

EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS TORTUGAS MARINAS

Trabajo fin de grado de Ciencias Ambientales
Facultad de Ciencias
Cristina Ajuria Barca
Curso 2016/2017



EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS TORTUGAS MARINAS

Trabajo fin de grado de Ciencias Ambientales

Facultad de Ciencias

Curso 2016/2017

Autor: Cristina Ajuria Barca Tutor: Dr. Raimundo Real Giménez

Departamento de Biología Animal Área de Zoología

Índice

1. Resumen	1
2. Introducción	2
2.1. Las tortugas marinas	2
2.2. Cambio climático	6
2.3. Justificación del trabajo y objetivos	10
3. Desarrollo del trabajo	11
3.1. Marco normativo	11
3.2. Impactos del cambio climático en las tortugas marinas	13
3.2.1. Cambios en las playas de anidación	13
3.2.2. Modificación del sex ratio	14
3.2.3. Modificación del área de distribución	16
3.2.4. Impactos provocados por la acidificación oceánica	17
3.2.5. Alteración de la abundancia del alimento	18
3.3. Entrevistas a expertos en tortugas marinas	20
4. Discusión	29
5. Propuesta de medidas de actuación	33
5.1. Antecedentes	33
5.2. Propuestas de gestión	34
6. Agradecimientos	36
7. Referencias bibliográficas	36
Anexo I Marco normativo	15

1. Resumen

Las tortugas marinas son reptiles que colonizaron los océanos del planeta en el Cretácico inferior con *Santanachelys gaffneyi* Hirayama, 1998, hace 110 millones de años. Desde entonces han demostrado una plena capacidad de adaptación y han soportado grandes crisis de extinción. No obstante, el cambio climático actual podría ser la causa de su declive. En este trabajo se han identificado como impactos los cambios en las playas de anidación, la modificación del *sex ratio*, las alteraciones debidas a la acidificación oceánica, los cambios de alimentación además de la modificación del área de distribución y se han realizado entrevistas a expertos en tortugas marinas para identificar las posibles vulnerabilidades. El cambio climático se ve acelerado por la influencia del hombre, lo que puede disminuir la capacidad adaptativa de las tortugas marinas. Por ello, las medidas propuestas para su conservación se centran en la reducción de la presión antrópica y la compensación de los efectos de fenómenos naturales destacando la educación de la población, la protección de los nidos *in situ y ex situ*, además de la revegetación y sombreado de las zonas de anidación.

Palabras clave: Calentamiento global, *sex ratio*, herpetofauna marina, conservación, pérdida de playa.

1. Abstract

Sea turtles are reptiles that colonized the world's oceans in the Lower Cretaceous with Santanachelys gaffneyi Hirayama, 1998, 110 million years ago. Since then they have demonstrated a complete capacity for adaptation and have endured great extinction crises. However, current climate change could be the cause of their decline. In this work, changes in nesting beaches, changes in sex ratio, alterations due to ocean acidification, changes in diet and changes in the distribution area have been identified, as well as several interviews with experts in sea turtles have been conducted to identify potential vulnerabilities. Climate change is accelerated by the influence of humans and can diminish the adaptive capacity of sea turtles. Therefore, the measures proposed for their conservation focus on the reduction of anthropogenic pressure and the compensation of the effects of natural phenomena. The most important of these measures are the education of the population, the protection of nests in situ and ex situ, in addition to revegetation and shading of the nesting areas.

Keywords: Global warming, sex ratio, marine herpetofauna, conservation, beach loss

2. Introducción

2.1. Las tortugas marinas

Las tortugas marinas son reptiles anápsidos que utilizan el medio marino como área de alimentación y desarrollo. Tienen respiración pulmonar, por lo que deben emerger periódicamente para respirar. A pesar de esto, Eckert et al. (1989) describieron que las tortugas son capaces de realizar profundas y prolongadas inmersiones debido a un mecanismo de desaceleración del ritmo cardiaco, unido a la habilidad del cerebro de trabajar con concentraciones reducidas de oxígeno y la adaptación de los hematíes que liberan oxígeno hacia los tejidos.

Al igual que el resto de tortugas, las tortugas marinas han sufrido la pérdida de los dientes, siendo éstos sustituidos por unas robustas placas queratinizadas. Además, presentan una coraza ósea compuesta por un caparazón dorsal y un plastón ventral (Hickman et al., 1997) en el que sobresalen la cabeza y las extremidades, que han sido modificadas para adaptarse al medio acuático de manera que los dedos se encuentran unidos en forma de remo (Meylan & Meylan, 2000). Son animales poiquilotermos como el resto de reptiles, aunque no en sentido estricto ya que, debido a su gran tamaño, son capaces de conservar cierto calor liberado de la actividad muscular. Únicamente la especie *Dermochelys coriacea* (Vandelli, 1761) es capaz de regular su temperatura corporal mediante mecanismos de intercambio de energía, colonizando así aguas más frías (Ferri, 2001).

Estas especies habitan medios de alta salinidad, lo que provoca grandes pérdidas de agua por los riñones en un mecanismo homeostático. Por ello cuentan con varios procesos fisiológicos que regulan la concentración salina. El primero es la secreción de orina muy concentrada compuesta por amonio y urea; el segundo es la modificación de las glándulas lacrimales (Márquez, 1996), denominadas también glándulas de sal, siendo en la actualidad alargadas y de gran tamaño, a través de las cuales se elimina el exceso de sales mediante la secreción continua de un líquido espeso (Báez, 2007). Además, esta secreción cumple una importante función durante la anidación, protegiendo los ojos del animal del roce continuo de las partículas de arena.

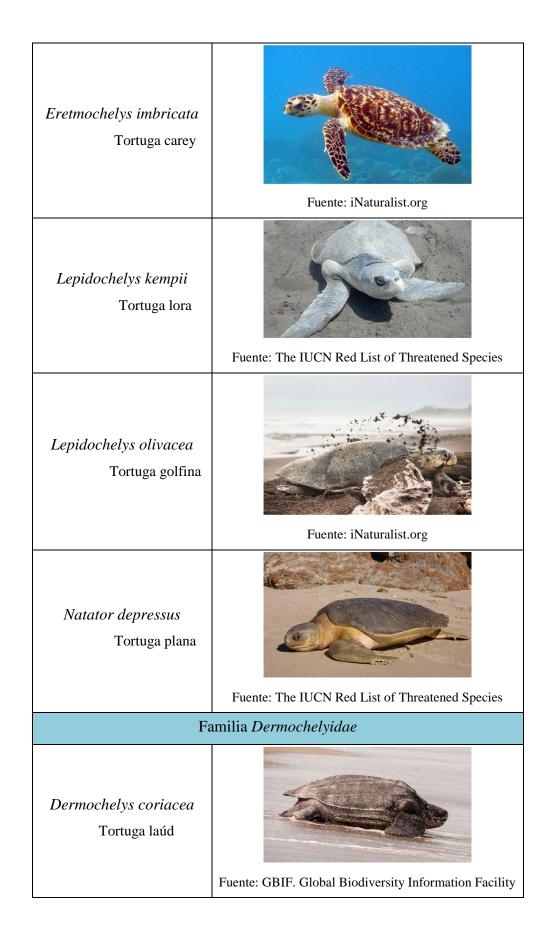
El origen de las tortugas se sitúa hace 110 millones de años aproximadamente, periodo correspondiente al Cretácico temprano, con la especie *Santanachelys gaffneyi* Hirayama 1998 (<u>Hirayama, 1998</u>). Pertenecen al grupo Cryptodira, caracterizado por la habilidad de retraer el cuello en el interior del caparazón formando una "S" en el plano vertical, aunque las tortugas

marinas tienen una capacidad muy limitada para retraer la cabeza y no pueden introducirla en el caparazón. Por ello, poseen una gruesa cubierta que les protege el cráneo (<u>Gaffney & Meylan, 1988</u>).

El registro fósil existente permite conocer las diferentes especies que han habitado el planeta, aunque actualmente se han reducido a siete u ocho especies según la taxonomía consultada. Esto se debe a que algunos autores consideran a *Chelonia mydas agassizii* una especie diferente en vez de una subespecie de *Chelonia mydas*. Siguiendo la clasificación propuesta por Pritchard (1997), existen en la actualidad siete especies de tortugas marinas agrupadas en dos familias (Tabla 1): *Cheloniidae*, en la que se encuentran la tortuga verde (*Chelonia mydas* Linnaeus (1758)), boba (*Caretta caretta* Linnaeus (1758)), carey (*Eretmochelys imbricata* Linnaeus (1766)), golfina (*Lepidochelys olivacea* Eschscholtz (1829)), lora (*L. kempii* Garman (1880)) y plana (*Natator depressus* Garman (1880)); y *Dermochelyidae*, cuya única especie representante es la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea* Vandelli (1761)).

Tabla 1. Fotografías de las siete especies de tortugas marinas diferenciadas por familias.

venter CDIE Clakel Riediversity Information Facility
uente: GBIF. Global Biodiversity Information Facility
uente: GBIF. Global Biodiversity Information Facility



<u>Ferri (2001)</u> indica que ambas familias se diferencian principalmente en el caparazón. En la familia *Cheloniidae* el caparazón está formado por escamas o placas bien diferenciadas mientras que las tortugas de la familia *Dermochelyidae* poseen un caparazón sin escamas recubierto de una gruesa capa de piel con un aspecto similar al cuero. Esta modificación aumenta la flotabilidad de los individuos disminuyendo el gasto energético durante la natación.

Son animales ovíparos y presentan huevos amnióticos, lo que permite al embrión un desarrollo más estable una vez son depositados en el medio terrestre. La anidación suele realizarse en playas tropicales o subtropicales durante el verano. El animal forma con ayuda de las aletas anteriores una amplia oquedad, denominada "cama", donde se posarán para poder desovar en un pequeño y profundo hoyo (Márquez, 1996).

Las tortugas hembra eligen la mejor ubicación para la colocación del nido dependiendo de la consistencia de la arena, temperatura y humedad. Una vez llegan al lugar de anidación realizan la cama, cuyo tamaño dependerá de la especie. En el estudio de Márquez (1996) se observó que los géneros *Dermochelys* y *Chelonia* elaboran camas de mayor tamaño y profundidad que las tortugas pertenecientes a los géneros *Lepidochelys* y *Eretmochelys*, cuyos nidos se caracterizan por tener una cama muy somera (Figura 1).

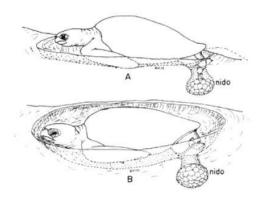


Figura 1. Diferentes tipos de anidación según la profundidad del nido. Forma A: cama somera característica de *Lepidochelys* y *Eretmochelys*. Forma B: cama profunda típica de *Dermochelys* y *Chelonia*.

Fuente: Márquez, 1996.

Seguidamente, con ayuda de las aletas posteriores, excavan una oquedad donde se produce el desove de los huevos, que caen acompañados de un líquido mucoso que tiene propiedades fungicidas y bacteriostáticas además de servir como lubricante. A continuación, las tortugas cubren el nido con arena, de manera que éste quede oculto para los depredadores, y vuelven al mar.

Las tortugas marinas habitan en todas las cuencas oceánicas del planeta excepto las aguas más cercanas a los polos (Meylan & Meylan, 2000), siendo los reptiles que poseen el

rango de distribución más amplio (Secretaría CIT, 2004). Se encuentran en zonas tropicales y subtropicales, y realizan grandes migraciones desde las zonas de alimentación y reproducción hasta las playas de anidación (Meylan & Meylan, 2000). En estas migraciones, generalmente siguen corrientes cálidas y pueden completar travesías de miles de kilómetros, siendo Dermochelys coriacea la especie que realiza las migraciones más largas, que llegan a los 6 000 kilómetros, tal y como reportaron Eckert & Eckert (1988).

