

Frío paralizante en tortugas marinas: cuadro clínico, manejo y tratamiento

Eduardo Reséndiz*, Helena Fernández-Sanz
& Joelly Alejandra Espinoza Villanueva

Resumen

Las tortugas marinas son organismos ectotérmicos que dependen de su entorno para mantener una temperatura corporal interna adecuada y así poder cumplir con sus funciones metabólicas habituales. Cuando la temperatura del agua desciende, las tortugas marinas en áreas templadas desarrollan diferentes estrategias de supervivencia para mantener su temperatura central corporal óptima y prevenir los efectos adversos producidos por el frío. Cuando son incapaces de combatir los descensos abruptos de la temperatura, pueden entrar en un estado de hipotermia conocido como frío paralizante. Esta condición se da cuando las tortugas se exponen a temperaturas inferiores al rango somático tolerable (menor a 10 °C), puede aturdir las y ocasionarles problemas fisiológicos y metabólicos que pueden llegar a ser fatales si la temperatura disminuye por debajo de los 5 °C. El objetivo de este trabajo fue revisar el conocimiento actual sobre los efectos del frío paralizante en tortugas marinas y proponer herramientas funcionales y validadas para su manejo, tratamiento y rehabilitación. Este documento reúne la información necesaria para conocer los cambios que se producen en las tortugas marinas expuestas a un periodo de frío paralizante, ayuda a entender el daño que produce en los organismos afectados y propone el uso de técnicas y herramientas funcionales y validadas para el manejo, tratamiento y rehabilitación de tortugas marinas aturdidas por frío, lo cual permitirá actuar en eventos de frío paralizante a nivel

Abstract

Sea turtles are ectothermic organisms that depend on their environment to maintain an adequate internal body temperature and thus be able to fulfill their metabolic functions. When the water temperature drops, sea turtles in temperate areas develop different survival strategies to maintain their optimal core body temperature and prevent the adverse effects of cold. However, when sea turtles are unable to combat abrupt drops in temperature, they can enter a hypothermic status known as cold-stunning. This condition occurs when turtles are exposed to temperatures below the tolerable somatic range (less than 10 °C), it can stun them and cause physiological and metabolic problems that can become fatal if the temperature drops below 5 °C. The aims of this manuscript were to review the current knowledge on the effects of cold-stunning in sea turtles and propose functional tools for their management, treatment and rehabilitation in Mexico. This document gathers the information necessary to identify the changes that occur in sea turtles exposed to a period of cold-stunning, helping to understand the damage it produces in affected organisms. This manuscript proposes the use of functional and validated techniques and tools for the management, treatment and rehabilitation of cold-stunned sea turtles which will allow to act in cold-stunning events at a national and international level. The information generated aims to complement the health assessments of sea turtles in Mexico, as well as the management

¹ Departamento Académico de Ciencias Marinas y Costeras, Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), Carretera al Sur KM 5.5., Apartado Postal 19-B, C.P. 23080, La Paz B.C.S. México.

² Health assessments in sea turtles from B.C.S., La Paz 23085, B.C.S., México.

³ Asociación Mexicana de Veterinarios de Tortugas A.C., Xalapa 91050, Veracruz, México.

*Autor de correspondencia: jresendiz@uabcs.mx (ER)

nacional e internacional. La información generada propone complementar las evaluaciones de salud de tortugas marinas en México, así como los planes de manejo y fortalecer las estrategias de conservación pertinentes para estas especies y los ecosistemas donde se distribuyen en nuestro país.

Palabras clave: Aturdimiento por frío, conservación, fisiopatología de frío paralizante, hipotermia, rehabilitación, tortugas marinas.

Recibido: 30 de abril de 2021

plans, and to strengthen the pertinent conservation strategies for these species and the ecosystems where they are distributed in our country.

Key words: Cold-stunning, conservation, hypothermia, pathophysiology, rehabilitation, sea turtles.

Aceptado: 15 de julio de 2021.

Introducción

Como todos los reptiles, las tortugas marinas son ectotérmicas y dependen de su ambiente para mantener una temperatura corporal (T^a) interna adecuada y así poder cumplir con sus funciones metabólicas y demandas energéticas regulares (Schwartz 1978, Mrovsky 1980). Generalmente este grupo de organismos tiene acotadas sus áreas de distribución a aguas tropicales y subtropicales (Márquez 1997); no obstante, algunas especies se alimentan en hábitats costeros en latitudes más templadas, principalmente durante el verano, incluyendo estos sitios en su rango de distribución habitual (Morreale *et al.* 1992, Epperly *et al.* 1995, González *et al.* 2011). A medida que la temperatura del agua desciende a finales del otoño o principios del invierno, las tortugas marinas en áreas templadas desarrollan diferentes estrategias de supervivencia para mantener su T^a central óptima y prevenir los efectos adversos producidos por el frío, entre ellas la migración estacional hacia aguas más cálidas del sur o aguas más profundas, el "basking" o asoleo (tanto en la superficie del mar como en la playa) y el estado de torpor (Coles & Musick 2000, Southwood *et al.* 2003, González *et al.* 2012, Van Houtan *et al.* 2015, Coleman *et al.* 2016, Shaver *et al.* 2019, Metz *et al.* 2020). Cuando las tortugas son incapaces

de combatir los descensos abruptos de la temperatura del agua pueden entrar en un estado de hipotermia conocido como frío paralizante (Foley *et al.* 2007, Innis *et al.* 2009, Anderson *et al.* 2011).

El frío paralizante es una condición en la que las tortugas marinas se exponen a temperaturas del agua por debajo del rango somático tolerable (menor a 10 °C), aturdiéndolas, y ocasionándoles problemas fisiológicos y metabólicos que pueden llegar a ser fatales si la temperatura disminuye por debajo de los 5 °C (Schwartz 1978, Anderson *et al.* 2011, Innis & Staggs 2017). Generalmente los casos de frío paralizante en tortugas marinas están restringidos a áreas relativamente pequeñas y bien definidas que comparten ciertas características geográficas y climáticas (Foley *et al.* 2007, Roberts *et al.* 2014). Suelen ser aguas de bahías poco profundas que están semicerradas por islas de barrera o penínsulas con acceso restringido hacia aguas más profundas y cálidas, generando un efecto de encierro que dificulta a las tortugas migrar para evitar las aguas frías (Roberts *et al.* 2014, Shaver *et al.* 2017).

Los casos de aturdimiento por frío paralizante pueden ser agudos o crónicos (Foley *et al.* 2007, Innis *et al.* 2009). Los primeros ocurren en latitudes más bajas,

suelen durar menos de dos semanas y son desencadenados por olas de frío extremo en áreas donde las tortugas son residentes durante todo el año (Shaver 1990, Vélez-Rubio *et al.* 2017). Los eventos crónicos están asociados a tortugas que no logran migrar al sur antes del inicio de las tormentas de finales de otoño, son de larga duración (1-3 meses) y pueden ocurrir cada invierno en áreas donde las tortugas son residentes estacionales (Morreale *et al.* 1992, Innis & Staggs 2017). Ambos sucesos se documentan entre noviembre y marzo, alcanzando varios puntos máximos que varían en función de las condiciones climáticas (Still *et al.* 2005, Hunt *et al.* 2012, Shaver *et al.* 2017). Se ha documentado que los principales factores ambientales que contribuyen a un evento de frío paralizante son la temperatura superficial del mar, la temperatura del aire, la velocidad y dirección del viento (Still *et al.* 2005, Robert *et al.* 2014, Niemuth *et al.* 2020).

Los casos de frío paralizante en tortugas marinas datan del invierno de 1894 en Indian River Florida, Estados Unidos (Witherington & Ehrhart 1989) y desde entonces, se han reportado eventos individuales y masivos de tortugas aturdidas por frío, principalmente en hábitats de desarrollo a lo largo de la costa este de Estados Unidos y el Golfo de México (Burke *et al.* 1991, Morreale 1992, Hunt *et al.* 2012, Shaver *et al.* 2017), aunque también se ha informado de casos en la costa oeste de Italia, en Uruguay y el sur de España (Bentivegna *et al.* 2002, Bellido *et al.* 2008, Vélez-Rubio *et al.* 2017). Los organismos afectados por esta condición han sido principalmente juveniles y subadultos de tortuga lora (*Lepidochelys kempii*), tortuga amarilla (*Caretta caretta*), tortuga verde (*Chelonia mydas*) y en menor medida, tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) (Witherington & Ehrhart 1989,

Morreale 1992, Lively *et al.* 2019, Niemuth *et al.* 2020); por su tamaño corporal y relación superficie - volumen, las tortugas juveniles tienen una mayor susceptibilidad a la reducción rápida y severa de la temperatura del agua (Foley *et al.* 2007). Además, también se ha reportado aturdimiento por frío paralizante en crías de tortuga verde, tortuga amarilla y tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) en las costas de Florida (Shaver *et al.* 2017).

