



EL DESCONOCIDO CASO DE DESCOMPRESIÓN DE LAS TORTUGAS MARINAS

José Luis Crespo-Picazo

Director técnico de la Fundación Oceanográfica de la Comunidad Valenciana

Vicente Marco-Cabedo

Fundación Oceanográfica de la Comunidad Valenciana

Daniel García Párraga

Fundación Oceanográfica de la Comunidad Valenciana

Resumen

La interacción de las tortugas marinas con las redes de arrastre de los pesqueros les provocan diversas patologías y causas de muerte como el ahogamiento, las alteraciones fisiológicas propias de la inmersión forzada, el sobreesfuerzo de evasión y escape, y el recientemente descrito síndrome descompresivo (DCS por sus siglas en inglés), un trastorno clínico que resulta de la formación de burbujas de nitrógeno en el sistema cardiovascular y otros tejidos como consecuencia de una descompresión demasiado rápida y el fracaso de los mecanismos fisiológicos compensatorios. Recientemente se creía que las tortugas marinas y otras especies buceadoras apneístas estaban protegidas frente al síndrome descompresivo por el comportamiento natural del buceo y sus adaptaciones fisiológicas; sin embargo, un estudio reciente realizado por nuestro grupo proporcionó una clara evidencia de este problema en tortugas bobas (*Caretta caretta*) capturadas accidentalmente en aguas del Mediterráneo. Este descubrimiento supone un desafío al conocimiento existente hasta la fecha de la fisiología del buceo en vertebrados marinos apneístas, mecanismos perfeccionados durante miles de años de evolución la adaptación a un medio hostil en el que cualquier descompensación puede llegar a tener un desenlace fatal.

Abstract

*Encounters with fishermen's trawl nets are responsible for a variety of pathologies and causes of death among sea turtles, including drowning, physiological alterations due to forced immersion, overexertion in trying to free themselves and escape, and the recently described decompression syndrome (DCS), which is a clinical disorder resulting from the formation of nitrogen gas bubbles in the cardiovascular system and other tissues as a result of excessively rapid decompression and the failure of physiological compensatory mechanisms. Until recently, sea turtles and other apneustic diving species were thought to be protected against decompression syndrome by their natural diving behaviour and their physiological adaptations. However, a recent study by our group provides clear evidence of decompression syndrome in loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) caught accidentally in Mediterranean waters. This discovery poses a challenge to our current understanding of the physiology of diving in apneustic marine vertebrates and the mechanisms perfected over thousands of years of evolutionary adaptation to a hostile environment in which any failure of compensation can be fatal.*

1. Introducción

La conservación de las diferentes poblaciones de tortugas marinas a escala mundial, y del mar Mediterráneo en particular, afronta múltiples amenazas fundamentalmente manteniendo como protagonista al ser humano. Las múltiples facetas de la contaminación del mar, la pérdida de hábitat en las playas de anidación, la captura accidental en artes de pesca e incluso la captura como especie objetivo para su consumo en algunos países de la cuenca mediterránea, han sido identificados como los principales factores que comprometen la supervivencia de estos fascinantes animales.

Fotografía 1. Dos pescadores ultiman el triaje del pescado sobre la cubierta del barco a su llegada a puerto



No solo en aguas del Mediterráneo, sino también en el ámbito mundial, la pesca accidental ha sido reconocida durante las últimas décadas como la principal amenaza a la que se enfrentan estas especies¹. Pese a que el impacto real de las pesquerías es difícilmente cuantificable a escala global, si se ha podido demostrar que algunas artes de pesca afectan significativamente sobre ciertas poblaciones de tortugas marinas a nivel regional. Como ejemplos se podrían citar la flota de palangrera en el mar Mediterráneo, las redes de enmalle en Baja California y el sudeste asiático, y las flotas de arrastre del Pacífico oriental y el Atlántico noroccidental².

Ya en 1989, se reconoció en el Convenio de Barcelona el impacto de la actividad pesquera sobre las poblaciones de tortugas marinas en el llamado ‘Plan de Acción para la Conservación de las Tortugas Marinas del Mediterráneo’. Pese a que dicho plan se ha ido actualizando sucesivamente a largo de diferentes encuentros, el alcance del impacto real de la industria pesquera sobre las poblaciones de tortugas marinas es aun ampliamente desconocido³.

Hoy sabemos que las consecuencias de la captura accidental de una tortuga marina son muy variables, desde encuentros completamente inocuos a efectos fatales. Dependiendo del arte de pesca empleado y de otras variables relativas a la interacción, las tortugas marinas que no sobreviven pueden morir de forma inmediata tras la captura (durante el mismo proceso o poco después de la interacción por ahogamiento, traumas diversos...), o morir semanas o incluso meses después de la interacción (infecciones, trastornos de flotabilidad, lesiones musculoesqueléticas...). La supervivencia del animal no solo depende de los aspectos relacionados

¹ LEWISON (2004); LEWISON y CROWDER (2014); WALLACE *et al.* (2008, 2010 y 2013) y CASALE *et al.* (2018).

² LEWISON y CROWDER (2014); WALLACE *et al.* (2010).

³ CASALE *et al.* (2018).

con el método de captura, sino también del manejo que se haga de la tortuga por parte de los pescadores tras la interacción. En ocasiones, el resultado final también puede verse influido por otros factores externos, como las condiciones meteorológicas del momento, la posibilidad de atención veterinaria o la presencia y densidad de posibles depredadores en el área de suelta tras la interacción.

Se han descrito cinco formas mayoritarias en las que las tortugas marinas interactúan con artes de pesca (no excluyentes entre sí), siempre teniendo en cuenta que la interacción no es un fenómeno restringido únicamente a las grandes industrias pesqueras, sino que también se da en la pesca artesanal y recreativa:

- *Captura*: los animales permanecen atrapados en un espacio acotado, pero libres para nadar y salir a la superficie a respirar dentro de ese espacio (ej.: redes de cerco, almadraba).
- *Enmallamiento*: enredos con las redes o sedales en cuello o extremidades (ej.: trasmallo, anzuelos, líneas de palangre...).
- *Inmersión forzada*: enredos en redes o sedales impidiendo la natación normal sin posibilidad de que las tortugas alcancen la superficie (ej.: trasmallo, arrastre, palangre fondo...).
- *Sobreesfuerzo de evasión*: aumento del gasto energético asociado al intento de escapar de las redes (ej.: arrastreros...).
- *Trauma directo*: fracturas y heridas traumáticas por colisión (ej.: dragas de vieiras...).

Las principales patologías asociadas a estas interacciones incluyen desde lesiones físicas, al ahogamiento, pasando por trastornos metabólicos, enfermedad descompresiva y miopatía por captura. En muchos casos, se suceden varios procesos de forma simultánea en el mismo animal, lo que agrava el pronóstico del individuo.

Actualmente, en el mar Mediterráneo, las principales artes de pesca que originan un mayor número de capturas accidentales de tortugas marinas son dos, la pesca de arrastre y las redes de enmalle.

2. Pesca de arrastre

El arrastre es el arte pesca en el cual las redes son «arrastradas» por los barcos para capturar diversas especies objetivo. Las redes bien pueden desplegarse a lo largo del lecho marino o en la columna de agua. El arrastre de fondo se utiliza para capturar crustáceos y peces demersales y es responsable de una proporción considerable de la captura accidental de tortugas marinas en todo el mundo. Otros tipos de arrastre como el destinado a la captura de medusas y algas

(*Sargassum*), pueden interactuar con las tortugas marinas. Los barcos de arrastre de fondo están equipados con una red en forma de cono con un cuerpo principal formado por un número variable de paneles o puertas (generalmente entre dos y cuatro), que mantienen la red abierta. Por lo general, el tamaño de la malla de la red disminuye gradualmente desde la boca hasta el final de la bolsa. Se observan muchas variaciones entre países o incluso regiones, pero el funcionamiento general es similar⁴.

Fotografía 2. Subasta del pescado en la lonja (sur de Italia)



De forma general, las tortugas marinas interactúan con las redes de arrastre cuando se alimentan o descansan sobre el fondo marino. Fruto de este encuentro fortuito, las principales patologías y causas de muerte observadas en tortugas procedentes de este arte de pesca comprenden el ahogamiento, las alteraciones fisiológicas propias de la inmersión forzada, el sobreesfuerzo de evasión y escape, y el recientemente descrito síndrome descompresivo (DCS por sus siglas en inglés)⁵. Adicionalmente se han observado lesiones traumáticas o incluso asfixia por compresión al permanecer sepultadas por toneladas de captura dentro de las redes. Las tortugas capturadas se encuentran vivas, muertas o comatosas cuando son retiradas de las redes, donde los ejemplares comatosos presumiblemente mueren si no se proporciona tratamiento o reanimación antes de devolverlos de nuevo al mar⁶.

