
CAMBIO CLIMÁTICO Y AMNIOTAS MARINOS: EVIDENCIAS, HIPÓTESIS E INCERTIDUMBRE

PABLO DEL MONTE-LUNA
y SALVADOR EMILIO LLUCH-COTA

RESUMEN

Los ecosistemas marinos están respondiendo al cambio climático y en todos los mares del mundo se registran ejemplos que lo demuestran. Aunque no existe un efecto unívoco del cambio climático en los amniotas marinos, los estudios indican que hay tres tipos de respuestas interdependientes entre sí: cambios en la distribución (intervalos geográficos), cambios fenológicos (sincronización de actividades estacionales) y cambios en la dinámica trófica. Si la temperatura del mar se elevase, los patrones esperados son que las especies de amniotas marinos tropicales amplíen su distribución y que las templadas se muevan a latitudes más altas; los eventos reproductivos tenderán a adelantarse y los tiempos migratorios a retrasarse.

Así mismo, el espectro de la dieta de algunas especies tenderá a cambiar progresivamente, sobre todo en aquellas que están más cercanas a la base de la pirámide trófica. Se espera que las especies estrictamente polares y las endémicas sean las más afectadas. Sin embargo, los niveles de confianza de que dichos patrones se cumplan en virtud de que sean un efecto unívoco del cambio climático, son bajos. En los amniotas marinos es más probable que los efectos del cambio climático a nivel de especie estén relacionados a procesos que dependen de variaciones en el clima, tanto de origen natural como humano, tales como los cambios en la estructura del hábitat (hielo marino) y disponibilidad de alimento.

La literatura disponible que trata acerca de los efectos del cambio climático en las especies marinas es vasta (Harley *et al.*, 2006). Análisis recientes sugieren que algunas especies marinas de aves, mamíferos y tortugas ya están respondiendo a las anomalías observadas en el clima oceánico (Visser y Both, 2005; Barbraud y Weimerskirch, 2006) atribuibles, al menos en parte, a las actividades humanas (Hughes, 2000). Sin embargo, la información acerca de cuan consistente y congruente es dicha respuesta entre y dentro de distintos grupos

de organismos marinos alrededor del mundo, en muchos casos es insuficiente e incluso contradictoria (Robinson *et al.*, 2005; Chambers *et al.*, 2009).

La mayoría de las investigaciones coinciden en que el cambio climático afecta a las especies marinas a través de tres procesos interrelacionados: distribución (cambios en el ámbito geográfico), fenología (temporalidad de las actividades estacionales) y relaciones tróficas (modificaciones en la dinámica del sistema depredador-presa). Se espera que la alteración de estos procesos inevitablemente afecte la com-

petencia y otras interacciones biológicas entre especies, con las consecuentes variaciones en la abundancia poblacional (Hughes, 2000). Sin embargo, diferentes poblaciones marinas están respondiendo en formas no previstas, o a factores ambientales cuya importancia no había sido considerada. El presente trabajo no es una documentación exhaustiva de la respuesta de todas las especies de amniotas marinas en el mundo ante el cambio climático, sino una revisión y discusión de ejemplos representativos de dichos efectos en aves, mamíferos y tortugas marinas.

PALABRAS CLAVE / Calentamiento Global / Ciclos Climáticos / Ecosistemas Marinos / Variabilidad Natural /

Recibido: 13/11/2012. Modificado: 21/11/2013. Aceptado: 21/11/2013.

Pablo del Monte-Luna. Biólogo Marino, Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), México. Maestro y Doctor en Ciencias, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. Investigador, CICIMAR-IPN, México. Dirección: Laboratorio de Dinámica y Manejo de Ecosistemas Acuáticos, CICIMAR. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n Col. Playa Palo de Santa Rita. AP 592, CP 23096, La Paz, BCS, México. e-mail: pdelmontel@ipn.mx

Salvador Emilio Lluch-Cota. Biólogo Marino, UABCS, México. Maestro en Ciencias, CICIMAR-IPN, México. Doctor en Ciencias, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), México. Investigador, CIBNOR, México. e-mail: slluch@cibnor.mx

Aves Marinas

Se han propuesto potenciales efectos del cambio climático para dos de los grandes grupos de aves marinas: las migratorias y las de distribución restringida. Para el primer caso, que incluye las aves que dependen de distintos sitios a lo largo de sus rutas migratorias (movimientos estacionales), se argumenta que son vulnerables ya que una modificación en cualquiera de estos lugares provocaría reducciones en sus poblaciones (Robinson *et al.*, 2005). De manera similar, para el segundo grupo, se espera que aquellas aves que actualmente dependen de los recursos y condiciones en zonas particulares, y que por lo tanto presentan una distribución geográfica restringida y plasticidad fenotípica limitada, sean particularmente sensibles a cambios ambientales que ocurran en estos hábitats (Chambers *et al.*, 2005; Grémillet y Boulinier, 2009).

Cabe destacar que en el caso de aves no migratorias pero de amplia distribución, los impactos propuestos son comparables a aquellos de las especies de distribución restringida, pero con efectos a nivel de unidades poblacionales. Ejemplo de esto es el Plan de Acción para el pelicano café (FFWCC, 2013).

Un patrón que ha sido observado en algunas aves migratorias, incluyendo especies terrestres y marinas de afinidad tanto templada como tropical, es que la ubicación promedio de sus áreas reproductivas y no reproductivas se está desplazando hacia latitudes más altas (Robinson *et al.*, 2005; La Sorte y Jetz, 2010). Un caso notable y continuamente citado es la invasión de la garceta común *Egretta garzetta* desde Europa continental a las Islas Británicas, donde originalmente era sólo un visitante ocasional (Musgrove, 2002). También hay registros de que el ámbito geográfico promedio de aves playeras migratorias como el playero blanco (*Calidris alba*) y el chorlo anillado común (*Charadrius hiaticula*), que solían invernar en el suroeste de Gran Bretaña, se está desplazando hacia la costa este, cerca de sus áreas norteñas de reproducción (Robinson *et al.*, 2005). Por otro lado, las observaciones actuales sugieren que de continuar las tendencias actuales de calentamiento en el Ártico, las poblaciones del arao de Brunnich (*Uria lomvia*) se desplacen más al norte (Gaston *et al.*, 2005).