Durante las últimas décadas, el número de varamientos de tortugas aturdidas por frío ha aumentado drásticamente en el Atlántico noroccidental y Golfo de México, con algunos eventos masivos en las costas de Florida y en Texas (Foley *et al.* 2007, Avens *et al.* 2012, Roberts *et al.* 2014, Shaver *et al.* 2017), convirtiéndose en una amenaza significativa en las regiones (Griffin *et al.* 2019), que han aumentado los esfuerzos en la vigilancia y rehabilitación de organismos afectados. Recientemente en 2021 se reportaron más de 12,500 tortugas verdes y loras varadas por frío paralizante en Isla del Padre, Texas, de las cuales se logró rehabilitar y liberar más del 35% (Burnett 2021). Se ha teorizado acerca de los componentes que impulsan este creciente número de varamientos de tortugas marinas en el mundo, identificado una variedad de factores potenciales que explican esta tendencia ascendente, como el cambio de las condiciones oceánicas y atmosféricas, el aumento de la temperatura superficial del mar o la recuperación de las poblaciones de tortugas anidadoras (Bellido *et al.* 2008, Anderson *et al.* 2011).

En México, la suma de lo anterior ha aumentado la susceptibilidad de las poblaciones de tortugas que se alimentan en sus diferentes costas. En el Pacífico mexicano, en el complejo lagunar Ojo de Liebre en la Reserva de la Biosfera "El Vizcaíno", Baja California Sur, se han reportado eventos

de mortalidad de tortugas negras (*Chelonia mydas*) asociados a frío paralizante desde la década de los 2000; mientras que en el Golfo de México estos eventos se han reportado para tortugas verdes y loras en las costas de Tamaulipas (Ramírez 2018). Recientemente en playa La Pesca, Tamaulipas, se rescataron más de 140 tortugas verdes y loras juveniles aturdidas por frío (Gómez 2021).

El conocimiento sobre el manejo médico, los tratamientos y rehabilitación de tortugas marinas aturdidas por frío en México es limitado, por lo que resulta necesario generar información que permita actuar en eventos de frío paralizante, comprendiendo el daño y las implicaciones que tiene sobre los organismos. Este documento reúne la información necesaria para conocer los cambios a nivel sistémico que se producen en las tortugas marinas expuestas a un periodo de frío paralizante y propone herramientas funcionales y validadas para su manejo, tratamiento y rehabilitación.

Daño generado por acción del frío en tortugas marinas

Frío paralizante: aturdimiento por frío, fisiopatología y cuadro clínico

Una vez iniciada la situación de hipotermia por exposición drástica a los descensos de temperatura o bien por una exposición prolongada a los mismos, se producen una serie de alteraciones a todos los niveles sistémicos, entre los que destacan: efectos neurológicos, gastroentéricos, cardiovasculares, respiratorios, neuromusculares y nefrológicos (Turnbull *et al.* 2000, Innis *et al.* 2007, 2009, Anderson *et al.* 2011, Keller *et al.* 2012). Estas alteraciones son más severas cuanto mayor es el grado de hipotermia y la exposición a periodos de frío (Webber & Merigo 2006, Innis *et al.*

2007, Innis & Staggs 2017) y se clasifican en:

- Leve: descenso de la T^a central entre 13-15°C.
- Moderada: descenso de la T^a central entre 11- 13 °C.
- Severa: descenso de la T^a central a menos de 10 °C, pudiendo ser fatal a < 5 °C.

Durante este proceso, los quelonios presentan anorexia por la disminución en la digestión de alimento, deshidratación, disminución de la circulación y ralentización de otras funciones corporales que en casos graves puede ocasionarles daños orgánicos fatales (Turnbull *et al.* 2000, Bellido *et al.* 2008, McMichael *et al.* 2008). Las tortugas marinas aturdidas por frío pierden la capacidad de nadar y bucear, por lo que suelen flotar en la superficie aletargadas y tienen mayor probabilidad de sufrir traumas secundarios, ser devoradas por depredadores, enfermarse (Innis *et al.* 2009, 2014, Hunt *et al.* 2012, Lively *et al.* 2019, Shaver *et al.* 2019), varar y / o morir debido a la inmunosupresión generada o bien por el daño orgánico producido (Bentivegna *et al.* 2002, Stacy *et al.* 2013, Liu *et al.* 2019). La tasa de mortalidad puede variar dependiendo de la duración y el grado de hipotermia, la presencia de lesiones y enfermedades preexistentes (Innis *et al.* 2014, Shaver *et al.* 2017). Los factores clave para la supervivencia de las tortugas afectadas son la pronta detección, así como un diagnóstico y tratamiento efectivo en instalaciones de rehabilitación (Innis *et al.* 2014, Keller *et al.* 2012, Stacy *et al.* 2013).

Tipo de alteraciones sistémicas asociadas a frío paralizante

a) Alteraciones neurológicas: en la primera fase del aturdimiento por frío se producen

alteraciones leves del estado cerebral: amnesia, apatía, desorientación, disartria (dificultad para mover los músculos de la cabeza, boca y del sistema respiratorio superior) y alteraciones conductuales (Crisman 1997, Harms *et al.* 2017). En la fase moderada del aturdimiento por frío se reduce el nivel de alerta y se desarrollan alteraciones neurológicas que afectan la actividad eléctrica del cerebro y ondas cerebrales. Finalmente en la fase severa del aturdimiento por frío se impide la autorregulación del flujo cerebral, con hipoperfusión cerebral y reducción progresiva de la actividad (por ejemplo, disminuye la velocidad de conducción del sistema nervioso periférico, los reflejos osteotendinosos, los cutáneos y las respuestas pupilares) que empeoran con el periodo de exposición al frío hasta llegar a la muerte cerebral (Innis *et al.* 2007, Harms *et al.* 2017, Innis & Staggs 2017).

b) Alteraciones cardiovasculares: en la fase leve se produce taquicardia y vasoconstricción periférica, mecanismos destinados a evitar la pérdida de calor corporal y aumentar aporte de calor a los órganos internos (Cunningham & Bradley 2009, García-Párraga *et al.* 2017). Por ello, en esta primera fase aumenta el gasto cardíaco y la tensión arterial. En la fase moderada y severa estos mecanismos compensatorios se agotan y aparecen de modo progresivo la bradicardia, descenso de tensión arterial y arritmias auriculares y, sobre todo, ventriculares potencialmente dañinas, que finalmente llevan a la asistolia (García-Párraga *et al.* 2017, Innis & Staggs 2017).

c) Alteraciones respiratorias: en la fase leve se produce bradipnea con el objetivo de reducir la cantidad de calor perdido por evaporación de agua en las vías respiratorias (Innis *et al.* 2007, 2009). Durante cierto tiempo este mecanismo es útil, pero en las fases moderada y severa se vuelve

peligroso debido a la reducción de la T^a corporal; también se afecta el centro respiratorio y se anula su capacidad para responder ante los estímulos de hipoxia e hipercapnia (aumento de la presión parcial del dióxido de carbono (CO_2) en la sangre, producida de forma más frecuente por hipoventilación alveolar o por desequilibrios en la relación ventilación-perfusión pulmonar) (Boylan *et al.* 2017, Stacy & Innis 2017). De este modo, el mecanismo inicial sigue funcionando sin control, produciéndose un descenso progresivo del ritmo respiratorio hasta concluir en apnea (Wyneken *et al.* 2006, Innis *et al.* 2007).

d) Alteraciones endocrinas: en la fase leve del aturdimiento por frío se da un aumento en la producción de las hormonas de estrés (corticoesterona, catecolaminas y tiroxina) con el objetivo de aumentar la tasa metabólica basal, producir más energía y por tanto, más calor con el que mantener la T^a central constante (O'Malley 2017, Flower *et al.* 2017). Por consecuencia, en las fases moderada y severa estos mecanismos se muestran insuficientes para mantener la T^a central (Flower *et al.* 2017, Innis & Staggs 2017).

e) Alteraciones neuromusculares: en la fase leve del aturdimiento por frío se produce como mecanismo compensatorio un aumento generalizado del tono muscular y contracciones rítmicas rápidas del músculo, es decir, hipertonia y escalofríos (Mette *et al.* 2017, Innis & Staggs 2017). Ambos mecanismos tratan de aumentar la producción de energía en forma de calor (O'Malley 2017). En las fases moderada y severa estos mecanismos se ven sobrepasados y anulados por alteraciones del sistema nervioso que los dirige, dando paso a la hiporreflexia e hipotonía, y finalmente a la arreflexia y atonía (Harms *et al.* 2017, Mettee *et al.* 2017).

f) Alteraciones renales: las dos primeras

fases del aturdimiento por frío suelen ir acompañadas de un grado generalmente leve de insuficiencia renal, con ligeros aumentos en la producción de urea y creatinina que frecuentemente se resuelve sin secuelas (Innis *et al.* 2017, Innis & Staggs 2017), mientras que, en la fase grave, puede producirse necrosis tubular aguda con pérdida de función (Innis *et al.* 2009). La exposición al frío produce inicialmente un aumento de la diuresis (diuresis por frío), incluso antes de la disminución de la T^a central, debida fundamentalmente a la vasoconstricción cutánea con el consiguiente desplazamiento de la afluencia de sangre hacia los territorios centrales y a la insensibilidad de los túbulos a la hormona antidiurética (Matassa *et al.* 1994, Turnbull *et al.* 2000).