En las costas españolas pueden verse cinco de las siete especies de tortugas marinas. Dermochelys coriacea puede verse en aguas atlánticas (Brongersma, 1972) siendo frecuente en el Mediterráneo (Camiñas, 1998), Caretta caretta es la más abundante en España y está presente en el Mediterráneo durante todo el año, Chelonia mydas se reproduce en el mar Mediterráneo pero es poco común en aguas españolas, mientras que el estudio de Camiñas (2002) muestra que Lepidochelys kempii y Eretmochelys imbricata son especies poco frecuentes en nuestras costas, aunque se han observado en Galicia y las Islas Canarias.

A lo largo de su historia, las tortugas marinas han sido capaces de adaptarse a cambios en el medio provocados por el clima, desplazando los lugares de anidación y desarrollando nuevas rutas migratorias (<u>Hawkes et al., 2009</u>), por lo que en la actualidad es importante estudiar su situación y conocer las posibles estrategias evolutivas que las lleven a seguir permaneciendo en el planeta.

2.2. Cambio climático

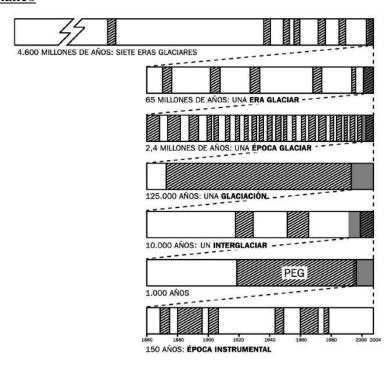


Figura 2. Representación de la historia climática de la Tierra. Fuente: Viñas (2005).

El origen de la Tierra se remonta a 4 600 millones de años (Ma) (<u>Firth & Fisher</u>, 1992). Desde entonces se han sucedido numerosos cambios en el clima (Figura 2) siendo éste mucho más cálido que en la actualidad durante la mayor parte del tiempo (<u>Viñas</u>, 2013). Sin embargo, las etapas cálidas fueron interrumpidas por varios periodos glaciares. La evidencia geológica sugiere una primera época glacial hace aproximadamente 700 Ma, otra cerca de 300 Ma mientras que la más reciente comenzó hace 2,4 Ma durante la época del Pleistoceno (<u>Ahrens</u>, 2012).

Según Hartmann (2015), hace alrededor de 65 Ma la temperatura de la Tierra era superior a la actual y las capas de hielo polares no existían. Sin embargo, tras 35 Ma el planeta entró en una larga tendencia de enfriamiento. Se formó hielo polar que fue aumentando en grosor de manera progresiva y pasados 10 Ma una profunda capa de hielo cubría la Antártida. Mientras tanto, la nieve y el hielo comenzaron a acumularse en los valles de alta montaña del hemisferio norte dando lugar a glaciares alpinos que marcarían el inicio del Pleistoceno hace 2,4 Ma. No obstante, no fue un periodo de glaciación continua, los glaciares avanzaron y retrocedieron alternativamente en América del Norte y Europa (Ahrens, 2012).

En el 6 000 a. C. se produjo el Máximo Climático del Holoceno, periodo de 4 000 años en el cual la temperatura media aumentó en las latitudes más altas del hemisferio norte provocando la desaparición de las capas de hielo continentales de América del Norte. Por el contrario, en el resto de latitudes la temperatura disminuyó progresivamente (Koshkarova & Koshkarov, 2004). Tras esta etapa, se estableció una tendencia de enfriamiento en las latitudes del norte de modo que volvieron los glaciares alpinos extensos, aunque no los continentales. Hace 1000 años algunas regiones del hemisferio norte, en especial Europa Occidental, experimentaron un clima extraordinariamente caluroso (Bradley et al., 2003). Este periodo perduró durante centenares de años y es conocido como el Óptimo Climático Medieval que finalizó en el siglo XV.

El hemisferio norte experimentó un ligero enfriamiento hasta el siglo XIX, lo que permitió el avance y aumento de tamaño de los glaciares alpinos, provocando la Pequeña Edad de Hielo. Consistió en la bajada de 1°C en todo el hemisferio (Bradley & Jones, 1993) y trajo consigo grandes impactos. Seguidamente, a principios de 1900, la temperatura media global de la superficie aumentó progresivamente hasta llegar a medio grado centígrado más en 1945. Posteriormente, el clima se mantuvo prácticamente constante con un ligero enfriamiento en el hemisferio norte hasta la década de los sesenta. A mediados de los años setenta, se estableció una tendencia de calentamiento, aunque no ha sido uniforme en todo el

planeta ya que se observó un calentamiento mayor en el Ártico y en latitudes medias (<u>Ahrens</u>, <u>2012</u>). Esta tendencia se aceleró durante los años ochenta y noventa hasta alcanzar un incremento de 0,85 °C desde la época preindustrial, mientras que en la primera década del siglo XXI las temperaturas se mantuvieron constantes.

En la actualidad, surge la incertidumbre acerca de las causas del calentamiento global, ya que la conjunción de fenómenos naturales y antrópicos podría ser el origen (<u>Duarte, 2015</u>). Existen diferentes circunstancias naturales que provocan un cambio en el clima, como las modificaciones de la superficie terrestre (<u>Ahrens, 2012</u>). Durante el pasado geológico de la Tierra, la superficie de los continentes y los fondos oceánicos sufrieron un desplazamiento como explica la teoría de la tectónica de placas. <u>Tarbuck et al. (2005)</u> afirma que las placas se deslizan sobre el manto fluido de la Tierra, provocando una determinada disposición de los continentes que influye en la trayectoria de las corrientes oceánicas y altera el transporte de calor desde las latitudes bajas hasta las más altas.

Alteraciones en la cantidad de energía solar recibida pueden desencadenar cambios climáticos en el planeta (Ahrens, 2012). Milankovitch (1930) publicó una teoría que afirma que variaciones cíclicas combinadas en tres elementos de la órbita terrestre (excentricidad, oblicuidad y precesión) (Figura 3) producen modificaciones en la cantidad de energía solar que llega a la Tierra (Viñas, 2013). La excentricidad es un parámetro que describe la forma de la órbita de traslación del planeta y por tanto, influye en las diferencias estacionales. La oblicuidad está definida como la variación de la inclinación del eje de rotación, de forma que al aumentar la inclinación del mismo, los inviernos y veranos se vuelven más extremos. Por último, la precesión es el cambio en la orientación del eje de la Tierra lo que provoca la modificación de la fecha del perihelio y aumenta la intensidad de las estaciones en un hemisferio mientras que las disminuye en el otro (Bennett, 1990).

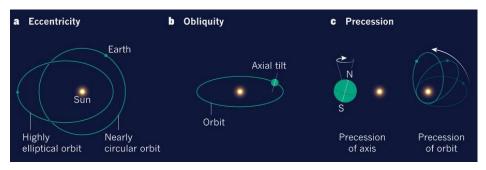


Figura 3. Representación de los ciclos de Milankovitch. Fuente: Maslin (2016).

La presencia de diferentes partículas en la atmósfera es la tercera circunstancia natural que puede tener un efecto sobre el clima (Ahrens, 2012). Pueden llegar a la atmósfera de numerosas formas y generalmente provocan el enfriamiento de la superficie al evitar que la radiación solar penetre (Viñas, 2013). Una de las principales causas de entrada de partículas son las erupciones volcánicas, que expulsan gran cantidad de ceniza y polvo. Las erupciones que provocan un mayor impacto son las ricas en azufre, ya que en presencia de radiación estos gases se combinan con vapor de agua, producen partículas de ácido sulfúrico, formando una densa neblina que provoca la reflexión de energía solar y, consecuentemente, el enfriamiento de la superficie terrestre (Firth & Fisher, 1992).

En la actualidad, el hombre modifica las características fisicoquímicas de la atmósfera al generar grandes cantidades de partículas y gases de efecto invernadero cuyo origen principal son las emisiones de fábricas, automóviles, aviones y chimeneas. El problema asociado a la presencia de partículas es la reducción de la cantidad de luz solar que llega a la superficie de la Tierra, provocando el enfriamiento del aire (Stauber et al., 2016). En cuanto a los gases de efecto invernadero, uno de los más abundantes es el dióxido de carbono, que absorbe la radiación infrarroja aumentando la temperatura del planeta, hecho necesario para el mantenimiento de la biosfera. Esto se convierte en un problema cuando el aumento de la concentración de este gas sobrepasa determinados límites, ya que deriva en un considerable incremento de la temperatura (Ahrens, 2012).

A lo largo de las últimas décadas se ha producido un aumento de la concentración de CO₂ debido, principalmente, a la quema de combustibles fósiles. Sin embargo, según Hartmann (2015), años atrás la causa principal de este incremento era la tala de bosques realizada para ampliar la superficie agrícola. Esto modificaba la reflectividad del terreno, provocando un fuerte efecto invernadero. En el año 2015, el promedio de dióxido de carbono en la atmósfera fue de 400 partes por millón (ppm) aproximadamente (Tarasova et al., 2017), con tendencia a un aumento de 2 ppm al año. Unido a esto se encuentra la emisión de otros gases de efecto invernadero como el metano, los clorofluorocarbonos y el óxido nitroso que, aún siendo menos frecuentes en la atmósfera, tienen un mayor poder de efecto invernadero.

El cambio en el clima se hace patente y es posible observarlo en que la temperatura media mundial para cada década desde 1980 ha aumentado respecto a la década precedente (Ahrens, 2012). Es importante tener en cuenta otros hechos que informan de dicho cambio global como son el deshielo de los glaciares, el aumento del nivel del mar, el adelanto de las épocas de floración o la acidificación oceánica (IPCC, 2014).

2.3. Justificación del trabajo y objetivos

En la actualidad, la Tierra sufre un cambio en el clima intensificado por las actividades humanas que se manifiesta principalmente con mayores temperaturas en el aire y el océano, aumento del nivel del mar, incremento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos y modelos alterados de precipitación (IPCC, 2014). Estos fenómenos están afectando los patrones de distribución, alimentación, reproducción y migración de las tortugas marinas, lo que las hace aún más vulnerables (Fonseca, 2011). Entre las principales consecuencias, se han encontrado evidencias de que el aumento de la temperatura de la arena modifica el sex ratio en los neonatos, siendo mayor la proporción de hembras (Miller, 1997), mientras que un aumento del nivel del mar puede provocar la destrucción de los nidos así como la pérdida de superficie costera (Hawkes et al., 2009). A pesar de esto, las tortugas han sobrevivido a cambios anteriores del clima, incluidos periodos glaciales y eventos cálidos. No obstante, las variaciones climáticas actuales se están produciendo a elevada velocidad, por lo que dicha capacidad de adaptación podría verse comprometida (Poloczanska et al., 2009).

Es por ello que el objetivo del presente trabajo es identificar los impactos que sufren las poblaciones de tortugas marinas en la actualidad debido al cambio climático. De esta forma será posible realizar una propuesta de gestión de las especies y sus hábitats, teniendo en cuenta también las posibles repercusiones de estas medidas en el medio socioeconómico.

3. Desarrollo del trabajo

3.1. Marco normativo

En la actualidad, las poblaciones de tortugas marinas se encuentran en una situación vulnerable al verse afectadas por distintos factores que provocan la degradación de su hábitat. En este contexto, es importante su protección y gestión mediante una normativa nacional adecuada, además de precisar de la cooperación internacional debido a la naturaleza altamente migratoria de estos animales.

En lo relativo a las tortugas marinas destaca, en la legislación nacional, la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y Biodiversidad. El Anexo II incluye a *Caretta caretta y Chelonia mydas* como especies prioritarias y cuya conservación debe realizarse por medio de la designación de una Zona de Especial Conservación (ZEC) y el Anexo V recoge que las cinco tortugas marinas presentes en España deben tener una protección estricta. Destaca también el Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas ya que recoge las categorías de amenaza de cada especie (Tabla 2).

Tabla 2. Categorías de amenaza nacional y mundial de las tortugas marinas. Fuente: Camiñas (2002), elaboración propia.