Se ha sugerido que el decremento de la productividad biológica del Sistema de la Corriente de California (SCC) asociado al periodo de calentamiento observado desde 1980 y hasta mediados de la década de 1990 (Roemmich y McGowan, 1995) fue la causa de que

algunas aves migratorias trans-hemisféricas que suelen pasar el invierno austral en las costas de California, como la fardela gris (*Puffinus griseus*), se hayan desplazado hacia aguas del Pacífico central ecuatorial, donde la disponibilidad de alimento se incrementó durante el mismo periodo (Grémillet y Boulinier, 2009). Este calentamiento pudo también causar el desplazamiento hacia el norte observado en otros grupos de aves como el pelicano café (*Pelecanus occidentalis*), la gaviota parda (*Larus heermanni*) y los petreles (*Oceanodroma mamelania* y *O. microsoma*; Grémillet y Boulinier, 2009). Debe mencionarse que aún es tema de discusión si las temperaturas anómalamente cálidas registradas en el SCC durante ese tiempo son una expresión regional del incremento de la temperatura global por efecto de actividades humanas, o parte de un ciclo natural en la temperatura del mar en la región del Pacífico norte (Lluch-Belda *et al.*, 2003).

De manera similar, se ha sugerido que el aumento en la temperatura oceánica y los cambios en las condiciones climáticas en la costa oeste de Australia (Dunlop y Wooller, 1990) son la causa de la expansión hacia el sur observada en el ámbito de aves como el rabijunco cola roja (*Phaethon rubricauda*), la gaviota monja (*Sterna anaethetus*) y el gaviotín rosado (*S. dougallii*), así como el aumento poblacional en las colonias del alcazote (*Morus serrator*) y del pingüino barbijo (*Pygoscelis antarctica*) en el sureste de Australia (Chambers *et al.*, 2005).

Aunque las evidencias son limitadas, las observaciones sugieren que algunas aves marinas están modificando su distribución hacia mayores latitudes a causa del calentamiento del océano. Otras posibles consecuencias del cambio climático en aves, particularmente la alteración de la ecología reproductiva y de las interacciones tróficas, son temas comparativamente mejor documentados.

La información con respecto a los cambios fenológicos, tales como el adelanto de la temporada de reproducción a medida que la temperatura global aumenta (Sydeman y Bograd, 2009) es relativamente consistente y robusta; sin embargo, no existe consenso en cuáles son los mecanismos biológicos y ecológicos implícitos (Heath *et al.*, 2009), ni si las variaciones son reflejo de oscilaciones naturales del ambiente, del cambio climático inducido por el humano o producto de factores sinérgicos como la presión de pesca sobre las presas de las aves, aumento en el nivel medio del mar y la contaminación (Galbraith *et al.*, 2005; Votier *et al.*, 2005; Heath *et al.*, 2009).

El arao de Brunnich es un ejemplo claro de especies en las que se han identificado cambios en la ecología reproductiva en relación variaciones en el clima. En las poblaciones que habitan en el límite sur de su distribución (Bahía de Hudson), la fecha en la que las hembras depositan los huevos se ha ido adelantando desde 1981, al tiempo que se ha reducido la cobertura de hielo de verano, tendencia que se espera persista a medida que se incrementen las temperaturas globales. Por otra parte, en el límite norte (Isla Príncipe Leopoldo) no se han detectado cambios en la cobertura de hielo ni en la fenología reproductiva de las colonias (Gaston *et al.*, 2005).

En otros casos, como la gaviota tridáctila (*Rissa tridactyla*) y del arao común (*Uria alge*) en el Mar del Norte, la ovoposición se ha retrasado progresivamente durante las últimas dos décadas (Visser y Both, 2005), aparentemente como resultado de una afectación en el factor de condición de los reproductores (Harris y Wanless, 1997). En contraste, en el SCC la tendencia al aumento en la intensidad de las surgencias estacionales parece relacionarse con el adelanto en las fechas de ovoposición de la alcuela norteamericana y del arao común (Schroeder *et al.*, 2009).

La fenología de largo plazo en las aves de la Antártica ha sido relativamente bien estudiada (Croaxll *et al.*, 2002; Jenouvrier *et al.*, 2005). En esta zona, los incrementos en la temperatura del aire y el derretimiento extensivo de los casquetes de hielo han sido relacionados con una menor disponibilidad de alimento (*krill*), como en los casos del pingüino de Adelia (*Pygoscelis adeliae*) y el petrel azul (*Halobaena caerulea*), y a la pérdida de hábitat para desove en especies como el pingüino emperador (*Aptenodytes forsteri*) y el petrel de las nieves (*Pagodroma nivea*; Durant *et al.*, 2004).

La mayoría de las especies de aves marinas en el Mar del Norte y el Mar de Barents han experimentado una serie de fallas reproductivas en los últimos diez años que sobrepasan el promedio histórico (p.e. frailecillo común, *Fratercula arctica*, gaviota tridáctila, y alca común, *Alca torda*; Frederiksen *et al.*, 2004; Sandvik *et al.*, 2005). La década en la que esto sucedió se caracterizó por presentar una temperatura superficial del mar anómalamente elevada (Hyrenbach y Veit, 2003; Heath *et al.*, 2009).

La variabilidad natural en escalas interanuales a multidecenales dificulta atribuir cambios en la fenología a la señal sostenida de cambio climático. En la escala interanual se ha encontrado, por

ejemplo, que las variaciones oceanográficas en el Pacífico noroeste modifican en grado diverso el desempeño reproductivo de los ácidos, alcuelas y frailecillos (Kitts y Golubova, 2000). En horizontes multidecenales, la reducción en el potencial reproductivo de especies como la gaviota (*Larus occidentalis*), el arao pichón (*Cepphus columba*), el mérgulo de Xantus (*Synthliboramphus hypoleucus*) y el alca rinoceronte (*Cerorhinca monocerata*) parecen relacionarse con el cambio en el régimen climático ocurrido hacia el final de la década de 1980 (Sydeman *et al.*, 2001).