Al igual que con otras pesquerías, la frecuencia de interacción depende del esfuerzo de pesca y la presencia y densidad de tortugas en los caladeros. Es posible que diferentes parámetros operativos influyan en las tasas de mortalidad, incluida la duración y profundidad de la

⁴ GEROSA y CASALE (1999).

⁵ GARCÍA-PÁRRAGA *et al.* (2014).

⁶ NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1990).

red de arrastre, la velocidad de ascenso, la temperatura del agua y las capturas repetidas⁷. Por ejemplo, en la cuenca mediterránea noroccidental, las interacciones de las tortugas marinas con estas pesquerías son significativamente más frecuentes en los meses de invierno cuando las temperaturas del agua son más bajas, posiblemente porque los animales permanecen más tiempo inactivos en el fondo⁸ y pueden ser menos reactivos a la acción de una red de arrastre.

Según el *National Research Council* de EEUU (1990), se estimó que la pesca de arrastre de camarón en el sureste de los Estados Unidos antes de la implementación de las medidas de mitigación causó más muertes de tortugas marinas en esta área que todas las demás actividades humanas combinadas. Estas medidas de mitigación incluyeron el uso de dispositivos excluidores de tortugas (TED por sus siglas en inglés) y restricciones en cuanto a los tiempos máximos de arrastre sin TED. Medidas similares han sido implementadas con éxito en muchas otras partes del mundo; sin embargo, no se han adoptado universalmente en todas las pesquerías de arrastre que interactúan con las tortugas marinas, tampoco a nivel de normativa europea. La falta de uso de estos elementos que limitan el impacto y la no aplicación de medidas en favor de la reducción de las capturas accidentales representan una grave amenaza para la sostenibilidad de las poblaciones de tortugas marinas.

3. Redes de enmalle (trasmallos)

Los trasmallos consisten en redes de malla grandes y rectangulares que pueden estar caladas en el fondo marino, en la columna de agua o en superficie. Los peces generalmente quedan atrapados por el opérculo de las branquias dentro de las redes, que suelen configurarse en capas simples, dobles o triples. La disposición del arte aumenta la probabilidad de captura de las especies objetivo y no objetivo como las tortugas⁹. Las redes de enmalle se colocan mediante flotadores en la línea superior y pesos en la línea inferior, estando el tamaño y la forma de la malla definidos por la especie de pesca objetivo. En las pesquerías costeras, las redes de enmalle de malla grande (>12 cm de malla) tienen más probabilidades de enredar las cabezas y las aletas de las tortugas marinas que las redes de malla pequeña. Se pueden llegar a combinar también varios tipos de redes mediante un despliegue de engranajes.

En el mundo se usan principalmente dos tipos de redes de enmalle, las costeras y las pelágicas. Las redes de deriva pelágicas suelen tener como objetivo el pez espada (*Xiphias gladius*), algunas especies de tiburones y el dorado (*Coryphaena hippurus*); sin embargo, esta técnica de pesca indiscriminada produce grandes cantidades de capturas accidentales de especies no objetivo. Gerosa y Casale señalaron la dificultad de clasificar este arte de pesca debido a la gran cantidad de variaciones y modificaciones adaptadas a los usos locales y tradicionales a lo largo de diferentes generaciones¹⁰.

⁷ GEROSA y CASALE (1999); FAHLMAN *et al.* (2017).

⁸ HOCHSCHEID *et al.* (2005); GARCÍA-PÁRRAGA *et al.* (1970).

⁹ GILMAN *et al.* (2010).

¹⁰ GEROSA y CASALE (1999).

Aunque la captura accidental de tortugas marinas podría considerarse pasiva en redes de enmalle debido a que los individuos quedan atrapados cuando nadan libremente, la presencia de peces o invertebrados capturados en la red puede tener un efecto atrayente sobre las tortugas, lo que aumenta la probabilidad de interacción¹¹. En 1991, las Naciones Unidas prohibieron el uso de las grandes redes de deriva (más de 2,5 kilómetros) en alta mar debido a la alta incidencia de las capturas accidentales cuando se descartan o se pierden (redes fantasma). La producción de nuevos materiales sintéticos no biodegradables hace que las redes de deriva sean un problema particularmente duradero, estimulando los esfuerzos crecientes para prohibir la pesca por tiempo excesivo o ilimitado¹².

Las principales consecuencias directas de las interacciones con pesquerías en las tortugas marinas pueden clasificarse como: lesiones traumáticas, inmersión forzada / ahogamiento, lesiones asociadas al sobreesfuerzo y síndrome descompresivo. Los posibles impactos de los daños a largo plazo (por ejemplo, inmunosupresión, reducción de tasas de crecimiento o rendimiento reproductivo) son difícilmente evaluables¹³.

4. El síndrome descompresivo

El síndrome descompresivo es un trastorno clínico que resulta de la formación de burbujas de nitrógeno en el sistema cardiovascular y otros tejidos como consecuencia de una descompresión demasiado rápida y el fracaso de los mecanismos fisiológicos compensatorios. Los signos clínicos y la lesión tisular asociada a este síndrome son causados principalmente por una embolia gaseosa (GE por sus siglas en inglés), que daña los tejidos por oclusión vascular, compresión mecánica o inducción de cambios bioquímicos. La distinción entre síndrome descompresivo, una entidad clínica y el fenómeno de la embolia gaseosa es importante porque esta última, la presencia de burbujas en sangre no siempre produce signos clínicos. Recientemente se creía que las tortugas marinas y otras especies buceadoras apneistas estaban protegidas frente al síndrome descompresivo por el comportamiento natural del buceo y sus adaptaciones fisiológicas; sin embargo, un estudio reciente realizado por nuestro grupo proporcionó una clara evidencia de este problema en tortugas bobas (*Caretta caretta*) capturadas accidentalmente en aguas del Mediterráneo¹⁴. Este descubrimiento supuso un desafío al conocimiento existente hasta la fecha de la fisiología del buceo en vertebrados marinos apneistas, mecanismos perfeccionados durante miles de años de evolución para la adaptación a un medio hostil en el que cualquier descompensación puede llegar a tener un desenlace fatal. Un aspecto vital en este estudio fue la demostración de los efectos clínicos y la mortalidad asociada a este síndrome, así como la eficacia del tratamiento con oxígeno hiperbárico. Este último, ciertamente, supuso la prueba definitiva para la demostración de esta nueva entidad patológica. Posteriormente, la embolia

¹¹ GILMAN *et al.* (2010).

¹² FAO (2001).

¹³ WILSON *et al.* (2014).

¹⁴ GARCÍA-PÁRRAGA *et al.* (2014).

gaseosa ha sido diagnosticada en otras especies de tortugas marinas capturadas accidentalmente, como el caso de una tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) y una tortuga verde (*Chelonia mydas*) procedentes de capturas accidentales en la zona. Estos datos revelan que esta patología no parece restringida a las tortugas bobas y que es probable que otras especies sean también susceptibles al síndrome descompresivo. El mencionado descubrimiento tiene importantes implicaciones globales en la comprensión de los efectos y el alcance real de la interacción de las pesquerías en las tortugas marinas con el fin de poder establecer estrategias más precisas y eficaces para su conservación.

La fisiopatología del síndrome descompresivo en tortugas marinas ha sido recientemente esclarecida. Desde un primer momento se trabajó sobre la hipótesis de una posible alteración en los mecanismos fisiológicos (los cuales impiden la absorción de nitrógeno tras quedar atrapadas en las artes de pesca), hecho que finalmente ha podido ser demostrado mediante estudios *in vitro*¹⁵. Durante el buceo normal, la estimulación vagal controla la circulación intracardíaca y el cierre de unos esfínteres específicos presentes a nivel de las arterias pulmonares, hecho que permite evitar que la sangre llegue a los pulmones. A través de la comunicación interventricular (presente en la gran mayoría de los reptiles), tras la contracción de los esfínteres pulmonares que obliterarían el paso, la sangre retorna de nuevo a la circulación sistémica en lugar de pasar a través de los pulmones. Se cree que esta derivación de derecha a izquierda regula el metabolismo durante el buceo al restringir el acceso a las reservas de oxígeno pulmonares, pero se especula que también evita que se produzca una disolución en exceso del nitrógeno en la sangre al sortear los pulmones. Cuando una tortuga queda atrapada en una red, lo que supone un evento altamente estresante, la estimulación simpática (inducida por la liberación de catecolaminas y por el aumento de la actividad física en el intento de huida) y la inhibición parasimpática relajan los esfínteres pulmonares. Un aumento repentino y simultáneo en el gasto cardíaco transporta la sangre en gran cantidad al circuito pulmonar, permitiendo el contacto entre la sangre y el aire presurizado contenido en los pulmones, lo que resulta en una alta solubilización de nitrógeno mientras el animal está retenido en profundidad. Debido a que las tortugas marinas son animales que bucean en apnea, cuando el nitrógeno difunde al torrente sanguíneo no puede eliminarse a través de la respiración (como sucedería en los buceadores con botella que realizan paradas de descompresión) hasta que la tortuga ha emergido del agua. Una vez expuestas a presión atmosférica en la superficie, el nitrógeno disuelto comienza a salir de la solución, formando burbujas dentro del sistema cardiovascular y otros tejidos sobresaturados.