г.	Categoría de amenaza	
Especie	España	UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza)
Caretta caretta	En Peligro (EN)	En Peligro (EN)
Chelonia mydas	En Peligro (EN)	En Peligro (EN). Población del Mediterráneo en Peligro Crítico (CR)
Dermochelys coriacea	En Peligro Crítico (CR)	En Peligro Crítico (CR)
Eretmochelys imbricata	Datos Insuficientes (DD)	En Peligro Crítico (CR)
Lepidochelys kempii	Datos Insuficientes (DD)	En Peligro Crítico (CR)
Lepidochelys olivacea	-	Vulnerable (VU)
Natator depressus	-	Datos Insuficientes (DD)

Referido al hábitat de las tortugas marinas, es necesario tener presente la Directiva Hábitats, D92/43/CEE de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. En especial, el Anexo II incluye a *Caretta caretta* como una especie de interés comunitario para cuya conservación es necesario designar una Zona de Especial Conservación, y el anexo IV define que las especies *Caretta caretta, Chelonia mydas, Dermochelys coriacea, Eretmochelys imbricata* y *Lepidochelys kempii* requieren una protección estricta. Además, debido al uso de las playas en los momentos de anidación, es preciso destacar como normativa nacional la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas y la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.

Por otro lado, los impactos del cambio climático no se manifiestan de manera homogénea, por lo que es imposible la existencia de una única norma que lo regule. Además, al tratarse de un problema global, tanto por sus causas como por sus efectos, requiere de una respuesta multilateral basada en la colaboración de todos los países. Dentro de esta respuesta, cobra una mayor importancia en la lucha contra el cambio climático la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, cuyo objetivo es fomentar la reducción de las emisiones de estos gases de una forma eficaz y económicamente eficiente. Igualmente, la Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible, cuyo objeto es introducir en el ordenamiento jurídico las reformas necesarias para favorecer un desarrollo económico sostenible.

En el Anexo I del presente trabajo se recogen todas las normativas nacionales e internacionales bajo las cuales se encuentran reguladas las especies de tortugas marinas y sus hábitats, así como las relativas al cambio climático.

3.2. Impactos del cambio climático en las tortugas marinas

3.2.1. Cambios en las playas de anidación

El aumento del nivel del mar, debido a la expansión oceánica y al deshielo de los casquetes polares (IPCC, 2013), no se produce de manera homogénea, lo que provoca que en algunas áreas del planeta se esté produciendo una disminución del mismo (Poloczanska et al., 2009). Las diferencias en el comportamiento del océano dependen de la hidrodinámica y la geología de la zona. De esta forma, las islas pequeñas y con menor altura se consideran especialmente vulnerables al aumento del nivel del mar y a los fenómenos meteorológicos extremos, mientras que las islas con mayor cantidad de sedimentos acumulados o abundante cobertura vegetal son más resistentes (Woodroffe, 2008).

Las siete especies de tortugas marinas necesitan el medio terrestre a la hora de depositar los huevos (Márquez, 1996). Para que una playa sea óptima para la anidación debe cumplir varios requisitos, tales como la baja salinidad e inundabilidad, la alta humedad o la oceanografía de la costa, buscando la más adecuada para la dispersión de las crías (Miller, 1997). Debe existir espacio suficiente por encima de la línea de pleamar para que tenga lugar la anidación y, para algunas especies como *Eretmochelys imbricata*, es necesaria la presencia de vegetación (Horrocks & Scott, 1991). Sin embargo, la persistencia de un mismo sitio de anidación depende del número de crías que vuelvan a anidar allí (Foley et al., 2006).

La modificación de patrones de precipitación y el aumento del número de eventos climáticos extremos, incrementa la erosión de las dunas de arena y el riesgo de inundación de los nidos (Santidrián et al., 2015a). Las tortugas marinas anidan en playas tropicales y este acontecimiento, en muchas poblaciones, coincide con las temporadas de ciclones y tormentas tropicales (Shine & Brown, 2008). Las fuertes lluvias hacen que las condiciones de la arena no sean adecuadas para excavar los nidos o incubar los huevos. Además, pueden enmascarar las señales que promueven la llegada de las hembras a las playas, ya que las precipitaciones intensas provocan turbidez en las aguas costeras y una disminución de la salinidad (Limpus et al., 2001). Conjuntamente, el aumento del nivel del mar puede reducir la superficie disponible para el desove, lo que compromete el número de playas óptimas para la anidación. Tienen un mayor riesgo las playas cuya franja de arena sea más estrecha o aquellas donde la antropización de la costa impida la evolución natural de las playas (Poloczanska et al., 2009).

Cuando el área de playa disponible para anidar se reduce sustancialmente, las tortugas podrían excavar nidos en zonas subóptimas para la eclosión, como son las regiones con alto

riesgo de intrusión salina. Además, la reducción del espacio disponible para desovar aumenta la densidad de anidación, lo que provoca la destrucción de nidos ya existentes y aumenta el riesgo de depredación (Mazaris et al., 2009).

3.2.2. Modificación del sex ratio

El sexo de las tortugas marinas está determinado por la temperatura (TSD: Temperature-dependent Sex Determination), ya que no poseen cromosomas sexuales identificables (<u>Davenport, 1997</u>). Por ello, la temperatura de incubación de la primera mitad del desarrollo embrionario determina el sexo de los individuos.

Existe una temperatura a la cual se produce una proporción sexual 1:1, es la denominada temperatura pivotal (<u>Davenport, 1997</u>) y ha sido estudiada a lo largo de los años para todas las especies de tortugas marinas (Tabla 3). Es importante destacar que las siete especies muestran una temperatura pivotal en torno a los 29°C, a pesar de las diferencias existentes entre ellas. Esto podría deberse a la similitud de los ambientes de anidación, ya que los nidos suelen encontrarse a una profundidad media de 0,5m, lo que amortigua las fluctuaciones térmicas (<u>Davenport, 1997</u>).

Tabla 3. Temperatura pivotal de las siete especies de tortugas marinas ordenadas de manera ascendente. Elaboración propia.

Especie	Temperatura pivotal (°C)	Intervalo térmico de transición (°C)
Chelonia mydas	28,26 (<u>Ackerman, 1997</u>)	25,0 – 35,0 (<u>Ackerman, 1997</u>)
Caretta caretta	28,74 (<u>Ackerman, 1997</u>)	27,5 – 30,5 (<u>Mrosovsky, 1988</u>)
Lepidochelys olivacea	29,13	27,0 – 32,0
Ecptaoenerys onvacea	(<u>Ackerman, 1997</u>)	(Wibbels et al., 1998)
Eretmochelys	29,20	28,5 – 30,3
imbricata	(Mrosovsky et al., 1992)	(<u>Mrosovsky et al., 1992</u>)
Dermochelys coriacea	29,50	29,0 – 30,0
Dermocherys corraced	(<u>Mrosovsky</u> , 1994)	(Binckley et al., 1998)
Natator depressus	29,50	29,0 – 30,0
	(Hewavisenthi & Parmenter, 2002)	(Hewavisenthi & Parmenter, 2002)
Lepidochelys kempii	30,20	29,9 – 30,5
Deptationerys wempti	(Shaver et al., 1988)	(<u>Shaver et al., 1988</u>)

Existe un pequeño intervalo alrededor de la temperatura pivotal (Figura 4 y Tabla 3) en el que se producen ambos sexos, el intervalo térmico de transición (TRT: Transitional Range of Temperatures) (Ackerman, 1997). Al rebasar los límites del TRT, las crías serán 100% hembras si las temperaturas son mayores que el límite superior y 100% machos si son menores que el límite inferior (Mrosovsky & Yntema, 1980). Sin embargo, Mrosovsky y Pieau (1991) señalan que en condiciones térmicas fluctuantes, el tiempo que se excede la temperatura pivotal podría ser la causa que determina el sexo de las crías.

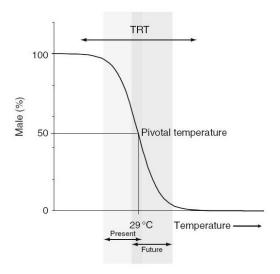


Figura 4. Representación general de la determinación del sexo dependiente de la temperatura en las tortugas marinas. El sombreado marcado como "Present" corresponde a la gama de temperaturas que actualmente experimentan los nidos durante la época de cría; el sombreado marcado como "Future" indica las temperaturas del nido tras el calentamiento global. Fuente: <u>Poloczanska et al. (2009)</u>.

La temperatura de la arena puede afectar al éxito de eclosión y emergencia de las crías, ya que el intervalo óptimo se encuentra entre 25 y 33°C (Miller, 1997). Este intervalo varía según la especie, las condiciones ambientales y la profundidad a la que se encuentren los huevos, siendo determinante el tiempo de exposición a altas temperaturas (Fuentes et al., 2011).

Actualmente, las zonas de anidación de las tortugas parecen estar limitadas por la temperatura anual, siendo 25°C en el hemisferio sur y alrededor de 20°C en el hemisferio norte (<u>Poloczanska et al., 2009</u>). Por ello, una de las principales preocupaciones respecto a los efectos del cambio global en las tortugas marinas es el impacto en las tasas de sexos en neonatos, así como la salud y tamaño de los nuevos individuos, lo que supone un impacto en la dinámica de las poblaciones (<u>Mazaris et al., 2008</u>).

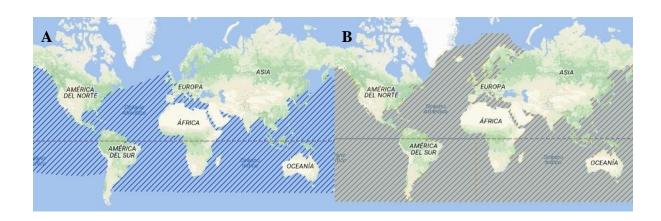
Un cambio en la fecha o ubicación de anidación podría mitigar el efecto del incremento de temperatura. Sin embargo, existen pocas evidencias de que las hembras

modifiquen la ubicación de los nidos en respuesta a las condiciones del entorno. Además, las tortugas regresan a la playa en la que nacieron o a áreas muy cercanas para la anidación, de manera que cuando la hembra selecciona una región para el primer periodo reproductivo, muestra una gran fidelidad a dicha zona, aunque no necesariamente a una misma playa (Lohmann et al., 2013).

En contraposición, las temperaturas más cálidas prolongan las temporadas de anidación y el tiempo de incubación se acorta debido al aumento de las tasas metabólicas, siempre que el resto de condiciones ambientales sean favorables. También, el incremento de temperatura puede ampliar las áreas de anidación, haciendo propicias aquellas playas que se encuentran actualmente en latitudes altas (<u>Poloczanska et al., 2009</u>).

3.2.3. Modificación del área de distribución

La distribución de las tortugas marinas en el océano (Figura 5) se encuentra limitada por temperaturas mínimas en torno a los 20°C (Davenport, 1997). Los rangos de temperatura varían según las especies, temporada del año y edad de los individuos, aunque existen evidencias de que *Dermochelys coriacea* puede adaptarse a aguas más frías debido a su capacidad de retención del calor metabólico (Ferri, 2001) (Figura 5B). Por ello, como indican McMahon y Hays (2006), un aumento de la temperatura global del océano podría suponer una ampliación del área de distribución de las tortugas marinas y la colonización de latitudes mayores.



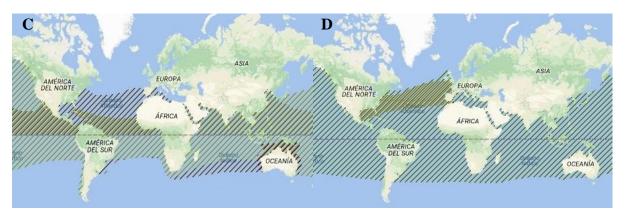


Figura 5. Mapas de distribución de las siete especies de tortugas marinas. A: *Caretta caretta*; B: *Dermochelys coriacea*; C: *Eretmochelys imbricata* (Marrón), *Lepidochelys olivacea* (Verde) y *Natator Depressus* (Rojo); D: *Lepidochelys kempii* (Marrón) y *Chelonia mydas* (Verde). Fuente: Ocean Biogeographic Information System Spatial Ecological Analysis of Megavertebrate Populations (OBIS-SEAMAP)

Las corrientes oceánicas influyen en la distribución de las tortugas, ya que modifican sus movimientos a través de la advección, las protegen de las aguas más frías y afectan la disponibilidad de presas (Bowen et al., 2007). Las tortugas realizan grandes migraciones entre las áreas de cría y alimentación (Meylan & Meylan, 2000), utilizando las corrientes marinas y el campo magnético terrestre para orientarse (Lohmann, 2007). Estas largas migraciones no dependen únicamente de la dirección de las corrientes, ya que se han registrado poblaciones de *Caretta caretta* nadando en contra de las corrientes (Bentivegna et al., 2007), pero se ha constatado que las corrientes en algunas ocasiones desvían las rutas migratorias de las tortugas (Girard et al., 2006).