Muchos de los cambios en la distribución geográfica y la fenología de las aves marinas están estrechamente vinculadas a las relaciones tróficas. El razonamiento es que el cambio climático afecta de forma asimétrica sus distintos hábitats y los ciclos estacionales tanto de las aves como de sus recursos alimenticios, alterando la dinámica trófica (Croxall *et al.*, 2002; Parmesan, 2006). Por ejemplo, aves como los playeros y el chorlito han comenzado a invernar en áreas favorables para la alimentación en la costa este de Bretaña a medida que las temperaturas de invierno se han incrementado (Robinson *et al.*, 2005). A lo largo de la década de 1990, se observó que la reducción en las tasas de crecimiento de los polluelos del arao de Brunnich en la Antártica, que coincidió con una disminución en la cobertura de hielo en verano, pudo también relacionarse, al menos en parte, con un cambio progresivo en la composición de su dieta; paso de alimentarse de bacalao de la Antártica (*Boreogadus saida*), su presa principal, a capelín (*Ammodytes* spp.), a pesar de no haber relación con la biomasa disponible de ambas presas (Gaston *et al.*, 2005).

Mamíferos Marinos

Existen estudios que sugieren que diferentes cambios observados en el ámbito geográfico de diversas especies de mamíferos marinos se relacionan con el cambio del clima. Por ejemplo, se ha asociado el cambio de temperatura del mar en el SCC durante las últimas décadas con una reducción considerable del delfín de costados blancos (*Lagenorhynchus obliquidens*) en el límite sur de su distribución (Golfo de California), pero su ocurrencia se incrementó en la costa oeste de Canadá, sin que hubiera un cambio evidente en sus recursos alimenticios (Salvadeo *et al.*, 2010).

MacLeod *et al.* (2005), sobre la base de datos de varamientos, avistamientos y abundancia relativa, sugieren que el calentamiento local del mar provocó cambios en la comunidad de ce-

táceos del noroeste de Escocia. Las especies de afinidad templada (delfín de rostro blanco, *Lagenorhynchus albirostris*; ballena piloto, *Globicephala melas*; zifio de frente plana del norte, *Hyperoodon ampuellatus*) contrajeron sus intervalos y disminuyeron en abundancia, mientras que las especies restringidas a aguas cálidas (delfín común, *Delphinus delphis*; delfín rayado, *Stenella coeruleoalba*) expandieron su distribución.

Los avistamientos de cachalote (*Physeter macrocephalus*) en el Sistema de la Corriente de California (SCC) aumentaron de manera importante durante el periodo entre 1992 y 2005. En el océano Pacífico, la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) parece estar dejando de visitar las lagunas costeras más sureñas de la costa occidental de la península de Baja California para su reproducción y se está incrementando el número de avistamientos de crías en California, EEUU (Salvadeo *et al.*, 2011, 2013).

Para aquellas especies que presentan intervalos geográficos estrechos y alta dependencia de hábitat particulares, el efecto del cambio climático puede volverse crítico ya que sencillamente no pueden escapar de cambios adversos que sucedan dentro de sus áreas de distribución. Uno de los casos más notables es el de la vaquita (*Phocoena sinus*), un mamífero marino endémico del norte del Golfo de California que se encuentra en peligro crítico de extinción y sometida a presiones de diversa índole. Si hubiese una alteración en su hábitat debida al cambio climático, la especie no podría desplazarse más hacia el norte simplemente porque se toparía con el macizo continental. El oso polar (*Ursus maritimus*; Laidre *et al.*, 2008) y la morsa (*Odobenus rosmarus*) también son especies seriamente amenazadas por el cambio climático, ya que dependen del hielo como plataforma para cazar, descansar y dar a luz. De manera similar, la foca del Mar Caspio (*Phoca caspica*) y la del Lago Baikal (*Pusa sibirica*) son especies endémicas cuya reproducción depende de condiciones relativamente estables en el hielo invernal. Para la foca del Caspio se ha observado que en años cálidos, como el periodo 1998-2000, la superficie de hielo disponible se redujo considerablemente causando la aglomeración de la población, lo que aumentó el riesgo de enfermedades infecciosas, como el moquillo canino en 1999-2000 (Harwood, 2001).

Existe especial interés en los efectos ecológicos potenciales del rápido calentamiento observado en el Ártico. Se ha propuesto que el derretimiento temprano de la nieve destruiría prematuramente las capas de hielo subsuperficiales,

dejando a las crías de la foca anillada (*Phoca hispida*) expuestas al intemperismo y la depredación. Del mismo modo, la disminución en la cobertura de hielo durante el verano ártico podría ocasionar que las zonas de alimentación de las morsas (límite del hielo) se ubique a mayor distancia de las áreas de crianza, aumentando tanto el requerimiento energético para alimentarse como el riesgo de depredación por osos polares (Kelly, 2001). Por otro lado, la redistribución de las capas de hielo en zonas particulares podría obliterar las fracturas por las que salen a respirar organismos como los narvales (*Monodon monoceros*; Laidre y Heide-Jørgensen, 2005).

Contrariamente, especies migratorias estacionales y algunas otras asociadas al hielo del Ártico: la ballena de aleta; la ballena minke (*Balaenoptera acutorostrata*), la ballena jorobada (*B. novaeangliae*), la ballena gris, la orca (*Orcinus orca*) y la ballena boreal (*Balaena mysticetus*) pudieran ser beneficiadas por la pérdida neta de hielo ya que tendrían mayor y más fácil acceso a nuevas áreas de alimentación que sustituyeran zonas cubiertas de hielo (Moore y Huntington, 2008).

En el caso del oso polar se ha propuesto que el aumento en las temperaturas atmosféricas locales a lo largo de las dos últimas décadas explica la disminución de su éxito reproductivo y condición corporal (Rode *et al.*, 2010). Hasta el momento, sin embargo, la información disponible indica que la reducción de la natalidad y del factor de condición no ha provocado una disminución en el tamaño poblacional (Stirling *et al.*, 1999). De hecho, los efectos negativos de la pérdida de cobertura de hielo se han documentado sólo para dos de las 19 poblaciones reconocidas de osos polares en la región (Rode *et al.*, 2012). En este sentido, Dyck *et al.*, (2007) argumenta que la conservación de la especie debe enfocarse en resolver la creciente interacción directa entre osos polares y humanos, incluso antes de considerar los impactos del cambio climático.