5. Diagnóstico de la enfermedad

Hasta la fecha, este síndrome únicamente se ha estudiado en tortugas marinas atrapadas en redes de arrastre y redes de trasmallo a una profundidad entre los 10 y los 100 metros. Las tortugas capturadas bajo otras condiciones no se han evaluado de manera similar, pero la

¹⁵ GARCÍA-PÁRRAGA *et al.* (2018).

comprensión actual del *síndrome descompresivo* sugiere que es improbable que se limite únicamente a estas pesquerías. La duración de la inmersión forzada, la profundidad y la respuesta individual al estrés son factores determinantes. Se desconoce el grado de influencia de muchos otros factores ambientales, como la temperatura del agua, la temperatura del aire, la velocidad de ascenso de las artes de pesca o incluso factores individuales (tamaño, condición corporal, estado de salud, inmersiones previas, actividad, etc.), pero se considera que podrían tener implicaciones en el desarrollo de la enfermedad¹⁶.

La información actualmente disponible sobre esta condición en tortugas marinas es el producto de una colaboración constructiva entre pescadores locales y el personal veterinario de algunos centros de recuperación. Gracias a las observaciones de los pescadores se pudo obtener información acerca del comportamiento inicial de los animales tras la descarga en la cubierta del barco, información esencial a la que posteriormente acompaña un examen veterinario completo tras el ingreso en el centro de recuperación. Al igual que lo descrito en este síndrome en humanos¹⁷, los signos clínicos pueden tardar varias horas en desarrollarse. Las tortugas capturadas de forma accidental típicamente pueden clasificarse en tres categorías de comportamiento tras la captura: sin sintomatología específica (individuos aparentemente normales), tortugas hiperexcitadas o con signos neurológicos, e individuos en estado comatoso. Se han establecido varios grados de embolia gaseosa asociados con las tres presentaciones iniciales, por lo que la severidad de la embolia puede no ser evidente de inmediato. En general, hay una progresión de estado activo a estuporoso en tortugas con embolia gaseosa de moderada a severa. En la mayoría de los casos, las tortugas también se ven afectadas por otras condiciones asociadas con la interacción como ahogamiento (con o sin aspiración de agua), hipoxia, acidosis, desequilibrios electrolíticos y miopatía por captura. Los hallazgos clínicos en las tortugas con embolismo gaseoso reflejan la ubicación y la gravedad de la formación de burbujas. Los casos leves son asintomáticos, mientras que aquellos con una presencia de gas más extensa exhiben síndrome descompresivo que se caracteriza por signos neurológicos graves, que incluyen extensión prolongada del cuello y apertura de la boca, retracción de las aletas, parálisis parcial o debilitamiento de la contractilidad de la musculatura de los miembros, dificultad respiratoria, pérdida de sensibilidad al dolor regional o de la sensibilidad superficial, e incluso parálisis completa. La flotabilidad positiva y la natación errática pueden ocurrir horas después de la captura cuando las tortugas son devueltas al agua.

El diagnóstico clínico se basa en el historial de los animales (tipo de arte de pesca, tiempo de calado del arte, estado inicial y progresión en el tiempo), signos clínicos y pruebas de diagnóstico complementarias. Las pruebas basadas en la imagen médica son esenciales para confirmar y evaluar la gravedad del embolismo gaseoso, donde la combinación de ecografía y radiografía ha demostrado ser la vía más sencilla, rápida y eficaz para confirmar el diagnóstico en tortugas marinas. En base a la cantidad y localización de las burbujas de gas, se estableció inicialmente la categorización del embolismo gaseoso como leve, moderado o grave, aunque

¹⁶ FAHLMAN *et al.* (2017).

¹⁷ VANN *et al.* (2011).

posteriormente se complementó con una graduación de 0 a 5 en base a los mismos parámetros creando categorías intermedias¹⁸. La aparición del síndrome descompresivo se asocia principalmente con grados moderados o graves (3 - 5) de embolismo gaseoso, siendo en muchas ocasiones estos casos incompatibles con la vida si no se aplica terapia hiperbárica durante las primeras horas.

Fotografía 3. Tortuga boba (*Caretta caretta*) juvenil en la cubierta del barco tras su captura

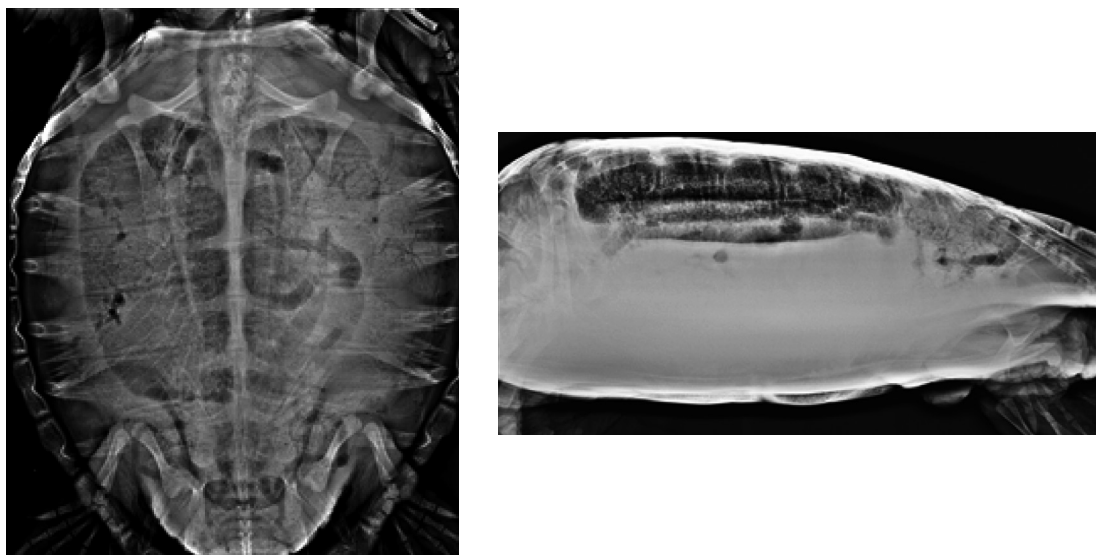


La ecografía es el método más sensible para determinar la presencia de burbujas de gas incluso en casos muy leves de embolismo. La accesibilidad de los riñones para su evaluación ecográfica y su capacidad para retener burbujas de gas circulante los convierte en órganos de elección para detectar el embolismo gaseoso mediante esta técnica. Las burbujas formadas dentro de los vasos renales son visibles como puntos hiperecogénicos (blancos) o como ‘colas de cometa’. Además, el estudio ecocardiográfico en casos leves a moderados generalmente revela burbujas de gas libres dentro de las cámaras cardíacas y grandes vasos, especialmente en el atrio derecho. Con embolismo gaseoso moderado, la acumulación de gas es claramente visible mediante ecografía en los riñones y los vasos asociados, las aurículas derecha e izquierda y en el hígado. El examen mediante ecografía se vuelve menos útil en los casos graves de embolismo ya que la presencia de gas abundante imposibilita el examen de la mayoría de las regiones y tejidos corporales.

¹⁸ GARCÍA-PÁRRAGA *et al.* (2014); FAHLMAN *et al.* (2017).