Estudios genéticos, como el de <u>Carreras et al. (2006)</u>, ponen de manifiesto la influencia de los patrones de circulación oceánica en la dispersión de individuos juveniles y la fidelidad a masas de agua particulares. Por ello, la variación de las corrientes debido a cambios en la temperatura oceánica podría provocar un gran impacto si estos cambios superan la capacidad de adaptación de las tortugas.

3.2.4. Impactos provocados por la acidificación oceánica

La acidificación oceánica es una de las principales consecuencias del aumento de emisiones de dióxido de carbono debido a la quema de combustibles fósiles (Denman et al., 2007). Debido a que los océanos absorben el 40% de dichas emisiones mediante la disolución del CO₂, se produce un desplazamiento del equilibrio carbónico-carbonato. Este proceso reduce las tasas de calcificación biológica, deprime los metabolismos y aumenta la tensión

biológica en los organismos al disminuir los niveles de oxígeno disuelto (<u>Raven et al., 2005</u>), aunque debido a que las tortugas tienen respiración pulmonar, son menos susceptibles a estos cambios químicos del océano (<u>Poloczanska et al., 2009</u>).

La disminución del pH del océano influye en las tortugas marinas de dos maneras: alterando los hábitats y afectando la alimentación de ciertas especies. Esta acidificación disminuye la calcificación de las estructuras de los corales y modifica la relación simbiótica de éstos con las zooxantelas (género *Symbiodinium*) (Anthony et al. 2008). Los arrecifes de coral forman grandes zonas de alimentación de tortugas, en particular para *Eretmochelys imbricata*, y si continúan deteriorándose, podría suponer un grave riesgo para esta especie (Poloczanska et al., 2009). En contraposición, los ecosistemas de fanerógamas marinas podrían beneficiarse del aumento de la concentración de CO₂ en el agua ya que, aún siendo capaces de utilizar el bicarbonato para realizar la fotosíntesis, tienen mayor afinidad por el dióxido de carbono (Guinotte & Fabry, 2008). Ejemplo de ello es el estudio de Palacios & Zimmerman, (2007) que demuestra como *Zostera marina* aumenta su tasa de fotosíntesis y reduce los requerimientos de luz al disponer de una mayor concentración de CO₂. Sin embargo, factores como la reducción de la calidad del agua por parte de las actividades humanas están perjudicando a las praderas marinas a nivel mundial (Ferwerda, 2007).

3.2.5. Alteración de la abundancia del alimento

Las diferentes especies de tortugas marinas no comparten los mismos hábitos alimenticios en la etapa adulta, por lo que los impactos causados por cambios en la abundancia de las presas influyen de manera desigual. Las especies *Eretmochelys imbricata* y *Lepidochelys olivacea* son omnívoras, por lo que tienen una dieta más variada en comparación con el resto de especies, hecho que podría resultar ventajoso al no depender de la existencia de un único tipo de alimento. Sin embargo, *Eretmochelys imbricata* puede encontrar dificultades al buscar su principal sustento, corales como *Zoanthus sociatus* (Lundin & Lindén, 2007) o *Ricordea florida* (León & Bjorndal, 2002). Esto se debe a la modificación de su relación simbiótica con las zooxantelas, que provocan la pérdida de sus características tonalidades en un fenómeno conocido como blanqueamiento (Figura 6). La pérdida de las zooxantelas se produce cuando el coral se encuentra en situaciones de presión ambiental, como un aumento de la temperatura, exposición a patógenos o presencia de agua dulce (Cortés et al., 1984).



Figura 6. Fenómeno de blanqueamiento de corales en la Gran Barrera de Coral, Australia. Fotografías tomadas en diciembre de 2014 (izquierda) y febrero de 2015 (derecha). Fuente: Normile (2016).

Lepidochelys olivacea, aún siendo también catalogada una especie omnívora, tiene una dieta completamente diferente, basada en medusas principalmente, además de ctenóforos, salpas, peces y en menor medida, algas (Casas-Andreu & Gómez-Aguirre, 1980). Esto podría llevar a considerarla carnívora, aunque no de manera estricta como lo son Caretta caretta, Dermochelys coriacea o Lepidochelys kempii. Estas especies se alimentan de medusas (Dodd, 1988; Eckert et al., 1989) además de otros animales como cangrejos, erizos o estrellas de mar (Shaver, 1991), por lo que, tras el aumento de temperatura producido por el cambio climático, podrían disponer de un mayor número de presas debido a la relación directa existente entre la abundancia de las medusas y la temperatura del mar (Richardson et al., 2009).

Para las poblaciones de *Chelonia mydas* tampoco se espera un déficit en la abundancia de su alimento. Son animales herbívoros por lo que comen algas como *Thalassia testudinum* (Bjorndal, 1980) y *Syringodium filiforme* (Ogden et al., 1983), de las cuales se espera un aumento en la producción al incrementarse la concentración de dióxido de carbono disuelto.

3.3. Entrevistas a expertos en tortugas marinas

Con el objeto de conocer diferentes puntos de vista sobre la situación actual de las tortugas y los posibles efectos en un escenario de cambio climático, se realizaron sendas entrevistas a tres expertos en tortugas marinas que han dedicado su vida profesional al estudio y conservación de estos animales. Para ello se contó con la colaboración de Juan Jesús Bellido, responsable de proyectos del Aula del Mar, cuya reunión tuvo lugar en las oficinas del Aula del Mar (Figura 7), en Málaga el día 13 de noviembre de 2017, así como con Juan Antonio Camiñas, investigador en el Centro Oceanográfico de Málaga (Figura 8) del Instituto Español de Oceanografía y Jose Carlos Báez, investigador en el Centro Oceanográfico de Canarias del Instituto Español de Oceanografía. Estas últimas entrevistas fueron realizadas en el Centro Oceanográfico de Málaga que se localiza en Fuengirola, el día 14 de noviembre de 2017.



Figuras 7 y 8. Fotografías realizadas en las fachadas del Museo Alborania del Aula del Mar (izquierda) y el Instituto Español de Oceanografía (derecha).

A continuación se muestran las preguntas realizadas y un resumen de la información aportada por los expertos para cada una de ellas.

1. Los estudios realizados muestran que los principales impactos del cambio climático en las tortugas marinas son: modificaciones en la proporción de sexos de los neonatos, cambios en las playas de anidación, alteraciones de la abundancia de alimento, modificación del área de distribución y consecuencias derivadas de la acidificación oceánica. De todos ellos, ¿cuál es el impacto que tiene mayores consecuencias para las tortugas marinas y puede, por tanto, afectar más a su supervivencia?

Bellido destaca la dificultad de ver los efectos generales del cambio climático, pues es necesario centrarse en cada efecto y las consecuencias que tiene en las especies. Además, hay que tener en cuenta que pueden aparecer nuevas playas óptimas para la

anidación. Por otro lado, afirma que si el nivel del mar aumenta, hay islas que perderán una gran porción de playa o llegarán a desaparecer por lo que es necesario realizar predicciones para proteger las nuevas playas potenciales para la anidación. En la misma línea, Báez añade que la pérdida de playas se ve intensificada por la existencia de espigones, la extracción de áridos y modificaciones llevadas a cabo por el ser humano que no permiten la dinámica natural de las playas.

2. ¿Todas las especies tienen la misma capacidad de adaptación a estos cambios? ¿Responderán a los impactos de la misma manera?

Los tres expertos afirman que están adaptadas de manera diferente debido a los requerimientos ecológicos de cada especie. Bellido aporta que *Caretta caretta* y *Chelonia mydas* podrían ampliar el rango de playas de anidación, ya que desde 2001 se ha observado como algunas tortugas han comenzado a anidar en el levante español, cuya causa puede ser el aumento de temperatura. De manera análoga, Camiñas y Báez explican que, sin tener en consideración el cambio climático, la vulnerabilidad de las poblaciones es mayor para las especies con un área de distribución más restringida como son *Lepidochelys kempii* y *Natator depressus*, por lo que en un escenario de cambio climático también se verán más afectadas. Además, Báez añade que hay que tener en cuenta que son siete especies que pertenecen a dos familias distintas por lo que las adaptaciones serán diferentes.

3. La especie *Dermochelys coriacea* tiene una morfología diferente al resto de tortugas, además de poseer cierta capacidad endotérmica. ¿Podría resultar una ventaja frente al resto de las especies?

Los tres investigadores afirman que las zonas de puesta se encuentran en el trópico por lo que los problemas asociados al aumento de temperatura y del nivel del mar en las playas serán los mismos a los del resto de especies. En relación a esto, Báez añade que realmente las zonas de puesta encontradas a latitudes más altas son de la especie *Caretta caretta* ya que sus huevos necesitan una termorregulación diferente.

4. El aumento de temperatura de la arena puede provocar un mayor número de hembras, ¿podría poner en peligro las poblaciones al darse una proporción del 100% hembras, o por el contrario, sería beneficioso al no disminuir el crecimiento poblacional como afirman determinados estudios?

Los expertos coinciden en que una inversión de los sexos sería una situación irrecuperable para la población en la que se produjese. Sin embargo, afirman que debido a los mecanismos de detección de las tortugas, podrían adelantarse a esta situación modificando la ubicación de los nidos. Bellido explica que no se espera una situación tan extrema, mientras que Camiñas añade que la modificación del *sex ratio* dará lugar a cambios en la diversidad genética de las poblaciones.

5. ¿El tamaño y forma de los huevos condiciona la respuesta a un aumento de la temperatura de la arena?

Báez explica que las principales variaciones no se producen en las características físicas de los huevos, pues todos son esféricos y de diámetro similar (Figura 9), si no en el número de huevos de cada puesta. Esto varía según la especie, por ejemplo las puestas de *Chelonia mydas* son de más de 100 huevos mientras que *Caretta caretta* pone una media de 80. Además, expone que dentro del nido, la temperatura varía según la localización de los huevos, por lo que aquellos que se encuentran en la superficie o en el fondo de la cavidad tienen un éxito de eclosión muy reducido.



Figura 9. Representación en el museo Alborania de una puesta de Caretta caretta

Asimismo, Camiñas teoriza que si se hallase un mecanismo de adaptación mediante el cual los huevos tuviesen una cáscara más gruesa, es posible que no se viese afectada la proporción de sexos, aunque explica que actualmente no hay conocimiento de que exista una adaptación así.

6. Todas las especies de tortugas marinas realizan los nidos a una profundidad media de 0,5m ¿Es posible que las tortugas cambien el nido a una mayor profundidad si detectan una temperatura elevada?

Los tres expertos coinciden en que las aletas constituyen una limitación física para realizar el nido a mayor profundidad y por ello, no sería la medida adaptativa que aplicarían las tortugas marinas. Bellido cree que los nidos podrían ser someros aún si el animal intenta excavar hasta una profundidad mayor, ya que debido a la duración de la puesta y la vulnerabilidad de las tortugas marinas en tierra, el proceso podría interrumpirse por falta de tiempo o miedo de la hembra. Por otro lado, Camiñas y Báez sugieren que la medida adaptativa de las tortugas marinas será el cambio de ubicación del nido dentro de la misma playa o a una playa cercana.

7. Si las tortugas marinas modifican sus áreas de distribución, ¿Qué consecuencias tendrá para el resto de especies animales y vegetales asociados a ellas?

Báez y Camiñas aseguran que los cambios en el medio marino no afectan a una especie de manera aislada por lo que, si se produce un cambio de distribución en las tortugas marinas es probable que también ocurra en las especies asociadas. Aunque, tal y como explica Báez, es difícil conocer si la movilización de dichas especies asociadas se debería a la desaparición de las tortugas marinas del hábitat o al impacto original que generó esta desaparición.