Las alteraciones en la fenología de los mamíferos marinos presumiblemente provocadas por el cambio climático están estrechamente relacionadas a cambios en sus ámbitos de distribución. Por ejemplo, el desplazamiento hacia el norte del delfín de costados blancos se acompañó de un cambio en su ocurrencia estacional dentro del Golfo de California; pasó de ser abundante en primavera e invierno a verse ocasionalmente sólo en invierno (Salvadeo *et al.*, 2010). Cuarenta años de censos de ballena gris en el Pacífico noreste muestran que hasta 1999 exis-

te un adelanto de una semana en la mediana de la fecha en la que los individuos de la especie pasan por su límite austral en California central. La beluga (*Delphinapterus leucas*), que migra a lo largo de las costas de Alaska en el verano, ahora llega cerca de Punta Lay (Alaska) casi dos semanas antes de lo que lo hacía en la década de 1980 (Moore y Huntington, 2008). Cabe señalar que dado que la información respecto del tamaño de la población en el pasado es limitada, se desconocen las implicaciones de estos cambios fenológicos en la viabilidad de las poblaciones.

De forma semejante a lo observado para las aves, los efectos del cambio climático en la distribución geográfica y fenología de los mamíferos marinos, incluyendo la estacionalidad de la migración, con frecuencia están acoplados a perturbaciones en la dinámica del sistema depredador-presa. Desde finales de la década de 1990, ha habido una mayor incidencia de varamientos del delfín común en el sur de California. La mortalidad pudo estar correlacionada con un cambio cualitativo en la dieta de la especie; pasó de consumir primordialmente sardinas a alimentarse de anchovetas (más abundantes durante el régimen de enfriamiento del SCC), las cuales han sido reconocidas como el vector principal de toxicidad de ácido domóico en el delfín común (Danil *et al.*, 2010). En las últimas dos décadas, la expansión hacia el norte de los cachalotes a lo largo la Península de Baja California y Golfo de California coincidió con un cambio en el ámbito geográfico de su presa dominante, el calamar gigante (*Dosidicus gigas*; Salvadeo *et al.*, 2010), el cual se ha asociado a la variabilidad climática (Zeidberg y Robinson, 2007).

Entre 1960 y 1974, la dieta del lobo fino de Alaska se constituía principalmente de individuos adultos del abadejo de Alaska, arenque y del eperlano del Pacífico (especie de afinidad templada). Para el inicio de la década de 1980, los contenidos estomacales estaban dominados por juveniles de abadejo; el eperlano desapareció (presumiblemente porque ya no estaba disponible en el medio; Hunt *et al.*, 2002). Por otra parte, las poblaciones de grandes misticetos, que se alimentan básicamente de peces forrajeros, pudieran incrementar en un ambiente comparativamente más cálido que el actual, dado que se espera que la producción del sistema pelágico se incremente a raíz de la desaparición del hielo marino (Hunt *et al.*, 2002).

Igual a como se expuso para el caso de aves, las tendencias históricas del ambiente no siempre apuntan a un calentamiento sostenido, sino revelan oscilaciones de distinta frecuencia (Dyck

et al., 2007). Lusseau *et al.* (2004) encontraron que el tamaño de los grupos de las orcas en esta región y el de los delfines nariz de botella (*Tusiops truncatus*) en Escocia, varió en conjunto con las fluctuaciones decadales en las condiciones oceanográficas, posiblemente como una forma de adaptación a los cambios en la composición de las presas. En latitudes más bajas, en el SCC, un aumento de la mortalidad de crías y la modificación del ámbito geográfico del calderón común (*Globicephala macrorhynchus*) y del delfín gris (*Grampus griseus*) se han correlacionado con movimiento de las poblaciones del calamar (*Loligo opalescens*) durante eventos El Niño.

En cuanto a escalas de tiempo más largas, Sun *et al.* (2004), utilizando registros de sedimentos terrestres, encontraron que el tamaño de las poblaciones de la foca antártica ha oscilado de forma secular durante los últimos 1500 años, donde en periodos de enfriamiento el incremento en la cobertura de hielo reduce las áreas disponibles para alimentación, mientras que durante periodos de calentamiento se promueven la producción primaria y secundaria.

Tortugas Marinas

A diferencia de las aves y los mamíferos, las tortugas marinas son organismos ectotérmicos, lo que implica que su fisiología, fenología y biología reproductiva están aún más influenciadas por la temperatura ambiental. Este atributo las hace aparentemente sensibles a los efectos del cambio climático. Sin embargo, existen factores e interacciones que dificultan los esfuerzos de atribución, incluyendo por ejemplo la recuperación de las poblaciones como producto de los esfuerzos de conservación (Dutton *et al.*, 2004; Hays *et al.*, 2004) y, en sentido opuesto, la reducción poblacional causada por la colecta ilegal de huevos, sobreexplotación y pérdida de sitios de anidación (Mazaris *et al.*, 2009b; Fish y Drews, 2009).

En un escenario de calentamiento sostenido del planeta, el patrón general que se espera es un sesgo en la proporción de sexos hacia poblaciones dominadas por hembras y un aumento en la mortalidad de huevos y de crías (Fuentes *et al.*, 2009). Habría un decremento en las poblaciones anidantes (Chaloupka *et al.*, 2008), las fechas en las que normalmente desovan las tortugas tenderían a adelantarse y habría un cambio en el espectro de la dieta de varias especies (Hawkes *et al.*, 2009).

En soporte a lo anterior, Chaloupka *et al.* (2008) mencionan que

existe una relación inversa entre en número de hembras desovantes de tortuga caguama o boba (*Caretta caretta*) y el aumento de la temperatura del mar en las áreas de alimentación. Esta relación también se ha observado en las poblaciones desovantes de la tortuga verde (*Chelonia mydas*; Balazs y Chaloupka, 2004), la siete filos del Pacífico (*Dermochelys coriacea*; Saba *et al.*, 2007) y la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) en Seychelles (Broderick *et al.*, 2001). El incremento en la temperatura superficial del mar también puede provocar un aumento en el intervalo re-migratorio (lapso entre dos temporadas sucesivas de anidación), un decremento en el número de hembras que salen a desovar cada año (Broderick *et al.*, 2001), y un intervalo de anidamiento (periodo entre puestas consecutivas) más corto, lo que puede reducir las probabilidades de éxito reproductivo a mediano plazo (Cheng *et al.*, 2009).