La radiografía es el método de diagnóstico por imagen semicuantitativo más simple y más práctico para evaluar la gravedad de la embolia. El gas intravascular se observa radiolúcido (contraste negativo) en el interior del corazón y los vasos. Las proyecciones ortogonales dorsoventral (DV) y laterolateral (LL) son las vistas mínimas recomendadas para la evaluación del grado y la ubicación de los émbolos gaseosos. La proyección DV de cuerpo entero generalmente proporciona información suficiente para clasificar el grado de embolia en casos leves, moderados y graves según la cantidad y la distribución de gas. En los casos graves, los pulmones se colapsan significativamente, como lo demuestra la reducción en el área de los campos pulmonares y el aumento de su radiopacidad (pérdida de contraste). En los casos donde la presencia de gas es menor, la proyección LL de la región renal es la vista más sensible para la detección del gas intravascular.

Fotografía 4. Vista dorsoventral (izquierda) y laterolateral (derecha) de un caso de embolia gaseosa moderada en el que claramente se observa la presencia de gas (contraste negativo) en la vasos renales, hepáticos y grandes vasos sistémicos. Se aprecia también el solapamiento de otros tejidos en el área de proyección pulmonar.



El estudio mediante tomografía computerizada (TAC) supone la mejor tecnología diagnóstica para cuantificar y localizar burbujas de gas, pero generalmente no está disponible en la gran mayoría de centros de rehabilitación y suele requerir de anestesia o sedación en individuos activos. La resonancia magnética (RM) ofrece un potencial adicional para evaluar el daño tisular y las lesiones crónicas subletales en los ejemplares supervivientes. Esta última técnica permite evaluar desde las alteraciones anatómicas, la carencia o disminución de perfusión tisular e incluso la evaluación de la actividad metabólica, lo que aporta información indispensable sobre el alcance del daño tisular en los individuos afectados.

Los cambios en la hematología y la bioquímica sanguínea pueden deberse a los efectos directos de la distorsión de las burbujas de los tejidos, las obstrucciones vasculares y la hemorragia. Como se describe en humanos, los efectos secundarios incluyen daño endotelial, pérdida capilar, extravasación de plasma y hemoconcentración¹⁹. Las principales alteraciones bioquímicas observadas en tortugas marinas incluyen un aumento de moderado a grave en la concentración de ácido úrico y concentraciones de electrolitos alteradas (principalmente hiponatremia e hipercalcemia). La elevación severa de la creatin-quinasa (CK) en plasma y la elevación moderada en las actividades de la enzima lactato deshidrogenasa (LDH) generalmente se observan durante los días posteriores al ingreso revelando daño muscular. Con frecuencia también se distingue una respuesta inflamatoria con desviación a la izquierda después del tratamiento. Es difícil discernir qué alteraciones son el resultado del embolismo gaseoso en comparación con otros cambios originados por la captura y la inmersión forzada.

6. Pronóstico

Las tasas de supervivencia dependen de la gravedad de los signos clínicos en el momento del ingreso, la cantidad total y la distribución del gas intravascular, el tiempo desde la descompresión hasta la terapia con oxígeno hiperbárico (HBOT) y la evidencia de aspiración de agua marina. Si no se presenta ninguna otra complicación (como ahogamiento con aspiración de agua, trauma, enfermedad previa, etc.), los casos leves generalmente sobreviven, aunque no se proporcione un tratamiento específico. Pequeñas cantidades de gas a nivel renal generalmente se reabsorben en 24 a 48 horas. En los casos moderados y graves, según lo observado, los pacientes mueren si no se aplica tratamiento hiperbárico a pesar de la administración de tratamiento *médico* de soporte (fluidoterapia, analgésicos, antiinflamatorios, etc). En casos con embolia moderada, las tortugas con frecuencia muestran un comportamiento activo o hiperactivo durante las primeras horas tras la captura, pero mueren dentro de las 48 a 72 horas si no se aplica tratamiento hiperbárico. En casos severos en su gran mayoría mueren dentro de las primeras 6 a 12 horas de haber hecho superficie, lo que generalmente ocurre durante el transporte en el barco o en vehículo hacia el centro de recuperación antes de que se pueda aplicar el tratamiento. El tiempo hasta la recompresión parece ser un factor verdaderamente crítico para lograr la supervivencia de este último grupo. Además de la supervivencia inicial, no se pueden descartar que el embolismo pueda acarrear efectos subletales en los individuos afectados que dificulten su funcionamiento normal como individuo a largo plazo tras la reintroducción. De hecho, el estudio histopatológico de muestras procedentes de animales afectados revela daños cardíacos, renales y del sistema nervioso central un mes después de sufrir el embolismo en individuos que sobrevivieron al evento descompresivo inicial. Considerando estas alteraciones, los efectos crónicos de este síndrome son de difícil evaluación y potencialmente amplían el impacto sobre las tortugas marinas.

¹⁹ VANN *et al.* (2011).

Actualmente, una de las principales líneas de investigación en este síndrome pone el foco en la supervivencia de animales afectados con dos objetivos. Por un lado, se está evaluando la tasa de supervivencia en tortugas una vez recuperadas del proceso tras su estancia en el centro de recuperación y, por otro lado, se están llevando a cabo embarques de científicos en arrastreros italianos en el mar Adriático y en arrastreros brasileños en el Atlántico sur para evaluar las tortugas capturadas y medir supervivencia en animales positivos sin tratamiento. Para ello se utilizan sistemas de seguimiento satélite ‘pop-up’, de tal manera que estos emisores se liberan o tras cumplirse un tiempo preestablecido o si se dan ciertos criterios previamente establecidos (profundidad, temperatura, oscuridad...) indicativos de la muerte del animal. Una vez liberado el emisor, sube a superficie y envía los datos vía satélite. Gracias a la información que se está generando, se puede empezar a medir el riesgo de posibles secuelas y sus efectos sobre la supervivencia en tortugas recuperadas o la posible compensación del síndrome mediante un patrón de buceo específico en tortugas no tratadas y liberadas directamente tras su captura. Esto permitirá tener una aproximación al impacto real de esta enfermedad sobre las poblaciones de tortugas marinas.

7. Diagnóstico *postmortem*

Pese a que no debería resultar complicado detectar la presencia de gas intravascular en aquellos casos positivos, se requieren consideraciones especiales durante la necropsia de animales provenientes de captura accidental y tortugas varadas que pueden haber muerto como resultado de la interacción. Las burbujas de gas pueden crearse como un artefacto durante la disección al igual que durante la descomposición por bacterias asociadas al proceso de autólisis. Igualmente es un hallazgo que puede pasar desapercibido si no se lleva a cabo una disección minuciosa con la precaución de evitar cortar vasos sanguíneos antes de registrar la presencia de gas. Es recomendable llevar a cabo una radiografía o un TAC de los ejemplares con sospecha de embolismo gaseoso con anterioridad a la necropsia, pues permite detectar la presencia y valorar la distribución del gas sin correr los riesgos de generar artefactos. Con el fin de discriminar el origen del gas, tanto las pruebas de imagen como la necropsia, deben realizarse tan pronto como sea posible después de la muerte. En cualquier caso, también se puede llevar a cabo la discriminación del origen del gas en base a la composición de este siguiendo un protocolo específico descrito por Bernaldo de Quirós *et al.*²⁰. En casos de embolismo gaseoso producido por la descompresión, la composición mayoritaria del gas será nitrógeno, mientras que es el hidrógeno el gas predominante en los casos de putrefacción.

La presencia de gas en casos moderados y severos es fácilmente detectable en los cadáveres de los animales afectados ya que las burbujas invaden de forma generalizada todo el sistema cardiovascular, hallando mayor o menor acúmulo en las diferentes regiones en función de la gravedad del caso y el tiempo transcurrido. Las principales estructuras en las que se acumu-

²⁰ BERNALDO DE QUIRÓS *et al.* (2011).

la el gas y por tanto regiones a explorar en busca de este durante el examen post-mortem, comprenden: atrio derecho, seno venoso, venas mesentéricas y venas renales. A medida que la presencia de gas es más severa, se observa una distensión vascular en la gran mayoría de regiones anatómicas, especialmente en los vasos abdominales, mesentéricos, gástricos, pancreáticos, hepáticos y renales, así como en la vena postcava y otros vasos principales. En estos casos, las cámaras y los vasos cardíacos, especialmente la aurícula derecha y el seno venoso, están distendidos masivamente por el gas, que es notable incluso en las venas coronarias. Otros hallazgos macroscópicos generalmente presentes suelen observarse en los riñones como áreas extensas enrojecidas, de forma multifocal, consistentes con congestión y/o hemorragia marcada, congestión segmentaria de la mucosa intestinal y en ocasiones alteraciones como enfisema pulmonar o abundante presencia de líquido trasudado en la cavidad celómica.