Otras alteraciones producidas durante la exposición al frío paralizante

Alteraciones pulmonares y respiratorias: en los periodos de aturdimiento por frío, las tortugas afectadas suelen presentar bradipnea por depresión del centro respiratorio que generalmente no supone un grave problema hasta que se alcanzan T^a centrales muy bajas (Innis *et al.* 2007). Adicionalmente, durante este proceso, se reduce el intercambio alveolocapilar y las respuestas respiratorias a la hipoxemia y a la acidosis (Cunningham & Bradley 2009, Keller *et al.* 2012). Aunque la frecuencia respiratoria y el volumen corriente están disminuidos, estos suelen ser suficientes para mantener los requerimientos de oxígeno (O₂) y la eliminación del anhídrido carbónico, puesto que el aturdimiento por frío reduce el consumo de O₂ al 50% aproximadamente cuando la temperatura central alcanza los 10°C (Turnbull *et al.* 2000, Boylan *et al.* 2017). Es importante tener en cuenta que, teóricamente, por cada 1 °C de T^a inferior a los 25 °C, el pH se incrementa

0.0147 aproximadamente, y la presión alveolar de oxígeno (PaO₂) y la presión parcial de dióxido de carbono (CO₂) en la sangre arterial (PaCO₂) disminuyen aproximadamente un 7% y 4% respectivamente (Cunningham & Bradley 2009, O'Malley 2017). Durante la hipotermia, la PaO₂ suele presentar valores disminuidos por la hipoventilación alveolar y la alteración de la ventilación por perfusión. La PaCO₂ puede tener mayor dispersión de valores: la disminución del metabolismo basal tiende a reducirla, mientras que la hipoventilación alveolar junto al aumento de solubilidad del CO₂ tienden a aumentarla (Boylan *et al.* 2017, Innis & Staggs 2017). No obstante, la ventilación mecánica en las tortugas aturdidas por frío puede llevar rápidamente a cifras importantes de hipocapnia (Matassa *et al.* 1994, Keller *et al.* 2012). El resultado final de la curva de disociación de la hemoglobina en tortugas aturdidas por frío apenas se modifica puesto que esta condición desvía la curva de disociación de la hemoglobina hacia la izquierda (con la consiguiente disminución de la liberación de oxígeno) y la acidosis metabólica hacia la derecha (Anderson *et al.* 2011, Stacy & Innis 2017). Además, la disminución del nivel de alerta, la reducción de la capacidad vital, la deshidratación y sequedad de las mucosas, la disminución de la actividad mucociliar y la hipersecreción de la mucosa como respuesta inicial del árbol traqueo-bronquial al frío, lleva a una alta prevalencia de anomalías ventilatorias (atelectasias) y de infecciones pulmonares, especialmente durante el recalentamiento y después del mismo (Matassa *et al.* 1994, Innis *et al.* 2007, Stacy & Pessier 2007). Adicionalmente, en algunos casos se ha descrito edema pulmonar no cardiogénico como consecuencia a las lesiones generalizadas de los capilares pulmonares por el frío y que provocan un aumento de

su permeabilidad a los líquidos, además de broncorrea debido al proceso inflamatorio crónico derivado del frío (Matassa *et al.* 1994, Turnbull *et al.* 2000).

Alteraciones equilibrio ácido base: por cada 1 °C de T^a inferior a los 25 °C, el pH se incrementa y la PaO₂ y PaCO₂ disminuyen, alterando las funciones metabólicas en la integración de los tres sistemas orgánicos, asociados al equilibrio ácido-base en los organismos, el hígado, los pulmones y el riñón (O'Malley 2017, Flower *et al.* 2017). Por ejemplo, a nivel hepático esta alteración ocasiona desbalances en la producción de hidrógeno, a nivel pulmonar afecta la eliminación del dióxido de carbono (Cunningham & Bradley 2009, Boylan *et al.* 2017) y a nivel renal ocasiona desajustes en la producción de bicarbonato (Matassa *et al.* 1994, Innis *et al.* 2009).

Alteraciones metabólicas y endocrinas: de igual forma que el consumo de oxígeno disminuye gradualmente con el descenso de la T^a central, también aparece un enlentecimiento enzimático generalizado (Cunningham & Bradley 2009, Flower *et al.* 2017). Es frecuente encontrar hiperglucemia en tortugas aturdidas por frío, debido a la disminución de la liberación de insulina pancreática, al bloqueo de su acción periférica y al aumento de la gluconeogénesis por acción de los mecanismos termorreguladores (Matassa *et al.* 1994, Turnbull *et al.* 2000). Como resultado de la disminución de la secreción hormonal hipotálamica, y en consecuencia de la secreción hormonal hipofisiaria, existe una reducción de la adrenocorticotropina (ACTH), de la tirotrópina (TSH), de la vasopresina y de la oxitocina (Flower *et al.* 2017, Innis & Staggs 2017). A medida que progresa el aturdimiento por frío, la concentración de sodio (Na) tiende a descender y la de potasio (K) a aumentar por la reducción de la actividad enzimática de la bomba Na-K

de la membrana celular (Cunningham & Bradley 2009, Innis & Staggs 2017). El K aumenta aún más durante el recalentamiento secundario al intercambio iónico K⁺/H⁺ provocado por la acidosis metabólica en desarrollo en la periferia insuficientemente perfundida. Es importante tener en cuenta que las concentraciones corporales totales de Na⁺ y K⁺ pueden presentar valores cercanos a los intervalos de referencia para tortugas marinas sanas, por lo que la determinación frecuente de los niveles de electrolitos durante el recalentamiento debe ser necesaria (Smith *et al.* 2000, Innis & Staggs 2017). Otros cambios que se pueden observar durante este proceso son el falso descenso del pH (si no se corrige con la temperatura), la disminución de la actividad de las glándulas suprarrenales (adrenales) y del metabolismo del lactato y citrato (Smith *et al.* 2000, Turnbull *et al.* 2000), y finalmente, edema secundario como consecuencia del agua intravascular que sigue al Na en el espacio extravascular (Innis *et al.* 2009).

Alteraciones hematológicas: teóricamente, los animales afectados por frío paralizante suelen presentar altos valores de hemoglobina y hematócrito al estar hemoconcentrados por efecto de la "diuresis por frío" y la contracción esplénica (Weber & Merigo 2006, Anderson *et al.* 2011, Stacy & Innis 2017). Adicionalmente se ha observado leucopenia con granulocitopenia y trombocitopenia en los casos graves de aturdimiento por frío, secundaria a un secuestro esplénico y hepático y por la acción directa del frío sobre la médula ósea (Sadove *et al.* 1998, Turnbull *et al.* 2000, Smith *et al.* 2000), además de un aumento de la viscosidad de la sangre y coagulación intravascular diseminada (CID) (Stacy & Innis 2017). No obstante, hasta ahora no existe una relación clara entre CID e hipotermia. Las alteraciones hemostáticas como la

trombosis venosa y la CID que presentan algunas tortugas aturdidas por frío, tienen una mayor relación con las causas comunes de todo paciente crítico (hipoperfusión periférica prolongada) que con un efecto específico del frío paralizante (Matassa *et al.* 1994, Innis *et al.* 2009). La CID también puede ser responsable de la instauración progresiva de trombocitopenia (Anderson *et al.* 2011, Stacy & Innis 2017). Cabe señalar también, que en las tortugas aturdidas por frío disminuye la función de las glándulas de sal y resulta en niveles sanguíneos anormales de Na, K, cloro (Cl), calcio (Ca), magnesio (Mg) y fósforo (P) (Turnbull *et al.* 2000). Además, se ha reportado que las tortugas afectadas presentan un aumento de la creatinina y una disminución del nitrógeno ureico en sangre (Anderson *et al.* 2011) asociado a lesiones musculares, insuficiencia cardíaca y daño hepático y renal respectivamente (Stacy & Innis 2017, Innis & Staggs 2017).