8. Al modificar sus hábitats y colonizar nuevas regiones, ¿Podrían resultar un problema para estas nuevas áreas o incluso convertirse en especies invasoras?

Todos los ecosistemas tienen una capacidad de carga, por lo que Báez indica que al añadir una especie generalista como son las tortugas marinas, es posible que se produzca un impacto en el resto del ecosistema. En contraposición, las tortugas serán también un recurso del nuevo ecosistema, especialmente para los carroñeros y posibles depredadores de huevos y neonatos.

Por otro lado, Bellido asegura que las tortugas marinas no tienen un carácter invasor debido a que son animales migradores y la colonización de la playa se produce de manera puntual en la época reproductora. Añade que podrían tener un papel indicador ya que su presencia en una playa revela el buen estado de la misma.

9. Una de las medidas de protección más extendida es el traslado de los huevos a criaderos para proceder a su incubación artificial, pero algunos estudios demuestran que pueden tener consecuencias negativas en las tortugas marinas. ¿Cree que esta medida es una buena opción a la hora de proteger los huevos que se encuentren amenazados por cambios en las playas, como el aumento del nivel del mar o el incremento de temperatura?

Bellido y Camiñas no son partidarios de la utilización de esta medida por diferentes motivos. Bellido recalca la importancia de la protección *in situ* de las nidadas, de manera que la traslocación de los huevos a una incubadora artificial debe ser la última opción. En su opinión, lo más importante es dar prioridad a las tortugas marinas en las playas de anidación, es decir, restringir el uso de estas playas en los momentos de anidación para evitar posibles problemas con los nidos.

Camiñas afirma que la traslocación de los huevos no resolvería los problemas de las poblaciones, ya que para ello es necesario trabajar sobre los ejemplares reproductores. Expone que acciones como la recogida de tortugas o el traslado de los huevos son necesarias para concienciar y educar a la población pero no resuelve el problema real al que se enfrentan las especies de tortugas marinas.

Por el contrario, Báez argumenta que es una buena medida de conservación, ya que la tasa de eclosión de los huevos que son incubados de manera artificial es del 80-90%. Afirma que la traslocación protege a los huevos de la depredación por animales introducidos, como las ratas o los perros salvajes, y de que sean capturados por los seres humanos. Además, si existen recursos logísticos suficientes, es posible liberar a los neonatos tras un año de vida para disminuir su mortalidad. Es una medida que se ha llevado a cabo en España en determinadas ocasiones.

El lugar de liberación de las tortugas está sujeto a debate debido a la posibilidad de condicionar la zona de anidación de las tortugas marinas. Esto se produce porque la impronta, proceso por el cual el animal recopila los parámetros necesarios para retornar a la playa en la reproducción, sucede cuando las crías entran en contacto con el agua. De esta forma, si la liberación se realiza en una playa distinta a la de la ubicación del nido, las tortugas volverán a dicha playa a anidar cuando sean adultas. Báez y Bellido coinciden en que deben realizarse más estudios sobre este tipo de medida. No obstante, Báez considera que la mejor opción es liberar a los neonatos en la playa de origen.

10. ¿Qué otras medidas deberían realizarse para una mayor protección de las tortugas marinas? ¿Las medidas de protección son determinantes a la hora de superar los impactos actuales?

Los tres investigadores están de acuerdo en que la principal medida de protección y conservación es la reducción de la presión antrópica, que provoca un alto porcentaje de mortalidad en todas las fases de su ciclo de vida. Por ello, Bellido destaca la importancia de la educación de la población, especialmente en las zonas de anidación, así como la necesidad de proporcionar a las poblaciones de tortugas marinas amplitud ecológica y espacios seguros para que tengan capacidad de adaptarse en un escenario de cambio climático. Como medidas concretas incluye la limitación de la luz artificial en las playas, evitar la construcción de infraestructuras cerca de la costa, formar a todas las personas que trabajan en las playas y generar una red de voluntariado que ayude a llevar a cabo las medidas de gestión e información. Por otra parte, Camiñas propone disminuir la mortalidad de los reproductores mediante una red de observadores a bordo de los barcos para controlar los métodos de pesca utilizados y conocer las condiciones de los animales capturados accidentalmente.

11. Debido al aumento de temperatura, se espera un aumento del número de medusas. ¿Realmente supondría una ventaja para las especies que se alimenten de ellas, como *Lepidochelys olivacea*, *L. Kempii*, *Caretta caretta* y *Dermochelys coriacea*?

Según afirman los tres expertos, un aumento del número de medusas beneficiará a las poblaciones de tortugas marinas si el bloom se produce en sus zonas de alimentación. Bellido puntualiza que a medio y largo plazo podría ser considerado un problema ya que disminuye el stock de algunas especies de peces que también forman parte de la alimentación de las tortugas.

12. Y, por el contrario, ¿existe un riesgo real para las poblaciones de tortugas que se alimentan de corales principalmente, o de las esponjas que habitan en los arrecifes de coral que se encuentran en retroceso debido a la acidificación oceánica y al blanqueamiento de los mismos?

Según Camiñas, la diversidad genética de las tortugas marinas les proporciona la capacidad de adaptarse y cambiar la alimentación, aunque el blanqueamiento de los corales puede resultar un grave problema para determinadas poblaciones. En la misma

línea, Bellido explica que son animales amenazados actualmente y por ello, no tienen la misma capacidad de respuesta que en épocas anteriores. Esto provoca que puedan verse afectadas aquellas tortugas marinas asociadas a las comunidades de corales.

En contraposición, Báez estima que no existe un riesgo para ellas, pues son animales omnívoros y podrán alimentarse de otras especies. Añade que sólo en la etapa adulta tienen comportamientos neríticos, mientras que durante la mayor parte del ciclo de vida se encuentran en el ecosistema pelágico. Sin embargo, detalla que los corales son importantes zonas de reproducción por lo que el mal estado de los arrecifes puede afectar a algunas especies como *Eretmochelys imbricata*.

13. Debido a la antigüedad de las tortugas marinas, han soportado diferentes cambios climáticos demostrando tener cierta capacidad de adaptación. ¿Por qué surge la preocupación sobre la supervivencia de las tortugas marinas en este cambio? ¿Es posible que, debido a las causas antropogénicas que aceleran el proceso, las tortugas marinas vean limitada esa capacidad de adaptación?

Camiñas expone que los procesos de variabilidad genética en las especies son continuos y no se conoce como se manifiesta el efecto de ello. Por tanto, afirma que no es posible saber si este cambio intensificado por causas humanas va a conducir a las tortugas marinas a una situación irreparable.

Por otra parte, Bellido destaca la importancia de darle espacio físico a las especies para que estas tengan la capacidad de realizar modificaciones que le permitan adaptarse a los cambios. Afirma que, de manera natural, se genera un adulto sano y con capacidad de reproducirse por cada 1 000 huevos, por lo que si el ser humano provoca daños en los ejemplares adultos se origina un desequilibrio que puede acabar con una determinada población.

Unido a ello, Báez señala como motivo principal de la degradación de las poblaciones de tortugas marinas la alta mortalidad antrópica que sufren en todo su ciclo de vida. Desde que los huevos son depositados en la playa están en peligro de ser depredados por animales endémicos, como las hormigas y los hongos, o introducidos por el hombre, como las ratas y los perros salvajes. Afirma que el ser humano impacta de manera directa mediante el consumo de huevos de tortugas marinas (muy extendido en Sudamérica), provocando superpoblación de gaviotas y otras aves que se alimentan de

los neonatos y aumentando la mortalidad de los ejemplares adultos mediante su caza con fines lucrativos o la muerte accidental debido a la pesca con palangre. Explica que existe un grave problema que afecta a *Eretmochelys imbricata*, ya que en Sudamérica son capturadas cuando llegan a las playas de anidación para comercializar con su caparazón. Éste es utilizado para hacer espuelas (Figura 10) que son colocadas en los espolones de los gallos de pelea y conforma un importante mercado.



Figura 10. Espuelas realizadas con el caparazón de *Eretmochelys imbricata* preparadas para la colocación en los gallos de pelea.

14. En conclusión, ¿Cuál cree que será el futuro de las tortugas marinas? ¿Podrán superar los impactos del cambio climático actual?

Báez reitera que las causas de las posibles extinciones no son los efectos del cambio climático en sí mismo, sino la vulnerabilidad de las especies debido a impactos antrópicos. Opina que *Dermochelys coriacea* o *Eretmochelys imbricata* podrían extinguirse en un plazo de 50 años si no se realizan medidas estrictas de protección. Además, considera que los países que más contribuyen al cambio climático son los desarrollados y que, de manera general, el declive de la diversidad biológica se está produciendo en aquellos en vías de desarrollo. Afirma que en el caso concreto de las tortugas marinas, las poblaciones que tienen zonas de puesta en países con planes de gestión (Japón, EE.UU, España o Grecia), como es el caso de *Caretta caretta*, se encuentran en mejor estado de conservación, mientras que las que tienen las playas de puesta en países como Venezuela, Colombia o República del Congo, cada vez se encuentran en peores condiciones por lo que puede dase la circunstancia de que se extingan las poblaciones o incluso las especies de estas zonas.

Por el contrario, Bellido y Camiñas defienden que las tortugas marinas son capaces de adaptarse a los cambios climáticos actuales de manera similar a épocas anteriores.

Afirman que, para ello, será necesario un cambio de actitud por parte del ser humano, de manera que se pueda prestar protección a estos animales y proporcionarles espacio en el ecosistema para que paulatinamente se produzca una adaptación a las nuevas condiciones climáticas. Por esta razón, Bellido considera que la comunidad científica debe ser la responsable de responder a las incógnitas que se plantean en torno al cambio climático y transferir los conocimientos a la administración y la población.

4. Discusión

Las tortugas marinas, debido a su antigüedad, han experimentado drásticas fluctuaciones climáticas desde su origen. Dutton et al., (1999) sugieren que algunas de las extinciones locales de la familia *Dermochelyidae*, incluyendo poblaciones de la aún existente *Dermochelys coriacea*, se han debido a modificaciones en el clima. Actualmente, las siete especies de tortugas marinas están consideradas como vulnerables al cambio climático, principalmente por el importante papel que juega la temperatura en todas las etapas de su vida (Davenport, 1997), aunque se ha observado cierta capacidad de adaptación. Por ejemplo, estudios como el llevado a cabo por Pike et al. (2006) demuestran que *Caretta caretta* modifica su temporada de anidación, de manera que se reproduce con anterioridad cuando la temperatura de la superficie del mar es mayor.

La mayoría de los autores que estudian los posibles efectos del cambio climático en las tortugas marinas, centran su discusión en la posibilidad de que se modifique la proporción de sexos de las crías si cambia la temperatura que alcanzan los nidos, ya que el aumento de la temperatura global puede dar lugar a poblaciones 100% femeninas en determinadas playas. Una modificación extrema de las proporciones de sexos actuales puede ser perniciosa para determinadas poblaciones y causar su declive, además de disminuir la diversidad genética de la misma (Camiñas, comunicación personal). El trabajo de Hamann et al. (2007) recoge que ciertas poblaciones pueden sobrevivir si el porcentaje de hembras permanece dentro de los niveles de éxito de la población, aunque no existen suficientes estudios en los que se detallen cuáles serían esos porcentajes de hembras que podrían soportar las poblaciones, por lo que es probable que algunas se vean amenazadas. No obstante, el estudio de Santidrián et al. (2015b) afirma que esta dependencia del sexo de las crías respecto de la temperatura puede aumentar la resistencia de las tortugas marinas, debido al aumento de la descendencia femenina. Esto incrementa la fecundidad futura y mantiene el crecimiento poblacional, en vez de producirse un aumento de la mortalidad en las primeras etapas de vida como le ocurre a otras especies. Báez (entrevista personal) no comparte esta idea, ya que al no ser animales gregarios, sería complicado que se realizase con éxito un encuentro y fecundación si el número de hembras es mucho mayor. Sin embargo, Bellido (entrevista personal) explica que las tortugas marinas tienen mecanismos de detección gracias a los cuales corregirán ese aumento de temperatura de los nidos colonizando nuevas zonas de anidación.