En algunos trabajos se menciona que las tortugas marinas son menos vulnerables que lo que se esperaba ante el aumento en la temperatura ambiental. Existen playas de anidación que han mostrado persistir incluso después de varias décadas de producción dominada por hembras (Reed, 1980; Marcovaldi *et al.*, 1997; Godfrey *et al.*, 1999; Broderick *et al.*, 2000; Hays *et al.*, 2003) y hasta el momento no hay evidencia de que se reduzca el éxito reproductivo de una población cuando hay baja proporción de machos en las crías (Poloczanska *et al.*, 2009). Más aún, la habilidad de los machos para fertilizar los huevos de varias hembras y la de éstas para almacenar esperma y así fertilizar varios lotes de huevos, pudieran amortiguar el efecto del cambio climático en la proporción de sexos y la variabilidad de las poblaciones de tortugas marinas (Hays *et al.*, 2010). Si bien el desplazamiento hacia el norte de la distribución geográfica de varias especies marinas ha mostrado ser consistente con el reciente aumento de la temperatura ambiental, en el caso de las tortugas marinas, los límites térmicos fisiológicos se encuentran incluso a mayores latitudes que la distribución observada, indicando que la temperatura no es el factor determinante de la expansión o contracción de su ámbito espacial (Braun-McNeill *et al.*, 2008).

Los cambios fenológicos en las tortugas marinas están mejor documentados que las variaciones en sus intervalos geográficos. En la tortuga caguama, por ejemplo, se ha relacionado el incremento en la temperatura con un adelanto en el la salida de hembras a desovar. En Florida, EEUU, la mediana de la fecha de desove de la tortuga blanca se ha adelan-

tado entre 8 y 10 días en el transcurso de 15 años (Weishampel *et al.*, 2004; Pike *et al.*, 2006), y en el Mar Mediterráneo Mazaris *et al.* (2008) encontraron un desfaseamiento positivo de 17 días de la fecha de emergencia para desove de esta especie a lo largo de los últimos 19 años, lo que coincidió con un incremento en la temperatura superficial del mar a nivel regional.

A pesar de que hay un intenso debate en cuanto a que si el calentamiento global está alterando o no la frecuencia de meteoros (Mann y Emanuel, 2006), se espera que una mayor frecuencia de huracanes puede provocar daños o pérdidas/erosión significativos de las playas donde anidan las tortugas marinas. Se espera que esto reduzca el hábitat para el desove y aumente la mortalidad durante la eclosión (Hawkes *et al.*, 2009), pero los estudios que apoyan esta hipótesis son muy específicos en tiempo y espacio, y por lo tanto son poco robustos. Por ejemplo, se ha observado una considerable reducción en el éxito de la eclosión en tortugas caguama y verde en Florida (por inundación de nidos) como consecuencia de un incremento en la incidencia de eventos climáticos extremos en las áreas de anidación (Van Houtan y Bass, 2007). Aquellas especies de quelonios que son capaces de cambiar sus hábitos de anidación bajo condiciones desfavorables, como la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*; Fish y Drews, 2009; Hawkes *et al.*, 2009) resentirán menos el impacto del cambio climático en comparación a aquellas que muestran alta fidelidad a sus sitios de desove o forrajeo (Cuevas *et al.*, 2008).

Tal como se observa en otros amniotas marinos, el efecto de las fluctuaciones climáticas sobre la variabilidad de las poblaciones de tortugas marinas puede estar mediado por interacciones tróficas. En la escala interanual, el calentamiento de la temperatura superficial del mar en los sitios de alimentación de la tortuga caguama en el Mediterráneo y en el Pacífico este, puede modificar la fenología reproductiva de los individuos a través de una reducción en la disponibilidad de alimento (Mazaris *et al.*, 2009a). La variación entre años del intervalo de remigración (y por lo tanto también del número de tortugas que emergen a desovar) pudiera también estar relacionado a las condiciones ambientales. Se ha mostrado que hay una mayor variación poblacional en especies de bajos niveles tróficos, como la tortuga verde, la cual se alimenta más cerca de la base de la trama trófica, en comparación a especies como la laúd y la caguama cuyo nivel trófico es más alto (Broderick *et al.*, 2001). En horizontes de tiempo de décadas, las fluctuaciones cli-

máticas en el Pacífico (Oscilación Decadal del Pacífico) y Atlántico Norte (Oscilación Multidecadal del Atlántico) parecen afectar de forma importante el éxito del reclutamiento y la abundancia de la población adulta de la tortuga caguama, probablemente a través de la disponibilidad de alimento para juveniles (Van Houtan y Halle, 2011). Así mismo, se han observado que los cambios de largo plazo en la proporción de hembras de tortuga Carey que salen a desovar en el sur del Golfo de México están correlacionados con oscilaciones decadales en la temperatura del Atlántico; proporción que disminuye en episodios de calentamiento y aumenta en periodos de enfriamiento (Del Monte-Luna *et al.*, 2012).

Conclusiones

1. Los efectos del cambio climático en los amniotas marinos tienden a manifestarse a través de tres procesos interdependientes: distribución geográfica, fenología y relaciones alimenticias. Se espera que, independientemente del grupo, las especies estrictamente polares y las especies endémicas sean particularmente susceptibles a los efectos del cambio climático.

2. En las aves marinas, la alteración de dichos procesos como efecto del cambio climático consiste en: a) la ubicación promedio de las áreas reproductivas y no reproductivas de especies de afinidad templada y tropical se está desplazando hacia latitudes más altas, b) las especies tienden a reproducirse antes del tiempo típico, y c) las especies extienden su temporada reproductiva.

3. En mamíferos marinos se predice que a medida que la temperatura superficial del mar continúe incrementándose: a) las especies (presa) de afinidad templada, se desplazarán hacia los polos junto con sus depredadores, b) aquellas especies de afinidad tropical expandirán sus intervalos de distribución, y c) la estacionalidad de algunas especies tenderá a retrasarse.

4. En tortugas marinas, si la temperatura del agua sigue aumentando, el patrón general que se espera es: a) un sesgo en la proporción de sexos hacia una producción dominada por hembras, b) las fechas en las que normalmente desovan las tortugas tenderían a adelantarse, y c) cambiaría el espectro de la dieta de varias especies.

5. Si bien el cambio climático en general, y el calentamiento global en particular, es una hipótesis plausible y ampliamente aceptada para explicar los patrones de respuesta observados en los amniotas marinos, no es la única ni la más consistente en todos los casos. Hipótesis alternativas

se refieren principalmente al papel de la variabilidad climática natural de corto y largo plazo en la dinámica de las poblaciones de mamíferos y tortugas. Actualmente, las investigaciones encaminadas a describir los mecanismos a través de los cuales los cambios ambientales, naturales o de origen humano, afectan la distribución, fenología y relaciones tróficas de los amniotas marinos, están en desarrollo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al sistema de becas COFAA y EDI del IPN, y al financiamiento de los proyectos CO-NACyT 101445.