Alteraciones gastrointestinales: en pacientes aturdidos por frío es común observar la elevación de los valores séricos de amilasas en organismos vivos o en hallazgos de pancreatitis edematosa o necrohemorrágica en las necropsias (Turnbull *et al.* 2000, Orós *et al.* 2004). La relación entre pancreatitis e hipotermia no está del todo clara, aunque ha sido asociada con la isquemia secundaria al shock y con litiasis biliar (Matassa *et al.* 1994, Orós *et al.* 2004). Otras alteraciones gastrointestinales que se pueden encontrar en casos de tortugas aturdidas por frío son: íleo paralítico, múltiples erosiones puntiformes de escasa cuantía hemorrágica (úlceras de Wischnevsky) en estómago, íleon y colon, probablemente relacionadas con la liberación de aminas vasoactivas como histamina y serotonina, y una reducción de la capacidad del hígado para conjugar y depurar diversos sustratos, debido a la

disminución del flujo sanguíneo esplénico y hepático (Turnbull *et al.* 2000, Orós *et al.* 2004).

Alteraciones de la inmunidad: las infecciones son otra posible complicación, causantes de muerte tardía en los pacientes aturdidos por frío (Stacy & Pessier 2007, Innis & Staggs 2017). Este incremento de la susceptibilidad a las infecciones no está muy claro y se considera multifactorial; en ese sentido, en tortugas aturdidas por frío se ha descrito la disminución de la quimiotaxis en la fagocitosis y en la producción de anticuerpos (Matassa *et al.* 1994, Innis *et al.* 2009). Entre los diferentes factores potenciales destacan las bacteriemias intestinales consecutivas a la isquemia e hipoperfusión intestinal (Orós *et al.* 2004); la disminución del nivel de alerta y de los reflejos respiratorios como causas de neumonía aspirativa; la disminución del volumen corriente respiratorio y anomalías ventilatorias (atelectasias) que favorecen las posibles sobreinfecciones respiratorias (Turnbull *et al.* 2000, Keller *et al.* 2012); la granulocitopenia consecutiva al efecto del frío y la disminución de la migración de los leucocitos polimorfonucleares, de la vida media de estos y de la fagocitosis (Smith *et al.* 2000, Anderson *et al.* 2011). En definitiva, las tortugas aturdidas por frío son más susceptibles a infecciones bacterianas y presentan, además, una disminución de la respuesta inmunitaria (inmunosupresión) (Stacy & Pessier 2007, Innis *et al.* 2007, 2009).

Evaluación inicial y tratamiento de las tortugas marinas aturdidas por frío

Es de suma importancia que, al recibir tortugas aturdidas por frío, estas sean mantenidas inicialmente en una temperatura ambiente entre 2 °C y 3 °C (3 °F a 5 °F), cercanos a su T^a de ingreso (Sadove

et al. 1998). Durante esta fase, se recomienda colocar a las tortugas sobre toallas o almohadillas en una zona con calefacción (calentadores) o con focos infrarrojos de 250 watts con precaución de proteger a los animales del calentamiento rápido, el sobrecalentamiento y las quemaduras térmicas. También, de contar con el material y equipo, y de ser posible, las tortugas pueden ser colocadas en una incubadora (Weber & Merigo 2006). Ambos protocolos tienen la intención de aumentar gradualmente la T^a central de las tortugas un promedio de aproximadamente 13 °C (55 °F) durante las primeras 24 horas. Los métodos mencionados son eficaces para mantener la T^a y proporcionan el 100% de oxígeno y la humedad adecuada. En seguida, y antes de iniciar con cualquier tratamiento, se recomienda cubrir el caparazón de las tortugas (evitando heridas abiertas) con gel lubricante soluble en agua para evitar la deshidratación por recalentamiento y aplicar un ungüento lubricante oftálmico en los ojos para su protección (Sadove *et al.* 1998, Norton *et al.* 2017).

Procedimiento para la evaluación inicial de las tortugas marinas aturcidas por frío

1. Realizar un examen físico completo y detallado con orientación cráneo caudal y dorso ventral, revisando todos los sistemas de los organismos (Mader 2006, Norton *et al.* 2017).
2. Registrar la T^a central a través de una sonda cloacal (Norton *et al.* 2017) o bien registrar las temperaturas del caparazón, el plastrón y el área inguinal izquierda, con un termómetro infrarrojo digital tipo pistola, manteniendo la pistola a una distancia de 10 cm de la superficie de cada área, y registrando las temperaturas inmediatamente (Fernández-Sanz & Reséndiz 2021).

3. Evaluar subjetivamente su nivel de alerta, la actividad y la actitud; es importante señalar que las tortugas marinas son silenciosas y responden parcialmente (Mader 2006, Norton *et al.* 2017).

4. Registrar la frecuencia cardíaca con una sonda Doppler (Norton *et al.* 2017) o bien auscultar con un estetoscopio convencional, colocándolo sobre la piel entre el cuello y la aleta frontal proximal izquierda, enseguida identificar los latidos cardíacos y registrarlos durante 60 segundos (Fernández-Sanz & Reséndiz 2021). En caso de que no se escuchen o identifiquen los sonidos cardíacos se propone utilizar ecocardiografía; la frecuencia cardíaca al ingreso de una tortuga aturcida por frío paralizante, generalmente es de 1 a 12 latidos por minuto (Weber & Merigo 2006, Innis & Staggs 2017). Cabe destacar que en tortugas aturcidas por frío es común la bradicardia (Innis *et al.* 2009).

5. Evaluar la frecuencia respiratoria. Normalmente al ingreso de una tortuga aturcida por frío, este signo varía entre una respiración por minuto y una respiración por 15 a 20 minutos. También es común la apnea o bradipnea severa (Weber & Merigo 2006, Innis & Staggs 2017).

6. Se sugiere completar un formato de datos de admisión y registrar las medidas estándar (por lo menos la longitud curva del caparazón y el peso) (Bolten 1999, Weber & Merigo 2006).

7. Realizar un examen oral y limpieza de la misma cavidad (Norton *et al.* 2017).

8. Se sugiere utilizar una tinción corneal fluorescente para detectar daño corneal o ulceración (Weber & Merigo 2006). En este tipo de eventos, es común el daño corneal por desecación y depredación (Turnbull *et al.* 2000).

9. Evaluar y fotografiar la cabeza y sus

perfiles, las aletas, el caparazón, el plastrón y la cola, destacando cualquier lesión o heridas traumáticas (las fracturas son frecuentes) (Weber & Merigo 2006, Norton *et al.* 2017).

10. Evaluar el estado de hidratación tanto subjetiva como objetivamente, asimismo, evaluar subjetivamente el estado nutricional y la condición corporal (Sadove *et al.* 1998, Norton *et al.* 2017).

11. Realizar un hemograma y perfil bioquímico completos, evaluando y prestando especial atención al hematocrito, los electrolitos, la glucosa y el estado de gases en sangre (Stacy & Innis 2017).

12. Realizar un lavado cloacal, y de ser posible, obtener una muestra fecal. De no obtenerla, se propone realizar un raspado cloacal con un hisopo estéril para parasitología, citología y microbiología (Mader 2006, Norton *et al.* 2017).

13. Es importante considerar la eutanasia en casos de daño cerebral o espinal grave, trauma ocular bilateral severo, o amputación de varias aletas (Norton *et al.* 2017). No obstante, se recomienda ser conservador con las decisiones de eutanasia; las tortugas a menudo pueden curarse de heridas graves. De cualquier manera, es fundamental analizar con anticipación cualquier plan de eutanasia de tortugas marinas con las autoridades correspondientes.

14. Finalmente, se propone desarrollar un plan de tratamiento con base en el examen físico, el estado de la glucosa, electrolitos y gases en sangre (Weber & Merigo 2006, Innis & Staggs 2017).

Tratamiento básico para tortugas marinas aturcidas por frío

Antes de iniciar cualquier procedimiento es importante señalar que la interpretación de las pruebas diagnósticas, el

diagnóstico, el tratamiento, la terapia, el manejo, las intervenciones quirúrgicas y la administración de fármacos, son exclusivamente competencia de los médicos veterinarios. Asimismo cabe destacar que el tratamiento básico que se presenta a continuación es una respuesta inicial cuando ocurren este tipo de eventos y que los fármacos se pueden complementar con otros productos y adecuar en función de los recursos disponibles, la disponibilidad de fármacos y el número de tortugas afectadas.

A la mayoría de los animales aturcidos por frío y de acuerdo a sus necesidades con base en las pruebas diagnósticas, se les administra una solución de glucosa y electrolitos equilibrados hipotónicos (1 parte de solución de Ringer lactato, 2 partes de dextrosa al 2.5% / solución salina al 0.45%) del 1% al 2% del peso corporal subcutáneo en función del estado de hidratación. Esta terapia suele dividirse entre una dosis por la mañana y por la tarde; es importante mantener la temperatura del fluido entre 10 °C y 13 °C (50 °F a 55 °F) inicialmente para evitar un calentamiento rápido (Sadove *et al.* 1998, Innis & Staggs 2017). Las dosis de líquidos posteriores se ajustan a la T^a central actual del paciente. También se pueden usar líquidos orales; algunas tortugas beben voluntariamente cuando se colocan en tinas con agua dulce. En caso de ser necesario, también es útil la administración de fluidos por sonda nasogástrica de 1% a 2% del peso corporal al día, pero los fluidos subcutáneos son generalmente más eficientes y facilitan su manejo y aplicación (Innis & Staggs 2017, Hyndman 2018).