Este aumento de temperatura causado por el cambio climático podría tener efectos diferentes según los hábitos alimentarios de las tortugas marinas. *Eretmochelys imbricata* podría tener que buscar otro alimento esencial debido al blanqueamiento de los corales. Actualmente no se conoce la causa exacta de este fenómeno, aunque la teoría más aceptada es la elaborada por <u>Iglesias-Prieto et al., (1992)</u>, según la cual la pérdida de pigmento de los corales se produce cuando se daña el fotosistema II de las zooxantelas. Este deterioro, causado por una temperatura elevada de los océanos (<u>Hoegh-Guldberg, 1999</u>), tiene lugar a nivel enzimático y provoca una disminución de la capacidad de los corales para depositar carbonato cálcico, lo que constituye un gran impacto para los ecosistemas marinos.

Por otro lado, las especies Caretta caretta, Lepidochelys olivacea y Dermochelys coriacea, podrían verse beneficiadas debido a que el aumento de temperatura acelera el crecimiento de las medusas y favorece la producción de éfiras (Richardson et al., 2009). Estudios como el realizado por Purcell et al., (2007) confirman esta idea, ya que más del 70% de las especies de medusas analizadas aumentaron su abundancia en función de la temperatura. Otro ejemplo de ello es el análisis de Gibbons & Richardson, (2009), quienes demostraron que las variaciones de abundancia observadas en el Atlántico Norte durante un periodo de 50 años habían sido producidas por cambios en la temperatura, registrándose un mayor número de medusas en los años más cálidos. Esto podría parecer una ventaja sobre el resto de las especies de tortugas marinas, pero es necesario tener en cuenta otros efectos del cambio climático, como la acidificación oceánica. El aumento de la concentración de dióxido de carbono modifica el equilibrio carbónico-carbonato lo que desencadena una bajada de los niveles de pH. Estas condiciones podrían afectar a las poblaciones de medusas, ya que algunas especies de las clases Scyphozoa e Hydrozoa poseen estatolitos de carbonato cálcico que utilizan para orientarse (Richardson et al., 2009). Puede ocurrir que, al disminuir el pH, éstos reaccionen de la misma manera que otras estructuras carbonatadas que se encuentren formando parte del plancton marino, aunque no existen estudios suficientes que demuestren dicho fenómeno (Richardson et al., 2009). Sin embargo, algunas investigaciones realizadas en el mar del Norte, como la llevada a cabo por Attrill et al., (2007), sugieren que la abundancia de medusas aumenta a medida que el mar es más ácido. Esto se debe a que bajo condiciones de pH bajo, el plancton carbonatado se encuentra en menor proporción, por lo que el espacio ecológico disponible es ocupado por los Cnidarios. No obstante, el estudio realizado posteriormente por Richardson & Gibbons, (2008) sobre un área más extensa, mostraba que no existía una relación significativa entre el número de medusas de una zona y el valor de pH de la misma.

El cambio climático, además, tiene otros efectos, como el aumento del nivel del mar y de la frecuencia de los eventos climáticos extremos. Esto, unido a la modificación artificial de la costa, repercute negativamente en las poblaciones de tortugas marinas ya que provoca la pérdida de playa, viéndose especialmente afectadas aquellas playas cuya franja de arena sea menor y estén desprovistas de vegetación. Consecuentemente, se reduce la disponibilidad de áreas óptimas para la anidación y el éxito reproductivo se ve amenazado (Poloczanska et al., 2009). Este hecho podría no afectar a todas las especies de la misma manera, ya que existen evidencias de que Eretmochelys imbricata anida entre vegetación, en playas con pendientes escarpadas y de difícil acceso, disminuyendo así el riesgo de depredación de las crías (Horrocks & Scott, 1991). Dicho hábito podría beneficiarlas ante el cambio climático, pues son playas menos vulnerables a un aumento del nivel del mar. Sin embargo, no se conocen con exactitud los efectos que tendrá dicho aumento del nivel del mar en las distintas especies de tortugas marinas. Es posible pensar que encuentren dificultades para cambiar la ubicación de los nidos debido a su fidelidad a las playas de anidación. Sin embargo, durante las épocas en las que el clima era más extremo que el actual, las tortugas marinas han colonizado nuevas playas tras perder las áreas de anidación habituales (Poloczanska et al., 2009). Por ejemplo, tal y como recoge el estudio de Dethmers et al. (2006), tortugas de la especie Chelonia mydas modificaron la posición de los nidos en diferentes temporadas de anidación, utilizando su capacidad de rastrear los cambios producidos en los ambientes costeros para determinar la ubicación de los nidos en cada temporada. De esta manera, la pérdida vaticinada de los espacios de anidación podría quedar compensada.

Los efectos del cambio climático actual pueden disminuir la resiliencia de las tortugas marinas al combinarse con otros factores estresantes de origen antropogénico, como la contaminación, la captura accidental, la eutrofización o el desarrollo costero (Santidrián et al., 2015b), o la captura para la comercialización del caparazón (Báez, entrevista personal) que ponen en peligro sus áreas de alimentación y de reproducción. Esto se observa en la disminución paulatina de las praderas oceánicas y de arrecifes de coral (Waycott et al., 2009), provocada por la pérdida de calidad del agua debido a los cambios en los usos del suelo, a la aparición de especies invasoras y al desarrollo antropogénico de las zonas cercanas a la costa.

Las tortugas marinas han superado con éxito diferentes modificaciones climáticas a lo largo de periodos geológicos debido a su capacidad adaptativa. Por ello, es posible que modifiquen sus hábitos de alimentación, distribución o puesta, con el fin de disminuir los efectos que el cambio climático produce en ellas. Dichos efectos se están manifestando a gran

velocidad, lo que puede ser un problema si el ritmo de modificación del comportamiento de las especies es inferior. Además, es necesario tener en cuenta que la gran presión antrópica que soportan está mermando su capacidad adaptativa, lo que puede producir la extinción de aquellas poblaciones que actualmente se encuentran más amenazadas o la extinción de la propia especie.

En consecuencia, la mejor medida de conservación de las tortugas marinas es la reducción de los impactos provocados por el ser humano mediante la educación, el control de la captura de ejemplares adultos y la limitación del uso de las playas de anidación. De esta manera, las especies serán capaces de adaptarse a las condiciones naturales provocadas por el cambio climático.

5. Propuesta de medidas de actuación

5.1. Antecedentes

El manejo de las poblaciones de tortugas marinas requiere un esfuerzo a nivel mundial para reducir y amortiguar los impactos del cambio climático. Las actuaciones realizadas hasta la actualidad varían en función de los procesos climáticos (Tabla 4). Se han centrado en las playas de anidación, debido a su accesibilidad, y a escala local han sido desarrolladas diferentes estrategias como el sombreado de los nidos para mantenerlos a menor temperatura. Entre las principales medidas de conservación destaca la reubicación de los huevos, para evitar la depredación y el deterioro de los mismos por condiciones climáticas adversas (Patino-Martínez, 2013). Dicha recolocación puede producirse dentro de la misma playa, situando los nidos en zonas menos vulnerables, o por el contrario, trasladando la nidada completa a incubadoras artificiales (Hamann et al., 2007). Esta labor, aunque es efectiva, puede interferir en la capacidad natural de las poblaciones de tortugas marinas para responder a los cambios climáticos (Mrosovsky, 2006). Se han detectado problemas como la fluctuación intra e interanual de las tasas de eclosión, la disminución del éxito de nacimiento o la asincronía en la emergencia (Piedra et al., 2007). Estos inconvenientes surgen principalmente por el movimiento de los huevos en el transporte, además aumenta la posibilidad de infección por hongos o microorganismos debido a la gran densidad de huevos existente en los viveros (Patino-Martínez, 2013).

Tabla 4. Posibles estrategias de gestión del hábitat de las tortugas en función del proceso climático que se produzca. Fuente: <u>Fuentes & Cinner (2010)</u>, elaboración propia.

Proceso climático	Estrategias de gestión
	Programas de revegetación
Incremento de la temperatura de la	Sombreado de los nidos
arena	Recolocación de los nidos en otra zona de la playa
	Incubación artificial de los huevos en criaderos
Aumento del nivel del mar	Aumento artificial de la zona de arena existente
	Creación de zonas de anidación
	Modificación de la costa con infraestructuras
	Incubación artificial de los huevos en criaderos

Episodios climáticos extremos	Recolocación de los nidos
(Tormentas, oleaje y ciclones)	Incubación artificial de los huevos en criaderos

5.2. Propuestas de gestión

La correcta gestión de las tortugas marinas y sus hábitats es imprescindible para paliar las consecuencias naturales del cambio climático actual y debe complementarse con actuaciones enfocadas a reducir la presión antrópica que soportan, debido a que ésta constituye la principal causa de amenaza. Todas las estrategias de gestión deben ser adecuadas para la zona en la que se realicen y adaptarse a los requerimientos de las poblaciones de tortugas marinas. Además, ya que los impactos no influyen de manera independiente, han de asumirse diferentes enfoques de forma que las estrategias se complementen entre sí.

En primer lugar, es necesario reducir el estrés producido por los seres humanos a los ejemplares reproductores, ya que son los que mantienen las poblaciones de tortugas marinas. Las redes fantasma, la captura accidental o premeditada y la luminosidad excesiva de la costa son los principales impactos a los que se ven sometidas. Se proponen como medidas principales la formación de los empleados de la industria pesquera, para conocer la biología y comportamiento de las especies de tortugas marinas que se encuentren en la zona y, así, poder adecuar las artes de pesca en función de los momentos del año con el objeto de reducir las incidencias con estos animales sin interferir en exceso en la economía de estas empresas. Unido a ello, es necesario evitar el abandono de las redes en el océano, pues constituye un peligro real para las tortugas marinas y otros animales que pueden quedar atrapados en ellas.

Para evitar la captura de las hembras en el momento de arribar, es preciso realizar una mayor vigilancia nocturna en las playas de anidación. Además, se debe informar y concienciar a la población del perjuicio causado en las tortugas marinas a nivel poblacional al capturar ejemplares adultos para el consumo de su carne, extracción de aceites o utilización del caparazón. En consecuencia, si disminuye la demanda, se reducirán este tipo de acciones.

Por otro lado, es necesario limitar las construcciones cercanas a las playas de anidación así como su luminosidad, ya que provocan desorientación en las hembras en el momento de la puesta. Algunas de estas playas son importantes focos turísticos debido a las características de la misma, por lo que evitar el acceso de los residentes y turistas podría deteriorar la economía de la zona. Por ello, es importante conseguir una convivencia entre las

tortugas marinas y la población, mediante la limitación de la entrada a las zonas cercanas a los nidos, que deberán estar señalizados y cercados para su protección (Figura 11), así como informar a los turistas de la importancia de respetar y proteger a estos animales, marcando unas sencillas pautas para evitar cualquier tipo de perturbación, además de las consecuencias legales que pueden conllevar el incumplimiento de estas medidas.



Figura 11. Cercado de protección de nidos de tortugas marinas en Florida. Fuente: Florida Fish and Wildlife Conservation Commission.

Del mismo modo, es necesario paliar los impactos naturales asociados al cambio climático en las playas de anidación, para poder garantizar unas condiciones óptimas en la incubación de los huevos. Con este fin, es posible realizar rellenos de arena que compensen la pérdida de playa tras los episodios climáticos extremos, aumentar la vegetación de las zonas dunares para contribuir a su fijación y proporcionar sombra a los nidos manteniendo así una menor temperatura.

Debido a la amplia distribución de las tortugas marinas, es imprescindible la cooperación internacional para la protección de las áreas actualmente más afectadas y las susceptibles de ser colonizadas a medida que avance el cambio climático. Esto puede suponer un problema debido a la incertidumbre actual sobre cuáles serán las zonas óptimas para la anidación en un futuro, por lo que se precisará de la colaboración entre técnicos, científicos y representantes políticos. Dichos colectivos deberán permanecer informados sobre los impactos que el cambio climático actual pueda provocar en las tortugas marinas, con el fin de planificar las acciones requeridas para su amortiguación. Solo así será posible transmitir a la población la importancia de respetar y conservar estas especies para que sigan siendo tan icónicas como hasta ahora.