REFERENCIAS

- Balazsa G, Chaloupka M (2004) Thirty-year recovery trend in the once depleted Hawaiian green sea turtle stock. *Biol. Cons.* 117: 491-498.
- Barbraud C, Weimerskirch H (2006) Antarctic birds breed later in response to climate change. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 103: 6248-6251.
- Braun-McNeill J, Sasso C, Epperly S, Rivero C (2008) Feasibility of using sea surface temperature imagery to mitigate cheloniid sea turtle-fishery interactions off the coast of northeastern USA. *Endang. Spp. Res.* 5: 257-266.
- Broderick A, Godley B, Reece S, Downie JR (2000) Incubation periods and sex ratios of green turtles: highly female biased hatchling production in the eastern Mediterranean. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 202: 271-281.
- Broderick A, Godley B, Hays G (2001) Trophic status drives interannual variability in nesting numbers of marine turtles. *Proc. Roy. Soc.* 268: 1481-1487.
- Chaloupka M, Kamezaki N, Limpus C (2008) Is climate change affecting the population dynamics of the endangered Pacific loggerhead sea turtle? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 356: 136-143.
- Chambers L, Hughes L, Weston M (2005) Climate change and its impact on Australia's avifauna. *Roy. Aust. Ornithol.* 105: 1-20.
- Chambers L, Congdon B, Dunlop N, Dann P, Devney C (2009) Seabirds and climate change. En Poloczanska E, Hobday A, Richardson A (Eds.) *A Marine Climate Change Impacts and Adaptation Report Card for Australia 2009*. National Climate Change Adaptation Research Facility. Australia. pp 1-18.
- Cheng I, Huang C, Hung P, Ke BZ, Kuo CW, Fong C (2009) Ten years of monitoring the nesting ecology of the green turtle, *Cheloniemydas*, on Lanyu (Orchid Island). *Taiwan. Zool. Stud.* 48: 83-94.
- Croxall J, Trathan P, Murphy E (2002) Environmental Change and Antarctic Seabird Populations. *Polar Sci.* 297: 1510-1514.
- Cuevas E, Abreu-Grobois F, Guzmán-Hernández V, Liceaga-Correa M, Van Dam R (2008) Post-nesting migratory movements of hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata* in waters adjacent to the Yucatan Peninsula, Mexico. *Endang. Spp. Res.* 10: 123-133.