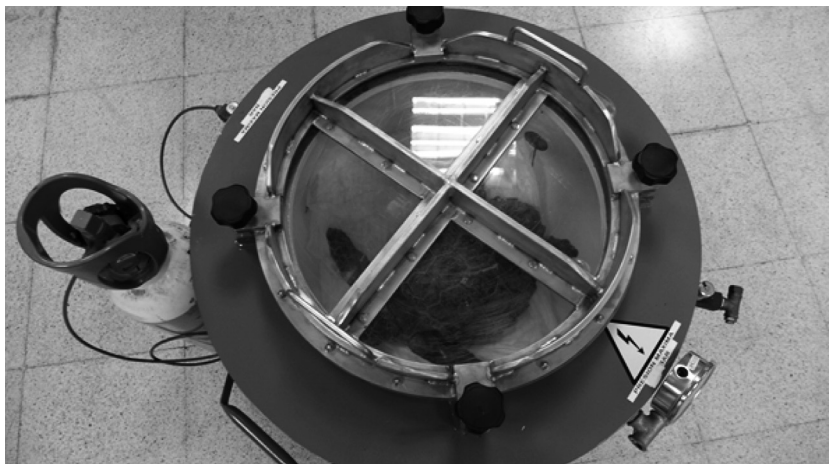
Los hallazgos histopatológicos incluyen congestión multisistémica de moderada a grave con presencia de burbujas intravasculares en múltiples órganos, incluidos el pulmón, el hígado, el riñón y el corazón. Además, el edema y las hemorragias perivasculares, que varían en extensión y gravedad, también están presentes en diferentes tejidos. Otros hallazgos histológicos observados son más inespecíficos e incluyen necrosis miocárdica aguda, multifocal con degeneración vacuolar de miocitos, edema pulmonar, degeneración hepatocelular microvacuolar difusa, edema sinusoidal y formación de glóbulos hialinos en el citoplasma de hepatocitos.

8. Tratamiento

Hoy en día no existen opciones de tratamiento razonables para el síndrome descompresivo en tortugas marinas en condiciones campo. Se puede esperar que, en casos menos graves, las tortugas puedan corregir el exceso de nitrógeno disuelto y la presencia de burbujas en sangre a través de la respiración y el buceo, pero la probabilidad de esta maniobra compensatoria resultaría menos practicable en tortugas con embolia gaseosa severa. En esos casos, dadas las alteraciones físicas provocadas y las manifestaciones clínicas observadas en los animales, la capacidad de nado y de buceo queda marcadamente comprometida. En las tortugas con embolia gaseosa de moderada a grave, el único tratamiento efectivo reconocido actualmente es la recompresión con oxígeno en una cámara hiperbárica. De forma colateral, la respuesta al tratamiento de recompresión es la única forma de confirmar un diagnóstico definitivo del síndrome mediante la desaparición de los signos clínicos y la eliminación del gas²¹. Debido a que se considera una afección potencialmente mortal, debe tratarse lo antes posible para maximizar las posibilidades de supervivencia y minimizar las lesiones tisulares ocasionadas por émbolos gaseosos en órganos vitales como los riñones, el corazón y el sistema nervioso central.

²¹ FERRIGNO Y LUNDGREN (2003).

Fotografía 5. Recompresión de una tortuga en el interior de una cámara hiperbárica construida exprofeso para tortugas marinas



Antes de la terapia hiperbárica, se recomienda la aplicación del tratamiento de emergencia para el shock. En función de la gravedad de los signos clínicos, algunas de estas medidas podrían implementarse incluso a bordo de la embarcación durante el transporte a puerto. La terapia de apoyo básica está dirigida a promover la circulación sanguínea y la perfusión tisular, así como a recuperar la respiración voluntaria y la oxigenación tisular cuanto antes. Generalmente se administran de forma agresiva fluidos intravenosos, fármacos cardiotónicos, estimulantes respiratorios, analgésicos y/o terapia suplementaria con oxígeno normobárico a través de un tubo endotraqueal, una mascarilla o una unidad de cuidados críticos comercial. Si bien el uso de antiinflamatorios esteroideos (glucocorticoides) es controvertido debido a los posibles efectos secundarios, según la opinión de estos autores y sobre la base de experiencias preliminares con personas descomprimidas, los beneficios parecen superar los posibles riesgos. Se recomienda el uso de esteroides en casos moderados y graves. También se proporcionan antibióticos de amplio espectro y vitaminas suplementarias (especialmente el complejo B). Los controles posteriores al ingreso y tratamiento incluyen entre otros el monitoreo de electrolitos, hematocrito y ácido úrico. En base a estos parámetros se ajusta el régimen de fluidoterapia según lo indicado. La aspiración concurrente de agua de mar conlleva un peor pronóstico y las tortugas deben ser monitorizadas durante un mayor intervalo de tiempo post-admisión.

Debido a que los animales no pueden ser ventilados manual o mecánicamente dentro de la cámara hiperbárica utilizada por los autores, el tratamiento hiperbárico se aplica únicamente cuando las tortugas respiran de forma autónoma. Se podrían lograr más avances en cámaras más grandes donde los animales pudieran ser conectados a ventiladores mecánicos o incluso en cámaras diseñadas para el tratamiento humano donde los veterinarios y asistentes pudieran ingresar con la tortuga a tratar. Si la respiración cesa y la vía respiratoria queda cerrada, se limitaría la eliminación de nitrógeno lo que conllevaría la muerte del paciente dentro de la cámara.

Los protocolos de medicina humana más comunes utilizan tablas de recompresión-descompresión en las que la curva de tratamiento suele durar aproximadamente cinco horas y la presión máxima alcanzada es de 1,8 atmósferas de presión relativa (2,8 ATA)²², donde se alternan como gases terapéuticos el oxígeno puro y el aire atmosférico. Estas tablas pueden modificarse para alcanzar presiones más altas y diferentes mezclas de gases dependiendo de la gravedad del proceso y según el criterio del médico hiperbárico especialista. Como punto de partida, la mayoría de los protocolos estándar humanos proporcionaron buenos resultados y tasas de eliminación de gases en tortugas marinas descomprimidas; sin embargo, durante los primeros tratamientos en tortugas, el gas intravascular residual todavía estaba presente en algunos pacientes después de finalizado el ciclo de cinco horas. Posteriormente, se llevó a cabo una adaptación de estos protocolos para tortugas marinas teniendo en cuenta las características anatómicas y fisiológicas, lo que prolongó los regímenes de tratamiento dentro de la cámara (entre 12 y 14 horas). Llevar a cabo tratamiento más largo, acorde al metabolismo reptiliano, donde las frecuencias cardíaca y respiratoria son considerablemente menores que las de un mamífero, mejoró el resultado y resultó en la eliminación completa del gas patológico intra y extravascular. A diferencia de los protocolos usados en medicina humana, el oxígeno puro se utiliza en todo el procedimiento. Idealmente se deberían alternar ciclos de oxígeno puro con aire comprimido. Sin embargo, esto no es factible con la cámara que actualmente está disponible para los autores. Una presión inicial de 1,8 atm sobre la del nivel del mar (2,8 ATA) se mantiene durante las primeras dos horas y disminuye gradualmente durante las siguientes cuatro horas hasta 0,9 atm (1,9 ATA), donde la presión se equilibra para las siguientes seis horas. La presión se reduce gradualmente a la presión atmosférica (1 ATA) mediante la apertura de una válvula durante las últimas dos horas. Es esencial durante las fases de reducción de la presión observar la respiración del animal, ya que la contención de la respiración con una rápida descompresión externa podría conducir a un barotrauma pulmonar.

El protocolo de descompresión actual aún está en fase experimental y puede ajustarse según los diferentes requisitos técnicos (limitaciones de presión de la cámara) y la severidad de la presentación. Es recomendable evaluar el uso de presiones iniciales más elevadas bajo una mezcla de gases con concentraciones de oxígeno más bajas en los casos más severos para reducir el tamaño de la burbuja y facilitar la solubilización del nitrógeno y la difusión del oxígeno lo más rápidamente posible. Teniendo en cuenta las limitaciones de no poder acceder al paciente en la cámara, los casos muy graves, incluidos los pacientes comatosos y sin respiración, podrían someterse a protocolos más cortos (cinco horas de tratamiento) con el paciente intubado dentro de la cámara para equilibrar las presiones y permitir la difusión pasiva de oxígeno. Después del primer ciclo corto de recompresión, se puede asistir de nuevo al paciente fuera de la cámara y proporcionarle un tratamiento de apoyo antes de un nuevo ciclo de recompresión. Los ciclos se pueden repetir según sea necesario. De forma alternativa, si no se dispone de cámara hiperbárica o existen otras limitaciones para su uso (por ejemplo, el tamaño de una tortuga), el paciente se beneficiará si se lo coloca en un tanque hermético y se le permite respirar oxígeno puro normobárico.