En animales con mala contractilidad cardíaca y bradicardia severa, se recomienda el uso de líquidos intravenosos, particularmente atropina (0.05 a 0.2 mg / kg IV) y gluconato de calcio al 10% (0.5

a 1.5 ml / kg IV) (Weber & Merigo 2006, Innis & Staggs 2017). Otros autores han reportado el uso de dopamina (5 mg / kg / min IV) y dexametasona (0.15 a 5 mg / kg IV) además de los fármacos mencionados anteriormente (Pisciotta *et al.* 1995). La elección de los productos hemoderivados cristaloides para uso intra venoso en tortugas marinas es en gran parte empírico, pero debe basarse en el estado metabólico y de hidratación actual del paciente. Por ejemplo, algunas tortugas aturcidas por frío son severamente hiperpotasémicas y probablemente se beneficien de la administración de cloruro de sodio (NaCl) al 0.9%, en lugar de líquidos que contengan K. En otros casos, la hipopotasemia o hipoglucemia pueden justificar la suplementación de líquidos con K y dextrosa, respectivamente (Hyndmann 2018). Cabe señalar que la mayoría de fármacos y protocolos de fluidos no han sido evaluados por estudios controlados en tortugas marinas y su uso se basa en la experiencia clínica. En el caso de tortugas con hipoglucemia (glucosa <80 mg / dl) se recomienda utilizar dextrosa al 50% IV (1 ml / 5 kg). Para ello, se recomienda diluir la dextrosa al 10% con solución salina al 0.9% antes de la infusión (Weber & Merigo 2006).

Para los animales apneicos, se recomienda el uso de doxapram (5 mg / kg) administrado por vía intravenosa (Hyndmann 2018, Innis & Staggs 2017). En algunos casos severos puede ser necesaria la intubación endotraqueal y la ventilación con presión positiva. Se recomienda el uso de "ambu bag®" para proporcionar aire ambiental en lugar de oxígeno al 100% a los pacientes aturcidos por frío intubados (Weber & Merigo 2006).

Se sugiere colocar individualmente a todas las tortugas en tinas con agua dulce poco profunda, supervisada y ajustada a su T^a central dentro de las primeras 24

horas (Sadove *et al.* 1998). El agua dulce ayuda a limpiar el caparazón de algas, parásitos marinos y desechos. Algunas tortugas beben voluntariamente cuando se les ofrece agua dulce, y esto puede ayudar a corregir la deshidratación y la hipernatremia. Una vez colocadas en las tinas, cada animal deberá ser evaluado por su capacidad para moverse y nadar voluntariamente. A las tortugas más fuertes se les puede dar acceso a agua de mar poco profunda dentro de las 24 a 48 horas, mientras que las tortugas más débiles deberán continuar en agua dulce poco profunda hasta que mejore su hidratación (Innis & Staggs 2017). Después del primer día de atención, la T^a del paciente deberá elevarse aproximadamente 3 °C (5 °F) por día hasta alcanzar los 25 °C (78 °F). Cuando la tortuga alcance al menos 21 °C (70 °F), se debe iniciar con la cobertura de antibióticos y antimicóticos de amplio espectro; para ello se puede usar ceftazidima (22 mg / kg Intramuscular cada 72 horas) y fluconazol (21 mg / kg subcutáneo dosis de carga, luego 10 mg / kg subcutáneo cada 5 días) (Weber & Merigo 2006, Innis & Staggs 2017).

Cuidado y monitoreo de tortugas marinas convalecientes aturcidas por frío

Para el monitoreo, tratamiento y rehabilitación de las tortugas aturcidas por frío, es de vital importancia que tan pronto como sea posible y después de que la T^a central del animal se haya estabilizado en 25 °C (78 °F) y hayan comenzado con el tratamiento de antibióticos, se tomen radiografías de cuerpo completo dorso ventrales, de haz horizontal cráneo caudal y de haz horizontal lateral, además de las aletas (Innis & Staggs 2017).

Para el tratamiento y monitoreo, se recomienda controlar los valores de

hematocrito, electrolitos, glucosa y gases en sangre cada dos días durante los primeros 10 días de la convalecencia (Smith *et al.* 2000, Stacy & Innis 2017). Cabe destacar que las anomalías ácido-base y electrolíticas a menudo se resuelven con cuidados de apoyo generales, y que la resolución de la hiperpotasemia con fluidoterapia suele ser un signo de pronóstico favorable, sin embargo, se debe tener cuidado de controlar la hipopotasemia de rebote cuando comience la diuresis. La persistencia y exacerbación de la hiperpotasemia, a pesar de la fluidoterapia, suele ser un signo de pronóstico negativo (Innis & Staggs 2017). Se recomienda realizar hemogramas completos y perfiles bioquímicos plasmáticos semanalmente durante 2 semanas y a continuación, mensualmente durante la rehabilitación, a menos que se requiera lo contrario y en función de los recursos disponibles.

Los signos comunes de mejoría incluyen resolución de la anemia, resolución de la leucocitosis, aumento del nitrógeno ureico en sangre (BUN) y estabilización de enzimas tisulares (Whitaker & Krum 1999, Smith *et al.* 2000a). Adicionalmente, cuando la T^a central sea superior a 21 °C (70 °F), y antes de iniciar la terapia con antibióticos y antimicóticos, se recomienda realizar hemocultivos para bacterias aeróbicas y patógenos fúngicos que se deben repetir en 2 semanas (Manire *et al.* 2002, Stacy & Pessier 2007). Posteriormente, se debe realizar un “plan de nado” para cada tortuga de acuerdo con su nivel de actividad, actitud y condición física general. Se puede probar colocando a las tortugas en piscinas o tinas poco profundas hasta que sean lo suficientemente fuertes para la actividad en aguas profundas (Whitaker & Krum 1999).

Las tortugas marinas aturcidas por el frío generalmente no se alimentan hasta

que son capaces de nadar por sí mismas y su hidratación y electrolitos han vuelto a los intervalos adecuados. Estos pacientes suelen presentar íleo funcional. En algunos casos, la alimentación prematura puede causar complicaciones adicionales. La condición corporal, la actitud y el nivel de actividad deben evaluarse cuidadosamente antes de instituir la alimentación asistida (Turnbull *et al.* 2000, Innis & Staggs 2017). En muchos casos, las tortugas comienzan a alimentarse voluntariamente en varias semanas. No obstante, en el caso de tortugas anoréxicas se sugiere administrar una inyección de complejo de vitamina B 0.1 mL / kg intramuscular al menos una vez, repitiendo el proceso en una semana si la anorexia persiste. También, para la alimentación, se propone que inicialmente solo se ofrezcan pequeñas cantidades de pescado fileteado. Una vez que se observe la defecación regular, se pueden ofrecer comidas más abundantes (Weber & Merigo 2006, Innis & Staggs 2017). Es importante señalar que las dietas deben ser preparadas después de revisar y tomar en cuenta varios factores, tales como la especie, clase de edad, condición corporal, nivel de actividad y apetito (Innis & Staggs 2017). Se recomienda no utilizar alimento vivo (como crustáceos) al inicio de la rehabilitación puesto que pueden causar impactación (Smith *et al.* 2000b).

Condiciones patológicas y herramientas de orientación diagnóstica durante el cuidado y rehabilitación de tortugas marinas convalecientes aturcidas por frío

Las condiciones patológicas comunes que se han documentado durante la rehabilitación de tortugas marinas aturcidas por frío incluyen: heridas traumáticas y lesiones dérmicas frecuentemente con necrosis

de la punta de las aletas, neumonías bacterianas y fúngicas, infecciones sistémicas bacterianas y fúngicas, trastornos de flotabilidad debido a la presencia de aire atrapado en la cavidad celómica y / o gas excesivo en el tracto gastrointestinal, osteólisis con o sin osteomielitis y celomitis, entre otras (Matassa *et al.* 1994, Turnbull *et al.* 2000). Las pruebas de diagnóstico que se pueden utilizar para evaluar a fondo al paciente durante la rehabilitación, incluyen aspiración con aguja, biopsias, lavados traqueales, cultivos microbiológicos y hematología, radiografías, ultrasonido, endoscopia, resonancia magnética, tomografía computarizada y gammagrafía nuclear (Smith *et al.* 2000b, Innis & Staggs 2017).