- Danil, K, Chivers SJ, Henshaw MD, Thieleking, JL, Daniels R, St. Leger JA (2010) Cetacean strandings in San Diego County, California, USA:1851–2008. *J. Cetac. Res. Manag.* 11: 163-184.
- Del Monte-Luna P, Guzmán-Hernández V, Cuevas E, Arreguín-Sánchez F, Lluch-Belda D (2012) Effect of North Atlantic climate variability on hawksbill turtles in the Southern Gulf of Mexico. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 412: 103-109.
- Dunlop JN, Wooller RD (1990) The breeding seabirds of south-western Australia: trends in species, populations and colonies. *Corella* 14: 107-112.
- Durant J, Stenseth N, Anker-Nilssen T, Harris M, Thompson P, Wanless S (2004) Marine birds and climate fluctuation in the North Atlantic. En Stenseth N, Ottersen G, Hurrell J, Belgrano A (Eds.) *Marine Ecosystems and Climate Variation: the North Atlantic a Comparative Perspective*. Oxford University Press. Oxford, RU. pp. 95-105.
- Dutton P (2004) Molecular ecology of the eastern Pacific green turtle. *Proc. 22nd Annu. Symp. on Sea Turtle Biology and Conservation. NOAA Technical Memorandum, NMFS-SEFSC*.
- Dyck M, Soon W, Baydack R, Legates D, Balinas S, Ball T, Hancock L (2007) Polar bears of western Hudson Bay and climate change: Are warming spring air temperatures the “ultimate” survival control factor? *Ecol. Complex.* 4: 73-84.
- Fish M, Drews C (2009) *Adaptation to Climate Change: Options for Marine Turtles*. WWF Report. San José, Costa Rica. 20 pp.
- FFWCC (2013) *A Species Action Plan for the Brown Pelican, Pelecanus occidentalis*. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission. Tallahassee, FL, EEUU. 30 pp. <http://share1.myfwc.com/ISMP/Bird%20Management%20Plans/Brown%20Pelican%20Draft%20Species%20Action%20Plan.pdf> (Cons. 19/11/2013).
- Frederiksen M, Wanless S, Harris M, Rothery P, Wilson L (2004) The role of industrial fisheries and oceanographic change in the decline of North Sea black-legged kittiwakes. *J. Appl. Ecol.* 41: 1129-1139.
- Fuentes M, Maynard J, Guinea M, Bell I, Werdel P, Hamann M, (2009) Proxy indicators of sand temperature help project impacts of global warming on sea turtles. *Endang. Spp. Res.* 9: 33-40.
- Galbraith H, Jones R, Park R, Clough J, Herrod-Julius S, Harrington B, Page G (2005) Global climate change and sea level rise: potential losses of intertidal habitat for shorebirds. *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR. 191:1119-1122*
- Gaston A, Anthony J, Gilchrist H, Hipfner M (2005) Climate change, ice conditions and reproduction in an Arctic nesting marine bird: Brunnich's guillemot (Uria lomvia). *J. Animal Ecol.* 74: 832-841.
- Godfrey M, Amato A, Marcovaldi M, Mrosovsky (1999) Pivotal temperature and predicted sex ratios for hatchling hawksbill turtles from Brazil. *Can. J. Zool.* 77: 1465-1473.
- Grémillet D, Boulinier T (2009) Spatial ecology and conservation of seabirds facing global climate change: a review. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 391: 121-137.
- Harley C, Hughes A, Hultgren K, Miner B, Sorte C, Thornber C, Rodriguez L, Tomanek L, Williams S (2006) The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecol. Lett.* 9: 228-241.
- Harris MP, Wanless S (1997) Breeding success, diet, and brood neglect in the kittiwake (*Rissa tridactyla*) and over an 11-year period. *ICES J. Mar. Sci.* 54: 612-623.
- Harwood J (2001) Marine mammals and their environment in the twenty-first century. *Am. Soc. Mammal.* 82: 630-640
- Hawkes L, Broderick A, Godfrey M, Godley B (2009) Climate change and marine turtles. *Endang. Spp. Res.* 7: 137-154.
- Hays G, Broderick A, Glen F, Godley (2003) Climate change and sea turtles; a 150-year reconstruction of incubation temperature at a major turtle rookery. *Global Change Biol.* 9: 642-646.
- Hays G, Houghton J, Myers A (2004) Pan-Atlantic leatherback turtle movements. *Nature* 429: 522.
- Hays G, Fossette S, Katselidis K, Schofield G, Gravenor M (2010) Breeding periodicity for male sea turtles, operational sex ratios, and implications in the face of climate change. *Cons. Biol.* 24: 1636-1643.
- Heath M, Edwards M, Furness R, Pinnegar J, Wanless S (2009) A view from above: changing seas, seabirds and food sources. En Baxter J, Buckley P, Frost M (Eds.) *Marine Climate Change Ecosystem Linkages Report Card*. Online Science Reviews. 24 pp.
- Hughes L (2000) Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends Ecol. Evol.* 15: 56-61.
- Hunt G Jr, Stabeno P, Walters G, Sinclair E, Brodeur R, Napp J, Bond N (2002) Climate change and control of the southeastern Bering Sea pelagic ecosystem. *Deep-Sea Res. II* 49: 5821-5853.
- Hyrenbach K, Veit R (2003) Ocean warming and seabird communities of the southern California Current System (1987–98): response at multiple temporal scales. *Deep-Sea Res. II* 50: 2537-2565.
- Jenouvier S, Weimerskirch H, Barbraud C, Park Y, Cazelles B (2005) Evidence of a shift in cyclicity of Antarctic seabirds dynamics link to climate. *Proc. Roy. Soc.* 272: 887-895.
- Kelly B (2001) Climate change and ice breeding pinnipeds. En Walther GR, Burga CA, Edwards PJ (Eds.) *Fingerprints of Climate Change*. Springer. New York, EEUU. pp 43-55.
- Kitaysky A, Golubova E (2000) Climate change causes contrasting trends in reproductive performance of planktivorous and piscivorous alcids. *J. Animal Ecol.* 69: 248-262
- La Sorte F, Jetz W (2010) Avian distributions under climate change: towards improved projections. *J. Exp. Biol.* 213: 862-869.
- Laidre X, Heide-Jorgensen M (2005) Arctic sea ice trends and narwhal vulnerability. *Biol. Cons.* 121: 509-517.
- Laidre K, Stirling I, Lowry LL, Wiig O, Heide-Jorgensen M, Ferguson S (2008) Quantifying the sensitivity of arctic marine mammals to climate-induced habitat change. *Ecol. Applic.* 18: 97-125.
- Lluch-Belda D, Lluch-Cota D, Lluch-Cota S (2003) Scales of interannual variability in the California Current system: Associated physical mechanisms and likely ecological impacts. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Inv. Rep.* 44: 76-85.
- Lusseau D, Willams R, Wolson B, Grelrier K, Barton T, Hammond P, Thompson M (2004) Parallel influence of climate on the behaviour of Pacific killer whales and Atlantic bottlenose dolphins. *Ecol. Lett.* 7: 1068-1076
- MacLeod C, Bannon S, Pierce G, Schweder C, Learmonth J, Herman J, Reid R (2005) Climate change and the cetacean community of north-west Scotland. *Biol. Cons.* 24: 477-483.
- Mann M, Emanuel K, (2006) Atlantic hurricane trends linked to climate change. *Eos* 87: 238-241.
- Marcovaldi M, Godfrey M, Mrosovsky N (1997) Estimating sex ratios of loggerhead turtles in Brazil from pivotal incubation durations. *Can. J. Zool.* 75: 755-770.
- Mazaris A, Kallimanis A, Sgardelis S, Pantis J (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. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 367: 219-226.
- Mazaris A, Matsinos G, Pantis J (2009a) Evaluating the impacts of coastal squeeze on sea turtle nesting. *Ocean Coast. Manag.* 52: 139-145.
- Mazaris A, Kallimanis A, Tzanopoulos J, Sgardelis S, Pantis J (2009b) Sea surface temperature variations in core foraging grounds drive nesting trends and phenology of loggerhead turtles in the Mediterranean Sea. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 379: 23-27.
- Moore S, Huntington H (2008) Arctic marine mammals and climate change: impacts and resilience. *Ecol. Applic.* 18: 157-165.
- Musgrove A (2002) The non-breeding status of the Little Egret in Britain. *Br. Birds* 95: 62-80.
- Parmesan C (2006) Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol.* 37: 637-669.
- Pike D, Antworth R, Stiner J (2006) Earlier nesting contributes to shorter nesting seasons for the loggerhead seaturtle, *Caretta caretta*. *J. Herpetol.* 40: 91-94.
- Poloczanska E, Limpus C, Hays G (2009) Vulnerability of marine turtles to climate change. En Sims D (Ed.) *Adv. Mar. Biol.* 56: 151-211.
- Reed P (1980). The sex ratio of hatchling loggerhead turtles -Progeny of two nesting adult females. Tesis. James Cook University of North Queensland. Australia. XX pp.
- Robinson RA, Learmonth JA, Hutson AM, Macleod CD, Sparks TH, Leech DI, Pierce GJ, Rehlfisch MM, Crick HQP (2005) *Climate Change and Migratory Species*. British Trust for Ornithology Research Report N° 414. Thetford, RU. 304 pp.
- Rode K, Amstrup S, Regehr E (2010) Reduced body size and cub recruitment in polar bears associated with sea ice decline. *Ecol. Applic.* 20: 768-782.
- Rode K, Peacock E, Taylor M, Stirling I, Born E, Laidre K, Wiig O (2012) A tale of two polar bear populations: ice habitat, harvest, and body condition. *Populat. Ecol.* 54: 3-18.
- Roemmich D, McGowan J (1995) Climatic warming and the decline of zooplankton in the California Current. *Science* 267: 1324-1326.
- Saba V, Santidrián-Tomillo P, Reina R, Spotila J, Musick J, Evans D, Paladino F (2007) The effect of the El Niño Southern Oscillation on the reproductive frequency of eastern Pacific leatherback turtles. *J. Appl. Ecol.* 44: 395-404.
- Salvadeo C, Lluch-Belda D, Gomez A, Ramirez J, MacLeón C (2010) Climate change and a po-