²² VANN *et al.* (2011)

Entre las líneas de trabajo que se están explorando y que supondrían un avance muy significativo en el tratamiento de la enfermedad, destaca el uso de perfluorocarbonos (PCF). Estos compuestos derivados de hidrocarburos están demostrando aplicaciones potencialmente muy interesantes por sus propiedades físicas y químicas. La alta capacidad de solubilización de oxígeno permite oxigenar los tejidos a la vez que podría favorecer la eliminación de las burbujas de nitrógeno tras solubilizarlo y transportarlo hasta los pulmones. Este tratamiento, aún en fase experimental, supondría una revolución al permitir el tratamiento in situ de pacientes afectados y la posible no dependencia de tratamiento hiperbárico.

Fotografía 6. Tortuga marcada con un sistema de seguimiento satélite ‘pop-up’ para evaluar supervivencia



9. Posibles estrategias para la mitigación de las capturas accidentales y su impacto sobre las poblaciones de tortugas marinas

Existen múltiples factores que contribuyen a que se produzca la interacción de las tortugas marinas con las diferentes artes de pesca. Conocerlos y aplicar estos conocimientos en los planes de gestión y las estrategias de mitigación es crucial para su éxito. Aspectos fundamentales de la biología de las tortugas marinas, el clima y las condiciones oceanográficas de la zona, así como factores intrínsecos a las artes de pesca empleadas afectan la probabilidad de interacción y el resultado final.

Según un estudio publicado por Finkbainer *et al.* (2011)²³, después de la implementación de varias medidas de mitigación en la pesca en EEUU entre 1990 y 2007, se estimó que las

²³ FINKBEINER *et al.* (2011).

interacciones disminuyeron en aproximadamente el 60 % y las mortalidades en alrededor del 94 %, aunque los autores señalan que todavía hay margen de mejora. Las estrategias de reducción de las capturas accidentales basan su planteamiento en diferentes puntos de actuación dependiendo de la pesquería objetivo, las características de las especies capturadas, la acogida por parte de los pescadores y la eficacia de la supervisión regulatoria.

Las tortugas marinas pasan la mayor parte de su tiempo por encima de los 40 metros de profundidad²⁴, lo que sugiere que las interacciones serán más probables cuando se configuren las artes de pesca como los anzuelos de palangre a menos de esta profundidad. Existen diversas comparativas en las que claramente demuestran una relación entre las pesquerías caladas a mayor profundidad y bajas tasas de captura de tortugas en comparación con las pesquerías poco profundas en diferentes países (Servicio Nacional de Pesca Marina de los EEUU, 2002)²⁵. Sin embargo, si las tortugas enganchadas o enredadas en el equipo de palangre no pueden salir a la superficie para respirar, la tasa de mortalidad será mayor independientemente de la profundidad del encuentro.

La temperatura del agua parece jugar un doble papel en función de las condiciones y el tipo del arte de pesca, pudiendo favorecer las interacciones según las circunstancias. En agua más cálidas, el aumento de la actividad asociado a un mayor metabolismo de las tortugas se ha relacionado con una mayor tasa de captura en artes de pesca estacionarios, a la deriva y cebadas²⁶. Por otro lado, las tortugas parecen ser menos activas durante los meses de invierno pasando más tiempo en el fondo²⁷ y estar más limitadas en su capacidad de respuesta para evitar la interacción con artes de pesca activos como las redes de arrastre de fondo²⁸.

Otro tipo de fenómenos, como agregaciones estacionales, *hotspots* o áreas de alta fidelidad, que generalmente corresponden a usos biológicos y ecológicos, como alimentación, anidación y migración²⁹, pueden predecir áreas con un mayor riesgo de captura accidental e identificar zonas que son especialmente importantes para poblaciones específicas de tortugas marinas o para determinadas fracciones poblacionales.

9.1. Sistemas de exclusión de tortugas marinas (*Turtle Exclusion Devices –TED–*)

Fruto de la alta incidencia de capturas accidentales en las pesquerías de camarón en los EEUU y el elevado número de tortugas varadas muertas presumiblemente asociadas a estas, se llevó a cabo el desarrollo de un sistema que permitiera favorecer la salida de tortugas marinas de las redes de pesca durante el arrastre mientras se mantenían las capturas de especies comerciales en el copo. Gracias a la colaboración entre la industria pesquera y el *National Marine Fisheries*

²⁴ SWIMMER *et al.*; (2002); POLOVINA *et al.* (2003 y 2004); WATSON *et al.* (2005).

²⁵ SPC (2001); POLOVINA *et al.* (2003).

²⁶ WATSON *et al.* (2005).

²⁷ HOCHSCHEID *et al.* (2005 y 2007).

²⁸ LUTCAVAGE y LUTZ (1991); STABENAU *et al.* (1991) y GARCÍA-PÁRRAGA *et al.* (2014).

²⁹ HENWOOD (1987) y KLEIBER y BOGGS (2000).

Services de los Estados Unidos, en 1980 se consiguió un sistema de diseño básico consistente en una rejilla en ángulo (barras metálicas u otro material) insertada en el cuello de la red de arrastre, de tal manera que fuerza a las tortugas (u otros objetos grandes que pudieran entrar en el copo) hacia una vía de escape mientras permite que los camarones avancen al extremo del copo con un mínimo porcentaje de pérdida en las capturas de especies objetivo. Existen diversos tamaños y modificaciones para adaptar su aplicación a los diferentes tipos de red, tipología del fondo marino o especie objetivo.

La implementación del uso de TED fue un proceso prolongado debido a su carácter voluntario inicial, lo que dilató su instauración en las flotas camaroneras hasta decretada su obligatoriedad en 1994. Posteriormente se han ido generando modificaciones para mejorar el sistema, así como su adaptación en artes a menor escala. El uso de TED en la flota de arrastre, redujo significativamente los varamientos de tortugas en épocas coincidentes con la pesca de camarón y la mortalidad directa asociada a la interacción observada en la flota de EEUU³⁰. El empleo de esta herramienta para disminuir la captura y mortalidad de tortugas marinas y otro tipo de megafauna es un requerimiento comercial establecido por EEUU a todos los países terceros que pretendan comercializar sus productos pesqueros en EEUU. Curiosamente, aunque es un tema que lleva tiempo sobre la mesa, la Unión Europea aún no ha adoptado como obligatoria una medida de mitigación similar, por lo que concretamente en el Mediterráneo sigue habiendo un número de capturas accidentales de tortugas que se podría reducir significativamente con medidas similares a las planteadas por nuestros vecinos de Norteamérica.

9.2. Restricciones en los tiempos y profundidad de calado

Pesca de arrastre

Restringir el tiempo que una embarcación de arrastre tiene sus redes en el agua de continuo no reduce necesariamente la tasa de captura, pero sí que afecta de forma notable a la tasa de mortalidad. Una menor duración de tiempo de arrastre (aunque esto requiera varios lances para igualar el tiempo total de arrastre) resulta en una menor mortalidad³¹. Se esperan tasas de mortalidad más altas como resultado de períodos más largos de inmersión forzada. Es importante tener en cuenta que además de la descompresión, otro tipo de consecuencias fisiológicas de la inmersión forzada se exacerban con un mayor tiempo de inmersión³².

En base a capturas experimentales, la probabilidad de muerte en arrastres menores a 10 minutos es insignificante, tiempo a partir del cual la probabilidad va aumentando de forma progresiva hasta alcanzar el punto de inflexión a los 50 minutos³³. Según los análisis de factores

³⁰ EPPERLY (2002) y FINKBEINER *et al.* (2011).

³¹ HENWOOD y STUNTZ (1987); WIBBELS (1989); CASALE *et al.* (2004) y SASSO y EPPERLY (2006).

³² LUTZ y BENTLEY (1985); HARMS *et al.* (2003); STABENAU y VIETTI (2003); SNOODY *et al.* (2009) y WILLIARD (2013).

³³ SASSO y EPPERLY (2006).

de riesgo en los casos positivos en la Comunidad Valenciana, se encontró que, a los 65 metros de profundidad, la probabilidad de sufrir un grado de embolia gaseosa letal era del 50 %.

En base a estas y otras observaciones se han propuesto diferentes recomendaciones para posible disminución de la interacción de tortugas marinas con la pesca de arrastre. Dichas recomendaciones varían en función de la temperatura del agua (estación del año), en base a las diferencias metabólicas y en respuesta a la inmersión forzada observadas en las tortugas a diferentes temperaturas.