En el caso de las tortugas muertas por frío, durante las necropsias y mediante histopatología se ha descrito edema subcutáneo e intramuscular por el aumento de la presión intratisular y distensión de la piel por el frío, degeneración de las miofibrillas cardíacas y musculares, lo cual hace que se pierda la propiedad de contracción y elasticidad para realizar los movimientos característicos de los músculos; esteatitis asociada a deficiencia de vitamina E o bien como consecuencia de trastornos inflamatorios o vasculopatías, inflamación del tracto gastrointestinal (esofagitis, gastritis ulcerosa, enteritis y colitis) asociado a los cambios ambientales, así como a problemas inmunitarios o bien por anorexia prolongada y estrés; parasitismo intestinal, necrosis hepática centrolobulillar o hinchazón hepatocelular con cambio graso por disminución significativa de la perfusión hepática principalmente, inflamación difusa del bazo y páncreas, dilatación tubular renal con cilindros de glóbulos rojos, indicadores de daño glomerular que puede ocurrir en casos de vasculitis o glomerulonefritis;

hipocelularidad e hipoplasia de la médula ósea principalmente debido a la leucopenia y trombocitopenia que causan anemia no regenerativa asociada a procesos inflamatorios crónicos e insuficiencia renal crónica (Matassa *et al.* 1994, Turnbull *et al.* 2000).

Anormalidades hematológicas y bioquímicas plasmáticas de las tortugas marinas aturdidas por frío

Los hallazgos de laboratorio clínico generalmente indican alteraciones metabólicas, deshidratación e insuficiencia orgánica (Anderson *et al.* 2011, Stacy & Innis 2017). Las anomalías bioquímicas plasmáticas comunes incluyen hipoglucemia, hiperglucemia, hipernatremia, hipercloremia, hipofosfatemia, hiperfosfatemia, hipocalcemia, hipoproteinemia, hipopotasemia, hiperpotasemia, hipermagnesemia, reducción de BUN y elevación de las enzimas tisulares, incluidas la lactato deshidrogenasa (LDH), aspartato amino transferasa (AST) y creatina quinasa (CK). La concentración de lactato también puede estar elevada por hipoventilación, mala perfusión y metabolismo anaeróbico (Mallo *et al.* 2002, Morreale & Standora 2003). Los recuentos sanguíneos completos a menudo revelan anemia no regenerativa y dependiendo de la severidad del caso puede presentarse leucocitosis heterófila y monocitosis o bien leucopenias (Smith *et al.* 2000a, Turnbull *et al.* 2000). La evaluación de gases en sangre generalmente revela acidosis metabólica y respiratoria (Stacy & Innis 2017). Para estudios futuros, se sugiere almacenar el suero o plasma de cada tortuga a $-56\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-70\text{ }^{\circ}\text{F}$), a su llegada, dos semanas después de su llegada y antes de su liberación (Weber & Merigo 2006).

Criterios para el transporte y liberación de tortugas marinas aturdidas por frío

- T^a corporal de 25 °C (78 °F) estable.
- Hidratación adecuada.
- Niveles electrolíticos dentro de los intervalos de referencia para tortugas marinas sanas de acuerdo a la especie.
- Hemograma completo y valores bioquímicos clínicos dentro de los intervalos de referencia para tortugas marinas sanas de acuerdo a la especie.
- Sin signos radiográficos de neumonía.
- Fracturas curadas o estabilizadas.
- Todas las condiciones médicas anteriores resueltas.
- Sin uso de antibióticos por un mínimo de 1 mes o bien sin tratamientos y terapias activas.
- Actividad y actitud fuerte.
- Peso corporal restablecido a su estado normal.
- Heridas externas curadas
- Consumo de alimentos voluntario de forma regular y capacidad para alimentarse por su cuenta.

El lugar de liberación generalmente lo determinan las autoridades gubernamentales con la ayuda de los especialistas, y se procura que esta se lleve a cabo en áreas geográficas cercanas a donde el animal se encontró u ocurre normalmente. Todas las tortugas marinas liberadas deberán de estar marcadas permanentemente con marcas metálicas en las aletas, o en su caso, con microchips o transmisores satelitales. Estas marcas deberán estar registradas en las agencias gubernamentales correspondientes para fines de seguimiento en el futuro (Stamper & Whitaker 1994, Turnbull *et al.* 2000, Weber & Merigo 2006, Stacy & Innis 2017, Innis & Staggs 2017).

Conclusiones

Los eventos de frío paralizante han aumentado durante las últimas décadas, afectando a especies de tortugas marinas en peligro de extinción. El rescate, la rehabilitación y los programas de investigación de tortugas marinas son un esfuerzo necesario para la conservación de estas especies. La rehabilitación y liberación exitosas ayudan a mantener el potencial reproductivo de las tortugas marinas y pueden contribuir al acervo genético general de sus poblaciones. En este tipo de eventos, es importante la participación conjunta de médicos veterinarios, oceanógrafos, biólogos, ecólogos marinos, y científicos ambientales, entre otros; a medida que estos especialistas continuen generando información, recopilando datos y compartiendo experiencias, se espera que aumente la tasa de supervivencia de las tortugas marinas. Es importante señalar que todos los procedimientos médicos son competencia exclusiva de los veterinarios.

La liberación de una tortuga marina rehabilitada es un indicativo del trabajo exitoso en conjunto de un grupo de especialistas.

Esta información propone complementar las evaluaciones de salud de tortugas marinas en México, así como los planes de manejo y fortalecer las estrategias de conservación pertinentes para estas especies y los ecosistemas donde se distribuyen en nuestro país.

Agradecimientos

A dos árbitros anónimos quienes realizaron valiosas observaciones que ayudaron a enriquecer el presente trabajo.

Referencias

- Anderson, E., C. Harms, E. Stringer & W. Cluse. 2011.** Evaluation of Hematology and Serum Biochemistry of Cold- Stunned Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*) in North Carolina, USA. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 42(2): 247-255. DOI: 10.1638/2010-0217.1
- Avens, L., L.R. Goshe, C. Harms, E.T. Anderson, A.G. Hall, W.M. Cluse, M.H. Godfrey, B. Braun-McNeill, B. Stacy, R. Bailey & M.M. Lamont. 2012.** Population characteristics, age structure, and growth dynamics of neritic juvenile green turtles in the northeastern Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series* 458: 213-229.
- Bellido, J.J., J.C. Báez, R.F. Sanchez, J.J. Castillo, J.J. Martín, J.L. Mons & R. Real. 2008.** Mass strandings of cold-stunned loggerhead turtles in the south Iberian Peninsula: ethological implications. *Ethology Ecology & Evolution* 20(4): 401-405. <https://doi.org/10.1080/08927014.2008.9522520>
- Bentivegna, F., P. Breber & S. Hochscheid. 2000.** Cold stunned loggerhead turtles in the south Adriatic Sea. *Marine Turtle Newsletter* 97: 1-3.
- Boylan, S., A.S. Valente, C. Innis, Stacy B. & J. Wyneken. 2017.** Respiratory system. Pp. 315-333. In: Manire, C.A., Norton, T.M., Stacy, B.A., Harms, C.A., Innis, C.J. (eds) *Sea Turtle Health and Rehabilitation*. J. Ross Publishing. Plantation, FL, USA.
- Burke, V.J., E.A. Standora & S.J. Morreale. 1991.** Factors affecting strandings of cold-stunned juvenile Kemp's ridley and loggerhead sea turtles in Long Island, New York. *Copeia* 4: 1136-1138.
- Burnett, J. 2021.** Texas 'Cold-Stun' Of 2021 Was Largest Sea Turtle Rescue In History, Scientists Say. <https://www.npr.org/2021/03/13/976105783/texas-cold-stun-of-2021-was-largest-sea-turtle-rescue-in-history-scientists-say>. Fecha de consulta 8 de abril 2021.
- Chrisman, C.L., M. Walsh, J.C. Meeks, H. Zurawka, R. LaRock, L. Herbst & J. Schumacher. 1997.** Neurologic examination of sea turtles. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 211: 1043-1047.
- Coleman, A.T., J.L. Pitchford, H. Bailey & M. Solangi. 2016.** Seasonal movements of immature Kemp's ridley sea turtles (*Lepidochelys kempii*) in the northern Gulf of Mexico. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems* 27(1): 253-267. <https://doi.org/10.1002/aqc.2656>
- Coles, W. & J.A. Musick. 2000.** Satellite sea surface temperature analysis and correlation with sea turtle distribution off North Carolina. *Copeia* 2: 551-554. [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2000\)000\[0551:SSSTAA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2000)000[0551:SSSTAA]2.0.CO;2)
- Cunningham, J.G. & G.K. Bradley. 2009.** *Fisiología Veterinaria*. 4a ed. Elsevier. Barcelona, España. 720p.
- Epperly, S.P., J. Braun & A. Veishlow. 1995.** Sea turtles in North Carolina waters. *Conservation Biology* 9: 2, 384-394. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1995.9020384.x>
- Fernández-Sanz, H. & E. Reséndiz. 2021.** Comparison of body temperatures and heart rates in marine turtles from Baja California Sur, Mexico. *Ciencias marinas* 47(2): 139-146.
- Flower, J., K. Hunt, B. Stacy & J. Wyneken. 2017.** Endocrine organs. Pp 449-461 In: Manire CA, Norton TM, Stacy BA, Harms CA & Innis CJ (eds) *Sea Turtle Health and Rehabilitation*. J. Ross Publishing. Plantation, FL, USA.
- Foley, A.M., K. Singel, P.H. Dutton, T.M. Summers, A.E. Redlow & J. Lessman. 2007.** Characteristics of a green turtle (*Chelonia mydas*) assemblage in northwestern Florida determined during a hypothermic stunning event. *Gulf of Mexico Science* 25(2): 4.
- García-Párraga, D., A.S. Valente, B. Stacy & J. Wyneken, J. 2017.** Cardiovascular system. Pp 291-312 In: Manire, C.A., T.M. Norton, B.A. Stacy, C.A. Harms & C.J. Innis (eds). *Sea Turtle Health and Rehabilitation*. J. Ross Publishing. Plantation, FL, USA.
- Gómez, E. 2021.** Rescatan a más de 140 tortugas del frío extremo en Tamaulipas. <https://www.elsoldemexico.com.mx/republica/sociedad/rescatan-a-mas-de-140-tortugas-del-frio-extremo-en-tamaulipas-soto-la-marina-playa-animales-6380615.html>. Fecha de consulta 2 de abril de 2021.
- González, C.V., K.C. Álvarez, L. Prosdociimi, M.C. Inchaurreaga, R.F. Dellacasa, A. Faiella, C. Echenique, R. González, J. Andrejuk, H.W. Mianzan, C. Campagna & D.A. Albareda. 2011.** Argentinian coastal waters: A temperate habitat for three species of threatened sea turtles. *Marine Biology Research* 7(5): 500-508. http://hdl.handle.net/20.500.12110/paper_17451000_v7_n5_p500_GonzalezCarman