6. Agradecimientos

Agradezco al Dr. Juan Jesús Bellido, Dr. Juan Antonio Camiñas y Dr. José Carlos Báez su tiempo y conocimientos transmitidos, que han sido esenciales para enriquecer este trabajo y permitirme interiorizar los aspectos tratados, así como agradecer al Dr. Juan Manuel Ayllón su ayuda para elaborar el apartado relativo a la normativa. Por último, dar las gracias a mi tutor, el Dr. Raimundo Real por su guía y apoyo a lo largo de la realización de este trabajo.

7. Referencias bibliográficas

Ackerman, R. A. (1997). The nest environment and the embryonic development of sea turtles. En: Lutz, P. L., & Musick, J. A. (Eds.). *The biology of sea turtles I* (pp. 83-106). Nueva York: CRC Press.

Ahrens, C. D. (2012). *Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment*. Canada: Cengage Learning. 567pp.

Anthony, K. R., Kline, D. I., Diaz-Pulido, G., Dove, S., & Hoegh-Guldberg, O. (2008). Ocean acidification causes bleaching and productivity loss in coral reef builders. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(45):17442-17446.

Attrill, M. J., Wright, J., & Edwards, M. (2007). Climate-related increases in jellyfish frequency suggest a more gelatinous future for the North Sea. *Limnology and Oceanography*, 52:480-485.

Báez, J. C. (2007). Elaboración de propuestas para reducir las capturas incidentales de tortuga boba Caretta caretta (Linnaeus, 1758) en palangre de superficie en el Mediterráneo suroccidental. Tesis Doctoral, Universidad de Málaga, Málaga.

Bennett, K. D. (1990). Milankovitch cycles and their effects on species in ecological and evolutionary time. *Paleobiology*, 16:11-21.

Bentivegna, F., Valentino, F., Falco, P., Zambianchi, E., & Hochscheid, S. (2007). The relationship between loggerhead turtle (*Caretta caretta*) movement patterns and Mediterranean currents. *Marine Biology*, 151:1605-1614.

Binckley, C. A., Spotila, J. R., Wilson, K. S., & Paladino, F. V. (1998). Sex determination and sex ratios of Pacific leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*. *Copeia*, 2:291-300.

Bjorndal, K. A. (1980). Nutrition and grazing behavior of the green turtle *Chelonia mydas*. *Marine Biology*, 56(2):147-154.

Bowen, B. W., Grant, W. S., Hillis-Starr, Z., Shaver, D. J., Bjorndal, A., Bolten, A. B., & Bass, A. L. (2007). Mixed-stock analysis reveals migrations of juvenile hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) in the Caribbean Sea. *Molecular Ecology*, 16:49-60.

Bradley, R. S., & Jones, P. D. (1993). 'Little Ice Age' Summer temperatures variations: their nature and relevance to recent global warming trends. *The Holocene*, 3:367-376.

Bradley, R. S., Briffa, K. R., Cole, J., Hughes, M. K., & Osborn, T. J. (2003). The Climate of the Last Millennium. En: Alverson, K. D., Pedersen, T. F., & Bradley, R. S. (Eds). *Paleoclimate, Global Change and the Future* (pp. 105-141). Berlin: Springer.

Brongersma, L. D. (1972). European Atlantic Turtles. Zoologische Verhandelingen, 121:1-318.

Camiñas, J. A. (1998). Is the leatherback (*Dermochelys coriacea* Vandelli, 1761) a permanent species in the Mediterranean Sea? *Rapp. Comm. Int. Mer Medit*, 35:388-389.

Camiñas, J. A. (2002). Estatus y Conservación de las tortugas marinas en España. En: Pleguezuelos, J. M., Márquez, R., & Lizana, M. (Eds.). *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España* (pp. 386-420). Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza.

Carreras, C., Pont, S., Maffucci, F., Pascual, M., Barceló, A., Bentivegna, F., et al. (2006). Genetic structuring of immature loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the Mediterranean Sea reflects water circulation patterns. *Marine Biology*, 149:1269-1279.

Casas-Andreu, G., & Gómez-Aguirre, S. (1980). Contribución al conocimiento de los hábitos alimenticios de *Lepidochelys olivacea* y *Chelonia mydas agassizi* (Reptilia, Cheloniidae) en el Pacífico Mexicano. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 29(2):87-89.

Cortés, J., Murillo, M. M., Guzmán, H. M., & Acuña, J. (1984). Pérdida de zooxantelas y muerte de corales y otros organismos arrecifales en el Caribe y Pacífico de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 32(2):227-231.

Davenport, J. (1997). Temperature and life-history strategies of sea turtles. *Journal of Thermal Biology*, 22:479-488.

Denman, K. L., Brasseur, G., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P. M., Dickinson, R. E., et al. (2007). Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. En: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., et al. (Eds.). *Climate Change* 2007: *The Physical Science Basis* (pp. 501-568). Cambridge: Cambridge University Press.

Dethmers, K. E. M., Broderick, D., Moritz, C., Fitzsimmons, N. N., Limpus, C. J., Lavery, S., Whiting, S., Guinea, M., Prince, R. I. T., & Kennett, R. (2006). The genetic structure of Australasian green turtles (*Chelonia mydas*): Exploring the geographical scale of genetic exchange. *Molecular Ecology*, 15:3931–3946.

Dodd, C. K. Jr. (1988). Synopsis of the biological data on the Loggerhead Sea Turtle *Caretta caretta* (Linnaeus 1758). U.S. Fish and Wildlife Service. *Biological Report*, 88(14):1-110.

Duarte, C. M. (2015). Global change and the future ocean: a grand challenge for marine sciences. *Frontiers in Marine Science*, 1:1-16.

Dutton, P. H., Bowen, B. W., Owens, D. W., Barragan, A., & Davis, S. K. (1999). Global phylogeography of the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*). *Journal of Zoology*, 248:397–409.

Eckert, K. L., & Eckert, S. A. (1988). Pre-Reproductive Movements of Leatherback Sea Turtles (*Dermochelys coriacea*) Nesting in the Caribbean. *Copeia*, 2:400-406.

Eckert, S. A., Eckert, K. L., Ringanis, P., & Kooyman, G. L. (1989). Diving and foraging behavior of leatherback sea turtles (*Dermochelys coriacea*). *Canadian Journal of Zoology*, 67:2834-2840.

Ferri V. (2001). Tortugas y Galápagos. Barcelona: Grijalbo. 255pp.

Ferwerda, J. G., de Leeuw, J., Atzberger, C., & Vekerdy, Z. (2007). Satellite-based monitoring of tropical seagrass vegetation: Current techniques and future developments. *Hydrobiologia*, 591:59-71.

Firth, P., y Fisher, S. G. (Eds.). (1992). *Global climate change and freshwater ecosystems*. Nueva York: Springer Science & Business Media. 321pp.

Foley, A. M., Peck, S. A., & Harman, G. R. (2006). Effects of sand characteristics and inundation on the hatching success of loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) clutches on low-relief mangrove islands in southwest Florida. *Chelonian Conservation and Biology*, 5:32-41.

Fonseca, A. C. (2011). Efectos del cambio climático en la anidación de lass tortugas marinas. *Revista de ciencias ambientales*, 41:11-18.

Fuentes, M. M. P. B., & Cinner, J. E. (2010). Using expert opinion to prioritize impacts of climate change on sea turtles' nesting grounds. *Journal of Environmental Management*, 91:2511-2518.

Fuentes, M. M. P. B., Limpus, C. J., & Hamman, M. (2011). Vulnerability of sea turtle nesting grounds to climate change. *Global Change Biology*, 17:140-153.

Gaffney, E. S., & Meylan, P. A. (1988). A phylogeny of turtle. En: Benton, M. J. (Ed.), *The Phylogeny and Classification of Tetrapods* (pp. 157-219). Clarendon Press.

Gibbons, M. J., & Richardson, A. J. (2009). Patterns of jellyfish abundance in the North Atlantic. *Hydrobiologia*, 616(1):51-65.

Girard, C., Sudre, J., Benhamou, S., Roos, D., & Luschi, P. (2006). Homing in green turtles *Chelonia mydas*: Oceanic currents act as a constraint rather than as an information source. *Marine Ecology Progress Series*, 322:281-289.

Guinotte, J. M., & Fabry, V. J. (2008). Ocean acidification and its potential effects on marine ecosystems. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134(1):320-342.

Hamann, M., Limpus, C. J., & Read, M. A. (2007). Vulnerability of marine reptiles in the Great Barrier Reef to climate change. En: Johnson, J. E. y Marshall, P. A. (Eds). *Climate Change and the Great Barrier Reef* (pp. 466-496). Australia: Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office.

Hartmann, D. L. (2015). Global physical climatology. Seattle: Elsevier. 487pp.

Hawkes, L. A., Broderick, A. C., Godfrey, M. H., & Godley, B. J. (2009). Climate change and marine turtles. *Endangered Species Research*, 7:137-154.

Hewavisenthi, S., & Parmenter, C. J. (2002). Incubation environment and nest success of the flatback turtle (*Natator depressus*) from a natural nesting beach. *Copeia*, 2002(2):302-312.

Hickman, C. P., Roberts, L. S., & Larson, A. (1997). *Integrated principles of zoology*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España. 921pp.

Hirayama, R. (1998). Oldest known sea turtle. *Nature*, 6677:705-708.

Hoegh-Guldberg, O. (1999). Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and Freshwater Research*, 50:839-866.

Horrocks, J. A., & Scott, N. McA. (1991). Nest site location and nest success in the Hawksbill turtle *Eretmochelys imbricata* in Barbados, West-Indies. *Marine Ecology Progress Series*, 69(1):1-8.

Iglesias-Prieto, R., Matta, J. L., Robins, W. A., & Trench, R. K. (1992). Photosynthetic response to elevated temperature in the symbiotic dinoflagellate *Symbiodinium microadriaticum* in culture. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 89(21):10302-10305

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). Climate change 2013: the physical science basis. En: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M. B., Allen, S. K., Boschung, J., et al. (Eds.). *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel On Climate Change* (pp. 5-14). Cambridge: University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014–Impacts*, *Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects*. Cambridge: University Press. 1820pp.

Koshkarova, V. L., & Koshkarov, A. D. (2004). Regional signatures of changing landscape and climate of northern central Siberia in the Holocene. *Russian Geology and Geophysics*, 45:672-685.

León, Y. M., & Bjorndal, K. A. (2002). Selective feeding in the hawksbill turtle, an important predator in coral reef ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 245:249-258.

Limpus, C. J., Villiers, D. L., Villiers, M. A., Limpus, D. J., & Read, M. A. (2001). The loggerhead turtle, *Caretta caretta* in Queensland: Observations on feeding ecology in warm temperate waters. *Memoirs of the Queensland Museum*, 46:631-645.

Lohmann, K. J. (2007). Sea turtles: Navigating with magnetism. *Current Biology*, 17:102-104.

Lohmann, K. J., Lohmann, C. M., Brothers, J. R., & Putman, N. F. (2013). Natal homing and imprinting in sea turtles (pp. 59-77). En: Lutz, P. L., & Musick, J. A. (Eds.). *The biology of sea turtles III* (pp. 59-77). Boca Raton: CRC Press.

Lundin, C. G., & Lindén, O. (2007). Predation on the zoanthid *Palythoa caribaeorum* (Anthozoa, Cnidaria) by a Hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) in Southeastern Brazil. *Marine Turtle Newsletter*, 1:117.

Márquez, R. (1996). *Las tortugas marinas y nuestro tiempo*. México: Fondo de Cultura Económica. 104pp.

Maslin, M. (2016). In retrospect: Forty years of linking orbits to ice ages. *Nature*, 540:208-210.

Mazaris, A. D., Kallimanis, A. S., Sgardelis, S. P., & Pantis, J. D. (2008). Do long-term changes in sea surface temperature at the breeding areas affect the breeding dates and reproduction performance of Mediterranean loggerhead turtles? Implications for climate change. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 367:219-226.