Pesca de enmalle

En este caso existe una relación significativa entre el tiempo de calado del arte y la tasa de captura accidental³⁴, mientras que se han descrito diferentes resultados en cuanto a la influencia del momento de calado sobre las capturas por efecto de la luz solar en la actividad de las tortugas³⁵.

Disminuir el tiempo de calado de las redes tienen un efecto positivo en la reducción de la mortalidad de tortugas marinas asociadas a la captura³⁶ (Christiansen *et al.* 2015), pero aumenta de forma significativa la labor del pescador.

Vedas y zonas de exclusión

Pese al impacto económico que pueda suponer la prohibición de la pesca en determinadas áreas o temporadas, un área cerrada puede ser una opción más deseable que una pesquería cerrada³⁷. El establecimiento de rutas migratorias, migraciones estacionales, zonas de anidación, áreas de alimentación y otros puntos calientes de abundancia de tortugas marinas puede ayudar en el establecimiento de vedas o áreas de exclusión para la industria pesquera.

En las pesquerías de palangre del Mediterráneo, las tasas de captura accidental de tortugas marinas en áreas no costeras (más de 35 millas náuticas desde la costa) son hasta cuatro veces más altas que en la zona costera³⁸. La presencia de tortugas marinas en mayor densidad se puede anticipar en áreas adyacentes a los principales sitios de anidación durante la temporada reproductiva³⁹ o dentro de áreas de alimentación⁴⁰.

Estas medidas pueden ser efectivas para evitar áreas de elevada presencia de tortugas marinas y, por lo tanto, disminuir la probabilidad de interacción con los artes de pesca (reduciendo la mortalidad), pero siempre deben considerarse en un contexto de conservación completo.

³⁴ WATSON *et al.* (2005).

³⁵ BOLTEN *et al.* (2004).

³⁶ HARMS *et al.* (2003) y SNODDY *et al.* (2009).

³⁷ FAO (2009).

³⁸ BÁEZ *et al.* (2007).

³⁹ MARGARITOU LIS (2005) y SCHOFIELD *et al.* (2009).

⁴⁰ CASALE *et al.* (2008 y 2010).

El cierre de un área o temporada para reducir la captura accidental de algunas especies puede trasladar y concentrar el esfuerzo en otras áreas o períodos con consecuencias no deseadas⁴¹ o más perjudiciales para otras especies. Por ejemplo, el cierre de la pesquería de pez espada con palangre desencadenó el desplazamiento del esfuerzo pesquero del Atlántico noroccidental hacia el Atlántico sur, donde había pocos o ningún control para controlar la captura accidental de tortugas marinas.

Modificaciones de las redes de enmalle

La adaptación de las redes de enmalle teniendo en cuenta la biología y comportamientos de las tortugas marinas, puede reducir las interacciones con las mismas. Modificaciones en la longitud y altura de la red, adaptaciones para disminuir el efecto bolsa de la red, reducción del tamaño de luz de la malla, minimización del número de líneas de flotación, uso de luces led para facilitar la detección de las redes por parte de la tortuga... Son algunos ejemplos de las múltiples colaboraciones que se establecen entre conservacionistas, investigadores, gestores y pescadores para reducir el impacto de la pesca sobre especies no objetivo.

Referencias bibliográficas

- BÁEZ, J. C.; REAL, R.; GARCÍA-SOTO, C.; DE SERNA, J. M.; MACÍAS, D. y CAMIÑAS, J. A. (2007): *Marine Ecology Progress Series* 338; pp. 249-256
- BOLTEN, A. B.; MARTINS, H. R.; ISIDRO, E.; SANTOS, M.; FERREIRA R. L.; BETTENCOURT, E. *et al.* (2004): «Experiment to Evaluate Gear Modification on Rates of Sea Turtle Bycatch in the Swordfish Longline Fishery in the Azores—Phase 1 and Phase 2»; in *Proceedings of the International Technical Expert Workshop on Marine Turtle By-Catch in Longline Fisheries. US Dep. Commerce. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/OPR-26*; pp. 139-153
- CASALE, P.; ABBATE, G.; FREGGI, D.; CONTE, N.; OLIVERIO, M. y ARGANO, R. (2008): «Foraging Ecology of Loggerhead Sea Turtles *Caretta caretta* in the Central Mediterranean Sea: Evidence for a Relaxed Life History Model»; *Marine Ecology Progress Series* 372; pp. 265-276. Disponible en: <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v372/p265-276/>.
- CASALE, P.; AFFRONTI, M.; INSACCO, G.; FREGGI, D.; VALLINI, C.; PINO D'ASTORE, P. *et al.* (2010): «Sea Turtle Strandings Reveal High Anthropogenic Mortality in Italian Waters»; *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 20; pp. 611-20. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/aqc.1133>.

⁴¹ HALL *et al.* (2000).

- CASALE, P.; BRODERICK, A. C.; CAMINAS, J. A.; CARDONA, L.; CARRERAS, C.; Demetropoulos, A. *et al.* (2018): «Mediterranean Sea Turtles: Current Knowledge and Priorities for Conservation and Research»; *Endanger Species Res* 36; pp. 1-63. Disponible en: <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>.
- CASALE, P.; LAURENT, L. y DE METRIO, G. (2004): «Incidental Capture of Marine Turtles by the Italian Trawl Fishery in the North Adriatic Sea»; *Biological Conservation* 119; pp. 287-95. Disponible en: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.11.013>.
- Council, National Research: *Decline of the Sea Turtles: Causes and Prevention* (National Academies Press, 1990).
- EPPERLY, S. P. (2002): «13 Fisheries-Related Mortality and Turtle Excluder Devices (TED)»; *The Biology of Sea Turtles* 2; p. 339.
- FAHLMAN, A.; CRESPO-PICAZO, J. L.; STERBA-BOATWRIGHT, B.; STACY, B. A. y GARCIA-PARRAGA, D. (2017): «Defining Risk Variables Causing Gas Embolism in Loggerhead Sea Turtles (*Caretta caretta*) Caught in Trawls and Gillnets»; *Scientific Reports* 7; pp. 3-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02819-5>.
- FAO (2001): «Fishing Gear Types. Technology Fact Sheets». Disponible en: <http://www.fao.org/fishery/geartype/220/en>.
- FERRIGNO, M. y LUNDGREN, C. E. G. (2003): «Breath-Hold Diving»; en *Bennett and Elliotts' Physiology and Medicine of Diving 5th Edition*, ed. by A. O. Brubakk and T.S Neuman (Austin, Texas: Saunders, 2003); pp. 153-80.
- Finkbeiner, E. M.; Wallace, B. P.; Moore, J. E.; Lewison, R. L.; Crowder, L. B. y READ, A. J. (2011): «Cumulative Estimates of Sea Turtle Bycatch and Mortality in USA Fisheries between 1990 and 2007»; *Biological Conservation* 144; pp. 2719-2727. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.07.033>.
- GARCÍA-PARRAGA, D.; CRESPO-PICAZO, J. L.; BERNALDO DE QUIRÓS, Y.; CERVERA, V.; MARTÍ-BONMATI, L.; DÍAZ-DELGADO, J. *et al.* (2014): «Decompression Sickness («the Bends») in Sea Turtles»; *Diseases of Aquatic Organisms* 111; pp. 191-205.
- GARCÍA-PARRAGA, D.; LORENZO, T.; WANG, T.; ORTIZ, J. L.; ORTEGA, J.; CRESPO-PICAZO, J. L. *et al.* (2018): «Deciphering Function of the Pulmonary Arterial Sphincters in Loggerhead Sea Turtles (*Caretta caretta*)»; *The Journal of Experimental Biology* jeb.179820. Disponible en: <https://doi.org/10.1242/jeb.179820>.
- GEROSA, GUIDO y CASALE, P. (1999): «Interaction of Marine Turtles with Fisheries in the Mediterranean»; *Mediterranean Action Plan - UNEP, Regional Activity Centre For Specially Protected Areas*.
- GILMAN, E. y BIANCHI, G. (2010): *Guidelines to Reduce Sea Turtle Mortality in Fishing Operations. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries*.