- González, C.V., V. Falabella, S. Maxwell, D.A. Albareda, C. Campagna & H. Mianzan. 2012.** Revisiting the ontogenetic shift paradigm: the case of juvenile green turtles in the SW Atlantic. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 429: 64-72. DOI:10.1016/J.JEMBE.2012.06.007
- Griffin, L., C.R. Griffin, J.T. Finn, R.L. Prescott, M. Faherty, B.M. Still and A.J. Danylchuk. 2019.** Warming seas increase cold-stunning events for Kemp's ridley sea turtles in the northwest Atlantic. *PLoS one* 14(1): e0211503. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211503>
- Harms, C., A.S. Valente, B. Stacy & J. Wyneken. 2017.** Nervous system. Pp 417-435 *In: Manire CA, Norton TM, Stacy BA, Harms CA, Innis CJ (eds) Sea Turtle Health and Rehabilitation.* J. Ross Publishing. Plantation, FL, USA.
- Hunt, K.E., C. Innis & R.M. Rolland. 2012.** Corticosterone and thyroxine in cold-stunned Kemp's ridley sea turtles (*Lepidochelys kempii*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 43(3): 479-493. <https://doi.org/10.1638/2011-0149R1.1>
- Hyndman, T. 2018.** Reptile pharmacology. Pp. 175-184 *In: Reptile Medicine and Surgery in Clinical Practice.* Wiley Blackwell, USA. .
- Innis, C.J. & L. Staggs. 2017.** Cold stunning. Pp. 675-685 *In: Manire, C.A., T.M. Norton, B.A. Stacy, C.A. Harm & C.J. Innis (eds). Sea Turtle Health and Rehabilitation.* J. Ross Publishing. Plantation, FL, USA.
- Innis, C.J., A.L. Valente, B. Stacy & J. Wyneken. 2017.** Urogenital and lacrimal system. Ppp 381-411 *In: Manire, C.A., T.M. Norton, B.A. Stacy, C.A. Harm & C.J. Innis (eds). Sea Turtle Health and Rehabilitation.* J. Ross Publishing. Plantation, FL, USA.
- Innis, C.J., H. Braverman, J.M. Cavin, M.L. Ceresia, L.R. Baden, D.M. Kuhn, S.J. Frasca, P. McGowan, K. Hirokawa, E. Weber, B. Stacy & C. Merigo. 2014.** Diagnosis and management of Enterococcus spp infections during rehabilitation of cold-stunned Kemp's ridley turtles (*Lepidochelys kempii*): 50 cases (2006-2012). *Journal of the American Veterinary Medical Association* 245(3): 315-323. http://seaturtle.org/library/InnisCJ_2014_JAmVetMedAssoc.pdf
- Innis, C.J., M. Tlusty, C. Merigo & E.S. Weber. 2007.** Metabolic and respiratory status of cold-stunned Kemp's ridley sea turtles (*Lepidochelys kempii*). *Journal of Comparative Physiology B* 177(6): 623-630. DOI: 10.1007/s00360-007-0160-9
- Innis, C.J., A.C. Nyaoke, C.R. Williams III, B. Dunnigan, C. Merigo, D.L. Woodward & S. Frasca Jr. 2009.** Pathologic and parasitologic findings of cold-stunned Kemp's ridley sea turtles (*Lepidochelys kempii*) stranded on Cape Cod, Massachusetts, 2001-2006. *Journal of wildlife diseases* 45(3): 594-610.
- Keller, K.A., C.J. Innis, M.F. Tlusty, A.E. Kennedy, S.B. Bean, J.M. Cavin & C. Merigo. 2012.** Metabolic and respiratory derangements associated with death in cold-stunned Kemp's ridley turtles (*Lepidochelys kempii*): 32 cases (2005-2009). *Journal of the American Veterinary Medical Association* 240(3): 317-323. DOI: 10.2460/javma.240.3.317
- Liu, X., J. Manning, R. Prescott, F. Page, H. Zou & M. Faherty. 2019.** On simulating cold-stunned sea turtle strandings on Cape Cod, Massachusetts. *PLoS one* 14(12): e0204717. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204717>
- Lively, M.J., H.D. Westermeyer, C. Harms & E.F. Christiansen. 2019.** Ophthalmic lesions in a population of cold-stunned sea turtles (*Chelonia mydas*, *Lepidochelys kempii*, *Caretta caretta*). *Veterinary ophthalmology* 22(6): 910-915. DOI: 10.1111/vop.12672
- Mader, D.R. 2006.** Medicine and surgery. Pp 977-1001 *In: Wyneken, J, D.R. Mader, E.S. Weber, C. Merigo (eds). Medical care of sea turtles. Reptile medicine and surgery, 2nd edition.* El Sevier, St. Louis, Missouri.
- Mallo, K.M., C. Harms, G.A. Lewbart, & M.B. Papich, M.B. 2002.** Pharmacokinetics of fluconazole in loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) and single intravenous and subcutaneous injections, and multiple subcutaneous injections. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 33(1): 29-35. DOI: 10.1638/1042-7260(2002)033[0029:POFILS]2.0.CO;2
- Manire, C.A., H.L. Rhinehart, D.A. Sutton, E.H. Thompson, M.G. Rinaldi, J.D. Buck & E. Jacobson. 2002.** Disseminated mycotic infection caused by *Colletotrichum acutatum* in a Kemp's ridley sea turtle (*Lepidochelys kempii*). *Journal of clinical microbiology* 40(11): 4273-4280. DOI: 10.1128/JCM.40.11.4273-4280.2002
- Márquez, R. 1997.** Las tortugas marinas y nuestro tiempo. 3ra edición. Fondo de cultura económica, México, DF. 197p.
- Matassa, K., G. Early, B. Wyman, R. Prescott, D. Ketton & H. Krum. 1994.** A retrospective study of Kemp's ridley (*Lepidochelys kempi*) and loggerhead

