilating subsurface interactions and unaccounted mortality. *ICES Journal of Marine Science* 74(1): 343-358.
- Ward, P., S. Epe, D. Kreutz, E. Lawrence, C. Robins and A. Sands (2009) The effects of circle hooks on bycatch and target catches in Australia's pelagic longline fishery. *Fisheries Research* 97(3): 253-262.
- Ward, P., E. Lawrence, R. Darbyshire and S. Hindmarsh (2008) Large-scale experiment shows that nylon leaders reduce shark bycatch and benefit pelagic longline fishers. *Fisheries Research* 90(1-3): 100-108.
- Ward, P., R. A. Myers and W. Blanchard (2004) Fish lost at sea: the effect of soak time on pelagic longline catches. *Fishery Bulletin* 102(1): 179-195.
- Watson, J. T., T. E. Essington, C. E. Lennert-Cody and M. A. Hall (2009) Trade-Offs in the Design of Fishery Closures: Management of Silky Shark Bycatch in the Eastern Pacific Ocean Tuna Fishery. *Conservation Biology* 23(3): 626-635.

- Watson, J. W., S. P. Epperly, A. K. Shah and D. G. Foster (2005) Fishing methods to reduce sea turtle mortality associated with pelagic longlines. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62(5): 965-981.
- Waugh, S., D. Filippi, R. Blyth and P. Filippi (2011). Assessment of bycatch in gill net fisheries. Report to the Tenth Meeting of the Conference of the Parties. Convention on the Conservation of Migratory Species, Bonn, Germany. UNEP/CMS/ScC18/Inf.10.15.1: 20-25.
- WCPFC (2019) Western and Central Pacific Fisheries Commission Resolution 2019/04. Retrieved 21 December 2021, from [https://www.ccsbt.org/sites/default/files/userfiles/file/other\\_rfmo\\_measures/wcpfc/CMM%202019-04%20CMM%20for%20Sharks.pdf](https://www.ccsbt.org/sites/default/files/userfiles/file/other_rfmo_measures/wcpfc/CMM%202019-04%20CMM%20for%20Sharks.pdf).
- Westlake, E. L., M. Williams and N. Rawlinson (2018) Behavioural responses of draughtboard sharks (*Cephaloscyllium laticeps*) to rare earth magnets: Implications for shark bycatch management within the Tasmanian southern rock lobster fishery. *Fisheries Research* 200: 84-92.
- Worm, B., B. Davis, L. Kettmer, C. A. Ward-Paige, D. Chapman, M. R. Heithaus, S. T. Kessel and S. H. Gruber (2013) Global catches, exploitation rates, and rebuilding options for sharks. *Marine Policy* 40: 194-204.
- Yokota, K., M. Kiyota and H. Minami (2006) Shark catch in a pelagic longline fishery: comparison of circle and tuna hooks. *Fisheries Research* 81(2-3): 337-341.
- Yokota, K., M. Kiyota and H. Okamura (2009) Effect of bait species and color on sea turtle bycatch and fish catch in a pelagic longline fishery. *Fisheries Research* 97(1-2): 53-58.
- Zeeberg, J., A. Corten and E. de Graaf (2006) Bycatch and release of pelagic megafauna in industrial trawler fisheries off Northwest Africa. *Fisheries Research* 78(2-3): 186-195.
- Zollett, E. A. and Y. Swimmer (2019) Safe handling practices to increase post-capture survival of cetaceans, sea turtles, seabirds, sharks, and billfish in tuna fisheries. *Endangered Species Research* 38: 115-125.
- Zudaire, I., G. Moreno, J. Murua, H. Murua, M. Tolotti, M. Roman, M. Hall, J. Lopez, M. Grande and G. Merino (2021). Biodegradable DFADs: Current Status and Prospects. 2nd IOTC Ad Hoc Working Group on FADs, 4-6/10/2021. Indian Ocean Tuna Commission, Victoria, Seychelles. IOTC-2021-WGFAD02-09.



Secretaría de la CMS  
Campus de la ONU  
Plaza de las Naciones Unidas 1  
D-53113 Bonn  
Alemania

Tel: (+49) 228 815 24 01 / 02  
Fax: (+49) 228 815 24 49  
Correo electrónico: [cms.secretariat@cms.int](mailto:cms.secretariat@cms.int)  
[www.cms.int](http://www.cms.int)