- leward shift in the distribution of the Pacific white-sided dolphin in the northeastern Pacific. *Endang. Spp. Res. 11*: 13-19.
- Salvadeo C, Luch-Belda D, Luch-Cota S, Mercuri M (2011) Review of long term macro-fauna movement by multi-decadal warming trends in the Northeastern Pacific. *Climate Change Geophys. Found. Ecol. Effects 11*: 219-230.
- Salvadeo C, Luch-Cota SE, Maravilla-Chávez O, Alvarez-Castañeda ST, Mercuri M, Ortega-Rubio A (2013) Impact of climate change on sustainable management of gray whale (*Eschrichtius robustus*) populations: Whale-watching and conservation. *Arch. Biol. Sci. 65*: 997-1005.
- Sandvik H, Erikstad K, Barrett R, Yoccoz N (2005) The effect of climate on adult survival in five species of North Atlantic seabirds. *J. Animal Ecol. 74*: 817-831.
- Schroeder I, Sydeman W, Sarkar N, Thompson S, Bograd S, Schwing F (2009) Winter pre-conditioning of seabird phenology in the California Current. *Mar. Ecol. Progr. Ser. 393*: 211-223.
- Stirling I, Lunn N, Iacozza J (1999) Long-term trends in the population ecology of polar bears in Western Hudson Bay in relation to climatic change. *Arctic 52*: 294-306.
- Sun L, Liu X, Yin X, Zhu R, Xie Z, Wang Y (2004) A 1,500-year record of Antarctic seal populations in response to climate change. *Polar Biol. 27*: 495-501.
- Sydean W, Hester M, Thayer J, Gress F, Martin P, Buffa J (2001) Climate change, reproductive performance and diet composition of marine birds in the southern California Current system, 1969-1997. *Progr. Oceanogr. 49*: 309-329.
- Sydean W, Bograd S (2009) Marine ecosystems, climate and phenology: Introduction. *Mar. Ecol. Progr. Ser. 393*: 185-188.
- Visser M, Both C (2005) Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick. *Proc. Roy. Soc. 272*: 2561-2569.
- Van Houtan KS, Bass OL (2007) Stormy oceans are associated with declines in sea turtle hatching. *Curr. Biol. 17*: 590-591.
- Van Houtan KS, Halley JM (2011) Long-term climate forcing in loggerhead sea turtle nesting. *PLoS One 6*: e19043.
- Votier S, Hatchwell B, Beckerman A, McCleery R, Hunter F, Pellatt J, Trinder M, Birkhead T (2005) Oil pollution and climate have wide-scale impacts on seabird demographics. *Ecol. Lett. 8*: 1157-1164.
- Votier C, Hatchwell B, Mears M, Birkhead T (2009) Changes in the timing of egg-laying of a colonial seabird in relation to population size and environmental conditions. *Mar. Ecol. Progr. Ser. 393*: 225-233.
- Weishampel J, Bagley D, Ehrhart L (2004) Earlier nesting by loggerhead sea turtle following sea surface warming. *Global Change Biol. 10*: 1424-1427.
- Zeidberg LD, Robison BH (2007) Invasive range expansion by the Humboldt squid, *Dosidicus gigas*, in the eastern North Pacific. *Proc. Nat. Acad. Sci. 104*: 12948-12950.

CLIMATE CHANGE AND MARINE AMNIOTES: EVIDENCE, HYPOTHESES AND UNCERTAINTY

Pablo del Monte-Luna and Salvador Emilio Lluich-Cota

SUMMARY

Marine ecosystems are already responding to climate change, with examples found in virtually all of the world's oceans. Although there is not a singular response of marine amniotes to climate change, individual observations indicate three kinds of interrelated responses of marine amniotes: distribution shifts (geographic ranges), phenological changes (timing of seasonal activities) and inter-specific interactions including competition between species and the predator-prey system dynamics. If global sea temperature increases in the future, the expected patterns are that tropical marine amniotes species will extend their ranges and temperate ones will move to higher latitudes;

reproductive events will occur earlier and migratory timing will show delays; and the trophic breath of some organisms will progressively change, particularly in low trophic species. It is expected that strict polar and endemic species will be the most affected by climate change. However, confidence levels in that such patterns will be fulfilled are low, as they are not a univocal response to climate change. In this group, it is more likely that the detected effects on individual species be related to processes dependent upon climate variations, such as changes in habitat structure (sea ice) and food availability, either of natural or human origin.

EFEITO DA MUDANÇA CLIMÁTICA NA DISTRIBUIÇÃO, FENOLOGIA E RELAÇÕES TRÓFICAS DOS AMNIOTAS MARINHOS

Pablo del Monte-Luna e Salvador Emilio Lluich-Cota

RESUMO

Os ecossistemas marinhos estão respondendo à mudança climática e em todos os mares do mundo se registram exemplos que o demonstram. Se bem não existe um efeito unívoco da mudança climática nos amniotas marinhos, os estudos indicam que existem três tipos de respostas interdependentes entre si: mudanças na distribuição (intervalos geográficos), mudanças fenológicas (sincronização de atividades estacionais) e mudanças na dinâmica trófica. Se a temperatura do mar se elevar, os padrões esperados são que as espécies de amniotas marinhos tropicais ampliem sua distribuição e que as temperadas se movam para latitudes mais altas; os eventos reprodutivos tendem a adiantar-se e os tempos migratórios a retrazar-se; assim

mesmo, o espectro da dieta de algumas espécies tenderá a mudar progressivamente, sobre todo naquelas que estão mais próximas da base da pirâmide trófica. Espera-se que as espécies estritamente polares e as endêmicas sejam as mais afetadas. No entanto, são baixos os níveis de confiança sobre que ditos padrões se cumpram em virtude de que seja um efeito unívoco da mudança climática. Nos amniotas marinhos é mais provável que os efeitos da mudança climática em nível de espécie estejam relacionados a processos que dependem de variações no clima, tanto de origem natural como de origem humano, tais como as mudanças na estrutura do hábitat (gelo marinho) e disponibilidade de alimento.