- (*Caretta caretta*) in the area of the Northeast stranding network and associated clinical and post-mortem pathologies. *In*: Bjordnal KA, Bolten AB, Johnson DA, Eliazar, PJ (Eds.) Proceedings of the Fourteenth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation, U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-351, 323.
- McMichael, E., J. Seminoff & R. Carthy R. 2008.** Growth rates of wild green turtles, *Chelonia mydas*, at a temperate foraging habitat in the northern Gulf of Mexico: assessing short-term effects of cold-stunning on growth. *Journal of Natural History* 42: 43-44, 2793-2807. <https://doi.org/10.1080/00222930802357335>
- Mettee, N., A.L. Valente, B. Stacy & J. Wyneken, J. 2017.** Muskuloskeletal. Pp 265-287 *In*: Manire, C.A., T.M. Norton, B.A. Stacy, C.A. Harm & C.J. Innis (eds). *Sea Turtle Health and Rehabilitation*. J. Ross Publishing, Plantation, FL, USA.
- Metz, T.L., M. Gordon, M. Mokrech & G. Guillen. 2020.** Movements of Juvenile Green Turtles (*Chelonia mydas*) in the Nearshore Waters of the Northwestern Gulf of Mexico. *Frontiers in Marine Science* 7: 647. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00647>
- Morreale, S.J. & E.A. Standora. 2005.** Western North Atlantic waters: crucial developmental habitat for Kemp's ridley and loggerhead sea turtles. *Chelonian Conservation Biology* 4(4): 872-882.
- Morreale, S.J., A.B. Meylan, S.S. Sadove & E.A. Standora. 1992.** Annual occurrence and winter mortality of marine turtles in New York waters. *Journal of Herpetology* 301-308. <https://doi.org/10.2307/1564885>
- Mrosovsky, N. 1980.** Thermal biology of sea turtles. *American Zoology* 20: 531- 547. <https://doi.org/10.1093/icb/20.3.531>
- Niemuth, J.N., C. Ransom, S.A. Finn, M.H. Godfrey, S.A. Nelson & M.K. Stoskopf. 2020.** Using Random Forest Algorithm to Model Cold-Stunning Events in Sea Turtles in North Carolina. *Journal of Fish and Wildlife Management* 11(2): 531-541. <https://doi.org/10.3996/052019-JFWM-043>
- Norton, T., C.J. Innis & C.A. Manire. 2017.** Critical Care and Emergency Medicine. Pp 483-498 *In*: Manire CA, Norton TM, Stacy BA, Harms CA, Innis CJ (eds) *Sea Turtle Health and Rehabilitation*. J. Ross Publishing, Plantation, FL, USA. .
- O'Malley, B. 2017.** Anatomy and physiology of reptiles. Pp 15-32 *In*: Doneley, B., D. Monks, R. Johnson & B. Carmel (eds.). *Reptile medicine and surgery in clinical practice*. Wiley Blackwell. Australia.
- Orós, J. & P. Calabuig de Niz. 2004.** Digestive pathology of sea turtles stranded in the Canary Islands between 1993 and 2001. *Veterinary Record* 155: 169-174. DOI: 10.1136/vr.155.6.169
- Pisciotta, R.P., K. Durham, R. DiGiovanni, S.S. Sadove & E. Gerle. 1995.** A case study of invasive medical techniques employed in the treatment of a severely hypothermic Kemp's ridley sea turtle. *In*: Keinath JA, Barnard DE, Musick JA, Bell BA. Compilers. Proceedings of the Fifteenth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation, NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-387, 355
- Ramírez, C. 2018.** Dan protección a 120 tortugas en riesgo de morir por el frío. <https://www.tamaulipas.gob.mx/haciendoequipo/2018/01/26/dan-proteccion-a-120-tortugas-en-riesgo-de-morir-por-el-frio/>. Fecha de consulta 15 de marzo de 2021.
- Roberts, K., J. Collins, C.H. Paxton, R. Hardy & J. Downs. 2014.** Weather patterns associated with green turtle hypothermic stunning events in St. Joseph Bay and Mosquito Lagoon, Florida. *Physical Geography* 35(2): 134-150. <https://doi.org/10.1080/02723646.2014.898573>
- Sadove, S.S., R. Pisciotta & R. DiGiovanni. 1998.** Assessment and initial treatment of cold-stunned sea turtles, *Chelonian Conservation and Biology* 3(1): 84-87.
- Schwartz, F.J. 1978.** Behavioral and tolerance responses to cold water temperatures by three species of sea turtles (Reptilia, Cheloniidae) in North Carolina. *Florida marine research publications* 33: 16-18. <http://obpa-nc.org/DOI-AdminRecord/0040607-0040609.pdf>
- Shaver, D.J. 1990.** Hypothermic stunning of sea turtles in Texas. *Marine Turtle Newsletter* 48: 25-27. <http://www.seaturtle.org/mtn/archives/mtn48/mtn48p25.shtml>
- Shaver, D.J., P.E. Tissot, M.M. Streich, J.S. Walker, C. Rubio, A.F. Amos, J.A. George & M.R. Pasawicz. 2017.** Hypothermic stunning of green sea turtles in a western Gulf of Mexico foraging habitat. *PLoS One* 12(3): e0173920. 10.1371/journal.pone.0173920
- Shaver, D.J., J.S. Walker & T.F. Backof. 2019.** Fibropapillomatosis prevalence and distribution in green turtles *Chelonia mydas* in Texas (USA). *Diseases of aquatic organisms* 136(2): 175-182. DOI: 10.3354/dao03403

- Smith, C.R., A.L. Hancock & B.S. Turnbull. 2000a.** Comparison of white blood cell counts in cold-stunned and subsequently rehabilitated loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). Proceedings of the American association of zoo veterinarians, International Association for Aquatic Animal Medicine 2000: 50–53.
- Smith, C.R., B.S. Turnbull, A.L. Osborn, K. Dube, K.L. Johnson & M. Solano. 2000b.** Bone scintigraphy and computed tomography: advanced diagnostic imaging techniques in endangered sea turtles. Proceedings of the American association of zoo veterinarians, International Association for Aquatic Animal Medicine 2000: 217–221.
- Southwood, A., Darveau, C.A., Jones, D.R. 2003.** Metabolic and cardiovascular adjustments of juvenile green turtles to seasonal changes in temperature and photoperiod. *Journal of Experimental Biology* 206(24): 4521–4531. DOI: 10.1242/jeb.00689
- Stacy, B. & P. Pessier. 2007.** Host responses to infectious agents and identification of pathogens in tissue section. Pp. 257–298 *In*: Jacobson, E. (ed). *Infectious diseases and pathology of reptiles*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida.
- Stacy, N.I. & C.J. Innis. 2017.** Clinical pathology. Pp 147–202 *In*: Manire, C.A., T.M. Norton, B.A. Stacy, C.A. Harm & C.J. Innis (eds). *Sea Turtle Health and Rehabilitation*. J. Ross Publishing. Plantation, FL, USA.
- Stacy, N.I., C.J. Innis & J.A. Hernandez, J.A. 2013.** Development and evaluation of three mortality prediction indices for cold-stunned Kemp’s ridley sea turtles (*Lepidochelys kempii*). *Conservation physiology* 1: 1. <https://doi.org/10.1093/conphys/cot003>
- Stamper, M.A. & B.R. Whitaker. 1994.** Medical observations and implications on “healthy” sea turtles prior to release into the wild. Proceedings of the American Association of Zoo Veterinarians 1994: 182–185.
- Still, B.M., C.R. Griffin & R. Prescott. 2005.** Climatic and oceanographic factors affecting daily patterns of juvenile sea turtle cold-stunning in Cape Cod Bay, Massachusetts. *Chelonian Conservation and Biology* 4: 4. https://scholarworks.umass.edu/nrc_faculty_pubs/137/
- Turnbull, B.S., C.R. Smith & M.A. Stamper. 2000.** Medical implications of hypothermia in threatened loggerhead (*Caretta caretta*) and endangered Kemp’s ridley (*Lepidochelys kempii*) and green (*Chelonia mydas*) sea turtles. Proceedings of the American association of zoo veterinarians, International Association for Aquatic Animal Medicine 2000: 31–35.
- Van Houtan, K.S., J.M. Halley & W. Marks. 2015.** Terrestrial basking sea turtles are responding to spatio-temporal sea surface temperature patterns. *Biology letters* 11(1): 20140744. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.0744>
- Vélez-Rubio, G.M., R. Trinchin, A. Estrades, V. Ferrando & J. Tomás. 2017.** Hypothermic stunning in juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) in Uruguayan coastal waters: learning for future events. *Chelonian Conservation and Biology* 16(2): 151–158. <https://doi.org/10.2744/CCB-1243.1>
- Weber, E. & C. Merigo. 2006.** Medical management of cold stunned sea turtles. Pp 1001–1107 *In*: Wyneken J, Mader DR, Weber ES, Merigo C (eds). *Medical care of sea turtles*. Reptile medicine and surgery, 2nd edition. Elsevier, St. Louis, Missouri.
- Whitaker, B.R. & H. Krum. 1999.** Medical management of sea turtles in aquaria. Pp. 217–231 *In*: Fowler M, Miller RE (eds). *Zoo and Wild Animal Medicine, Current Therapy*. 4 edition. WB Saunders. New York, USA.
- Witherington, B.E. & L.M. Ehrhart. 1989.** Hypothermic stunning and mortality of marine turtles in the Indian River Lagoon System, Florida. *Copeia* 696–703. <https://doi.org/10.2307/1445497>
- Wyneken, J., D.R. Mader, E. Weber & C. Merigo. 2006.** Medical management of sea turtles. Pp. 972–1007 *In*: Wyneken, J., D.R. Mader, E.S. Weber, C. Merigo (eds). *Medical care of sea turtles*. Reptile medicine and surgery, 2nd edition. El Sevier, St. Louis, Missouri.