- HALL, M. A.; ALVERSON, D. L. y METUZALS, K. I. (2000): «By-Catch: Problems and Solutions»; *Marine Pollution Bulletin* (41); pp. 204-219. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00111-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00111-9).
- HARMS, C. A.; MALLO, K. M. ROSS, P. M. y SEGARS, A. L. (2003): «Venous Blood Gases and Lactates of Wild Loggerhead Sea Turtles (*Caretta Caretta*) Following Two Capture Techniques»; *Journal of Wildlife Diseases* 39; pp. 366-74.
- HENWOOD, T. A. (1987): «Movements and Seasonal Changes in Loggerhead Turtle *Caretta Caretta* Aggregations in the Vicinity of Cape Canaveral, Florida (1978-84)»; *Biological Conservation* 40; pp. 191-202. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(87\)90085-1](https://doi.org/10.1016/0006-3207(87)90085-1).
- HENWOOD, T. A. y STUNTZ, W. E. (1987): «Analysis of Sea Turtle Captures and Mortalities during Commercial Shrimp Trawling»; *Fishery Bulletin* 85; pp. 813-17.
- HOCHSCHEID, S.; BENTIVEGNA, F. y HAYS, G. C. (2005): «First Records of Dive Durations for a Hibernating Sea Turtle»; *Biology Letters* 1; pp. 82-86. Disponible en: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2004.0250>.
- HOCHSCHEID, S. y Flegra Bentivegna, G. C.; BRADAI HAYS, M. N. (2007): «Overwintering Behaviour in Sea Turtles: Dormancy Is Optional»; *Marine Ecology Progress Series* 340; pp. 287-298. Disponible en: <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v340/p287-298/>.
- KLEIBER, P. y BOGGS, C. H. (1999): *Workshop on Reducing Sea Turtle Takes in Longline Fisheries, Miami, August 31-September 1* (Honolulu Laboratory, Southwest Fisheries Science Center, National Marine..., 2000).
- LEWISON, R. L.; FREEMAN, S. A. y CROWDER, L. B. (2004): «Quantifying the Effects of Fisheries on Threatened Species: The Impact of Pelagic Longlines on Loggerhead and Leatherback Sea Turtles»; *Ecology Letters* 7; pp. 221-31. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00573.x>.
- LEWISON, R. L. y CROWDER, L. B. (2007): «Putting Longline Bycatch of Sea Turtles into Perspective»; *Conservation Biology* 21; pp. 79-86.
- LEWISON, R. L.; CROWDER, L. B.; WALLACE, B. P. MOORE, J. E.; COX, T.; ZYDELIS, R. *et al.* (2014): «Global Patterns of Marine Mammal, Seabird, and Sea Turtle Bycatch Reveal Taxa-Specific and Cumulative Megafauna Hotspots»; *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111; pp. 5271-5276.
- LUTCAVAGE, M. E. y LUTZ, P. L. (1991): «Voluntary Diving Metabolism and Ventilation in the Loggerhead Sea Turtle»; *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 147; pp. 287-296. Disponible en: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-0981\(91\)90187-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-0981(91)90187-2).
- LUTZ, P. L. y BENTLEY, T. B. (1985): «Respiratory Physiology of Diving in the Sea Turtle»; *Copeia*; pp. 671-679.

- MARGARITOU LIS, D. (2005): «Nesting Activity and Reproductive Output of Loggerhead Sea Turtles, *Caretta Caretta*, over 19 Seasons (1984-2002) at Laganas Bay, Zakynthos, Greece: The Largest Rookery in the Mediterranean»; *Chelonian Conservation and Biology* 4; pp. 916-929.
- POLOVINA, J. J.; HOWELL, E.; PARKER, D. M. y BALAZS, G. H. (2003): «Dive-Depth Distribution of Loggerhead (*Caretta Carretta*) and Olive Ridley (*Lepidochelys Olivacea*) Sea Turtles in the Central North Pacific: Might Deep Longline Sets Catch Fewer Turtles?»; *Fishery Bulletin* 101; pp. 189-193.
- POLOVINA, J. J.; BALAZS, G. H.; HOWELL, E. A.; PARKER, D. M.; SEKI, M. P. y DUTTON, P. H. (2004): «Forage and Migration Habitat of Loggerhead (*Caretta Caretta*) and Olive Ridley (*Lepidochelys Olivacea*) Sea Turtles in the Central North Pacific Ocean»; *Fisheries Oceanography* 13; pp. 36-51. Disponible en: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2419.2003.00270.x>.
- DE QUIRÓS, Y. B.; GONZÁLEZ-DÍAZ, O.; SAAVEDRA, P.; ARBELO, M.; SIERRA, E.; SACCHINI, S. *et al.* (2011): «Methodology for in Situ Gas Sampling, Transport and Laboratory Analysis of Gases from Stranded Cetaceans»; *Scientific Reports* 1. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/srep00193>.
- SASSO, C. R. y EPPERLY, S. P. (2006): «Seasonal Sea Turtle Mortality Risk from Forced Submergence in Bottom Trawls»; *Fisheries Research*, 81; pp. 86-88.
- SCHOFIELD, G.; MARTIN, L.; BISHOP, C.; BROWN, P.; KATSELIDIS, K.; DIMOPOULOS, P. *et al.* (2009): *Conservation Hotspots: Implications of Intense Spatial Area Use by Breeding Male and Female Loggerheads at the Mediterranean's Largest Rookery, Endangered Species Research*. Disponible en: <https://doi.org/10.3354/esr00137>.
- SNODDY, J. E.; LANDON, M.; BLANVILLAIN, G. y SOUTHWOOD, A. (2009): «Blood Biochemistry of Sea Turtles Captured in Gillnets in the Lower Cape Fear River, North Carolina, USA»; *The Journal of Wildlife Management* 73; pp. 1394-1401. Disponible en: <https://doi.org/10.2193/2008-472>.
- SPC (2001): «A Review of Turtle By-Catch in the Western and Central Pacific Ocean Tuna Fisheries. A Report Prepared for the South Pacific Regional Environment Programme (SPREP)»; *South Pacific Regional Environment Programme* 26.
- STABENAU, E. K.; HEMING, T. A. y MITCHELL, J. F. (1991): «Respiratory, Acid-Base and Ionic Status of Kemp's Ridley Sea Turtles (*Lepidochelys Kempfi*) Subjected to Trawling»; *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 99; pp. 107-111.
- STABENAU, E. K. y VIETTI, K. (2003): «The Physiological Effects of Multiple Forced Submergences in Loggerhead Sea Turtles (*Caretta Caretta*)»; *Fishery Bulletin* 101; pp. 889-899.
- VANN, R. D.; BUTLER, F. K.; MITCHELL, S. J. y MOON, R. E. (2011): «Decompression Illness»; *The Lancet* 377; pp. 153-164.

- WALLACE, B. P.; SELINA, S.; HEPPELL, R. L.; SHALEYLA KELEZ, L. y CROWDER, L. B. (2008): «Impacts of Fisheries Bycatch on Loggerhead Turtles Worldwide Inferred from Reproductive Value Analyses»; *Journal of Applied Ecology* 45; pp. 1076-1085; Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01507.x>.
- WALLACE, B. P.; KOT, C. Y.; DIMATTEO, A. D.; LEE, T.; CROWDER, L. B. y LEWISON, R. L. (2013): «Impacts of Fisheries Bycatch on Marine Turtle Populations Worldwide: Toward Conservation and Research Priorities»; *Ecosphere* 4; pp. 1-49. Disponible en: <https://doi.org/10.1890/ES12-00388.1>.
- WALLACE, B. P.; LEWISON, R. L. MCDONALD, S. L.; MCDONALD, R. K.; KOT, C. Y.; KELEZ, S. *et al.* (2010): «Global Patterns of Marine Turtle Bycatch»; *Conservation Letters* 3; pp. 131-142. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2010.00105.x>.
- WATSON, J. W.; EPPERLY, S. P.; SHAH, A. K. y FOSTER, D. G. (2005): «Fishing Methods to Reduce Sea Turtle Mortality Associated with Pelagic Longlines»; *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62; pp. 965-981.
- WIBBELS, T. (1989): «Shrimp Trawl-Induced Mortality of Sea Turtles during Short Duration Trawling»; *Marine Turtle Newsletter* 47; pp. 3-5.
- WILLIARD, A. S. (2013): «Physiology as Integrated Systems»; *The Biology of Sea Turtles* 3; pp. 1-30.
- WILSON, S. M.; RABY, G. D.; BURNETT, N. J.; HINCH, S. G. y COOKE, S. J. (2014): «Looking beyond the Mortality of Bycatch: Sublethal Effects of Incidental Capture on Marine Animals»; *Biological Conservation* 171; pp. 61-72.
- SWIMMER, Y.; BRILL, R. y MUSYL, M. (2002): «Use of Pop-Up Satellite Archival Tags to Quantify Mortality of Marine Turtles Incidentally Captured in Longline Fishing Gear»; *Marine Turtle Newsletter* 97; pp. 3-7.