Mazaris, A. D., Mastinos, G., & Pantis, J. D. (2009). Evaluating the impacts of coastal squeeze on sea turtle nesting. *Ocean Coast Manage*, 52:139-145.

McMahon, C. R., & Hays, G. C. (2006). Thermal niche, large-scale movements and implications of climate change for a critically endangered marine vertebrate. *Global Change Biology*, 12:1330-1338.

Meylan, A. B., & Meylan, P. A. (2000). Introducción a la Evolución, Historias de Vida y Biología de las Tortugas Marinas. En: Eckert, K. L., Bjorndal, K. A. Abreu-Grobois, F. A., & Donnelly, M. (Eds). *Técnicas de Investigación y Manejo para la Conservación de las Tortugas Marinas* (pp. 3-6). Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE 4.

Milankovitch, M. (1930). *Mathematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen* (Teoría matemática del clima y teoría astronómica de las fluctuaciones del clima). Vol. I del Handbuch der Klimatologie (Manual de climatología) der Köppen & Geiger, Berlín: Gebrueder Borntraeger. 176pp.

Miller, J. D. (1997). Reproduction in sea turtles. En: Wynekn, J., Lohmann, K. J., & Musick, J. A. (Eds.). *The biology of sea turtles III* (pp. 51-58). Boca Raton: CRC Press.

Mrosovsky, N. (1988). Pivotal temperatures for loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from northern and southern nesting beaches. *Canadian Journal of Zoology*, 66(3):661-669.

Mrosovsky, N. (1994). Sex ratios of sea turtles. *Journal of Experimental Zoology*, 270:16-27.

Mrosovsky, N. (2006). Distorting gene pools by conservation: Assessing the case of doomed turtle eggs. *Environmental Management*, 38:523–531.

Mrosovsky, N., & Pieau, C. (1991). Transitional range of temperature. pivotal temperatures and thermosensitive stages for sex determination in reptiles. *Amphibia-Reptilia*, 12:169-179.

Mrosovsky, N., & Yntema, C. L. (1980). Temperature dependence of sexual differentiation in sea turtles: Implications for conservation practices. *Biological Conservation*, 18:271-280.

Mrosovsky, N., Bass, A., Corliss, L. A., Richardson, J. A., & Richardson, T. H. (1992). Pivotal and beach temperatures for hawksbill turtles nesting in Antigua. *Canadian Journal of Zoology*, 70:1920-1925.

Normile, D. (2016). El Niño's warmth devastating reefs worldwide. *Science*, 352(6281):15-16.

Ogden, J. C., Robinson, L., Whitlock, K., Daganhardt, H., & Cebula, R. (1983). Diel foraging patterns in juvenile green turtles (*Chelonia mydas* L.) in St. Croix United States Virgin Islands. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 66(3):199-205.

Palacios, S. L., & Zimmerman, R. C. (2007). Response of eelgrass Zostera marina to CO₂ enrichment: possible impacts of climate change and potential for remediation of coastal habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 344:1-13.

Patino-Martínez, J. (2013). Las tortugas marinas y el cambio global. *Munibe Monographs*. *Nature Series*, 1:99-105.

Piedra, R., Velez, E., Dutton, P. H., Possardt, E., & Padilla, C. (2007). Nesting of the Leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*) from 1999–2000 through 2003–2004 at Playa Langosta, Parque Nacional Marino Las Baulas de Guanacasta, Costa Rica. *Chelonian Conservation and Biology*, 6(1):111-116.

Pike, D. A., Antworth, R. L., & Stiner, J. C. (2006). Earlier nesting contributes to shorter nesting seasons for the loggerhead seaturtle, *Caretta caretta*. *Journal of Herpetology*, 40:91-94.

Poloczanska, E. S., Limpus, C. J., & Hays, G. C. (2009). Vulnerability of marine turtles to climate change. *Advances in marine biology*, 56:151-211.

Pritchard, P. C. H. (1997). Evolution, phylogeny and current status. En: Lutz, P. L., & Musick, J. A. (Eds.). *The biology of sea turtles I* (pp. 1-28). Nueva York: CRC Press.

Purcell, J. E., Uye, S. I., & Lo, W. T. (2007). Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. *Marine Ecology Progress Series*, 350:153-174.

Raven, J., Caldeira, K., Elderfield, H., Hoegh-Guldberg, O., Liss, P., Riebesell, U. et al. (2005). *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*. Londres: The Royal Society. 60pp.

Richardson, A. J., Bakun, A., Hays, G. C., & Gibbons, M. J. (2009). The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. *Trends in ecology & evolution*, 24(6):312-322.

Richardson, A. J., & Gibbons, M. J. (2008). Are jellyfish increasing in response to ocean acidification?. *Limnology and Oceanography*, 53(5):2040-2045.

Santidrián, P., Genovart, M., Paladino, F. V., Spotila, J. R., & Oro, D. (2015b). Climate change overruns resilience conferred by temperature-dependent sex determination in sea turtles and threatens their survival. *Global change biology*, 21(8):2980-2988.

Santidrián, P., Saba, V. S., Lombard, C. D., Valiulis, J. M., Robinson, N. J., & Paladinao, F. V. et al. (2015a). Global analysis of the effect of local climate on the hatchling output of leatherback turtles. *Scientific Reports* 5, 16789.

Secretaría CIT (2004). Una Introducción a las Especies de Tortugas Marinas del Mundo. Costa Rica.

Shaver, D. J. (1991). Feeding ecology of wild and head-started Kemp's ridley sea turtles in south Texas waters. *Journal of Herpetology*, 25(3):327-334.

Shaver, D. J., Owens, D. W., Chaney, A. H., Caillouet, C. W., Burchfield, P., & Márquez, R. (1988). Styrofoam box and beach temperatures in relation to incubation and sex ratios of Kemp's ridley sea turtles. En: Schroeder, B. A. *The Eighth Annual Workshop on Sea Turtle Conservation and Biology*. (pp. 103-108). NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFC-214.

Shine, R., & Brown, G. P. (2008). Adapting to the unpredictable: Reproductive biology of vertebrates in the Australian wet–dry tropics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1490):363-373.

Stauber, J. L., Chariton, A., & Apte, S. (2016). Global change. En: Blasco, J., Chapman, P. M., Campana, O., & Hampel M. (Eds.). *Marine Ecotoxicology. Current knowledge and future issues* (pp. 273-323). Amsterdam: Academic Press.

Tarasova, O., Vermeulen, A., & Ueno, M. (2017). The state of greenhouse gases in the atmosphere using global observations through 2015. *General Assembly Conference Abstracts*, 19:8824.

Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Madrid: Pearson. 736pp.

Viñas, J. M. (2005). ¿Estamos cambiando el clima? Murcia: Equipo Sirius. 182pp.

Viñas, J. M. (2013). El clima de la Tierra a lo largo de la Historia. En: Romá, A. A. *Clima, naturaleza y desastre. España e Hispanoamérica durante la Edad Moderna* (pp. 225-239). Valencia: Universitat de València.

Waycott, M., Duarte, C. M., Carruthers, T. J., Orth, R. J., Dennison, W. C., Olyarnik, S. et al. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(30): 12377-12381.

Wibbels, T., Rostal, D. C., & Byles, R. (1998). High pivotal temperature in the sex determination of the olive ridley sea turtle from Playa Nancite, Costa Rica. *Copeia*, 4:1086-1088.

Woodroffe, C. D. (2008). Reef-island topography and the vulnerability of atolls to sea-level rise. *Global Planet Change*, 62:77-96.

Anexo I. Marco normativo

1. Marco normativo relativo a las tortugas marinas y su hábitat

1.1. Nacional:

- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y Biodiversidad.
 - Anexo II. Especies animales y vegetales de interés comunitario para cuya conservación es necesario designar zonas especiales de conservación. Se incluyen las especies Caretta caretta y Chelonia mydas indicadas como especies prioritarias.
 - Anexo V. Especies animales y vegetales de interés comunitario que requieren una protección estricta.
 Se incluyen las cinco especies de tortugas marinas presentes en España (Caretta caretta, Chelonia mydas, Eretmochelys imbricata, Dermochelys coriacea y Lepidochelys kempii).
- Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas.
 - Anexo. Relación de Especies incluidas en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y en su caso, en el Catálogo Español de Especies Amenazadas. Se incluyen las cinco especies de tortugas marinas presentes en España.

Debido al hábitat de las tortugas marinas y al uso de las playas en los momentos de anidación es preciso destacar las siguientes normativas que regulan dichos espacios:

- Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.
- Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de protección del medio marino.
- Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.
- Real Decreto 363/2017, de 8 de abril, por el que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo.

1.2. Internacional:

- Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES).
 - Apéndice I. Especies sobre las que se cierne el mayor grado de peligro entre las especies de fauna y flora incluida en los Apéndices CITES. Se incluyen todas las especies existentes de tortugas marinas: Caretta caretta, Chelonia mydas, Eretmochelys imbricata, Dermochelys coriacea, Lepidochelys olivacea, L. kempii y Natator depressus.
- Directiva Hábitats. D92/43/CEE de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.
 - Anexo II. Especies animales y vegetales de interés comunitario para cuya conservación es necesario designar Zonas de Especial Conservación. Se encuentra la especie Caretta caretta.
 - O Anexo IV. Especies animales y vegetales de interés comunitario que requieren una protección estricta. Caretta caretta, Chelonia mydas, Dermochelys coriacea, Eretmochelys imbricata y Lepidochelys kempii.
- Convenio relativo a la conservación de la vida silvestre y del medio natural en Europa (Convenio de Berna).
 - Anexo II. Especies de fauna estrictamente protegidas. Aparecen las especies Caretta caretta, Chelonia mydas, Dermochelys coriacea, Eretmochelys imbricata y Lepidochelys kempii.
- Convenio de Barcelona para la protección del mar Mediterráneo de la contaminación.
 - Anexo II. Lista de especies en peligro o amenazadas. En él se incluyen las especies Caretta caretta, Chelonia mydas, Dermochelys coriacea, Eretmochelys imbricata y Lepidochelys kempii.
- Convención sobre la conservación de las especies migratorias de animales silvestres (Convenio de Bonn).
 - O Anexo I. Especies migratorias que se consideran amenazadas. Aparecen las especies *Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata*, *Dermochelys coriacea*, *Lepidochelys olivacea* y *L. kempii*.
 - Anexo II. Especies migratorias que deban ser objeto de acuerdos. Se incluyen todas las especies de tortugas marinas.

2. Marco normativo relativo al cambio climático

2.1. Nacional:

- Ley 7/1994, de 11 de mayo, sobre participación de España en el Fondo para el Medio Ambiente Mundial.
- Real Decreto-ley 5/2004, de 27 de agosto, por el que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.
- Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- Ley 13/2010, de 5 de julio, por la que se modifica la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, para perfeccionar y ampliar el régimen general de comercio de derechos de emisión e incluir la aviación en el mismo.
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.
- Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Real Decreto-ley 17/2012, de 4 de mayo, de medidas urgentes en materia de medio ambiente.
- Real Decreto 163/2014, de 14 de marzo, por el que se crea el registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono.

2.2. Internacional:

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Para que la aplicación de la Convención sea efectiva, se elaboran decisiones que han de ser aprobadas por todas las Partes por consenso en las Conferencias de las Partes (COP).

- O Protocolo de Kyoto: Decisión del Consejo 2002/358/CE, de 25 de abril de 2002, relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo.
- o Acuerdo de París (2015).

- Directiva 2001/80/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 23 de octubre de 2001, sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión.
- Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2003, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte.
- Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE.
- Directiva 2004/101/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2004, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad con respecto a los mecanismos de proyectos del Protocolo de Kioto.
- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.
- Directiva 2009/29/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.
- Directiva 2009/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, por la que se modifica la Directiva 98/70/CE en relación con las especificaciones de la gasolina, el diésel y el gasóleo, se introduce un mecanismo para controlar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se modifica la Directiva 1999/32/CE del Consejo en relación con las especificaciones del combustible utilizado por los buques de navegación interior y se deroga la Directiva 93/12/CEE.