

Tortugas marinas: seres ancestrales, sus misterios, adaptaciones y amenazas

Rodolfo Martín-del-Campo*, Alejandra García-Gasca*

Dentro del reino animal, las tortugas pertenecen al grupo de los reptiles; aparecieron en el mundo hace 200 millones de años, antes que los grandes reptiles dominaran el planeta (Márquez, 1990). Estudios recientes en biología molecular sugieren que alteraciones en algunos genes que controlan el desarrollo de las células óseas pudo permitir la formación del caparazón (Spotila, 2004). Se sabe que un grupo de genes, llamados HOX, controla las principales vías de desarrollo en un embrión (Lappin *et al.*, 2006). Un cambio en la función de estos genes pudo haber causado la formación del caparazón y del plastrón, características que definen a las tortugas (Spotila, 2004).

La protección que proporciona el caparazón ha sido una ventaja para las tortugas, y la mayoría de estas especies no ha experimentado grandes cambios evolutivos en esta parte de su cuerpo; aunque las estructuras internas, extremidades, cuello y cabeza han cambiado considerablemente, el caparazón permanece muy similar a como era hace 200 millones de años (Márquez, 1990).

Algunas especies de tortugas migraron al océano y volvieron a salir a tierra hace entre 150 y 200 millones de años (entre los periodos Cretáceo y Jurásico), lo que dio origen a distintos linajes; en el ambiente marino experimentaron diversos cambios evolutivos, uno de los principales fue que sus extremidades tomaron la forma de aletas, adaptación que les permitió competir con otras especies marinas (Spotila, 2004).

Las tortugas marinas “modernas” aparecieron hace 110 millones de años (Mesozoico) y son descendientes de un único linaje, en este periodo hubo una diversidad alta de géneros, cuando grandes reptiles como los dinosaurios dominaban el planeta (Spotila, 2004). No obstante, éstos sufrieron un evento de extinción masiva hace aproximadamente 65 millones de años (Paleoceno), cuando un gran asteroide impactó la Tierra cerca de la península de Yucatán en México, evento que desencadenó una serie de cambios climáticos, provocó que muchas especies se extinguieran y a su vez favoreció

que aves y mamíferos placentados dominaran el planeta (Spotila, 2004). Sin embargo, las tortugas marinas persistieron a todos esos eventos climáticos y en la actualidad existen siete especies, la más ancestral es la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) que apareció hace 25 millones de años (Spotila, 2004).

ADAPTACIONES DE LAS TORTUGAS MARINAS

Para poder subsistir, las tortugas marinas han sufrido una serie de adaptaciones que les han permitido vivir en nuestros días. Son organismos ectotérmicos que dependen de la temperatura del agua y de otras estrategias como exponerse al calor del sol durante el día para regular la temperatura de su propio cuerpo (Spotila, 2004), y su caparazón actúa como protección a sus órganos vitales.

Son organismos de respiración pulmonar, lo que significa que salen a la superficie para hacer inhalaciones profundas de aire y así poder realizar inmersiones prolongadas y profundas (Plotkin, 2007). También poseen grandes espacios en el cráneo que albergan glándulas encargadas de excretar el exceso de sal, lo que les permite mantener un balance interno de sales y líquidos (Márquez, 1990). Se reproducen de forma sexual con fecundación interna, las hembras pueden anidar de forma anual, bianual o trianual dependiendo de la especie, la disponibilidad de energía y cambios ambientales (Spotila, 2004; Plotkin, 2007). Una vez que las hembras se aparean, pueden almacenar esperma por largo tiempo en unos pliegues de la parte media de los oviductos, el cual puede mantener la viabilidad para fertilizar los óvulos incluso de la siguiente temporada de reproducción (Márquez, 1990). Además, las hembras

* Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD).

Contacto: jesus.martin@estudiantes.ciad.mx,
alegar@ciad.mx



pueden aceptar el cortejo de varios machos durante una misma temporada de reproducción, por lo que las crías de una misma hembra pueden ser de distintos machos (paternidad múltiple) (Jensen *et al.*, 2006).

Las hembras reproductoras, al igual que sus ancestros, siguen anidando (entre 50 y 130 huevos) en ambientes terrestres, playas de anidación en zonas tropicales y subtropicales, donde se incuban los huevos durante un periodo aproximado de dos meses dependiendo de la especie (Spotila, 2004). Una vez que las crías han eclosionado y llegan a la superficie de la arena, comienzan un periodo de “frenesí natatorio”, en el cual se orientan e instintivamente se dirigen al mar, tratando de evitar depredadores; posteriormente son acarreadas por corrientes marinas y durante este tiempo su fuente de energía es el saco vitelino que absorbieron en el huevo y que les dura aproximadamente una semana (Spotila, 2004). Desafortunadamente, a pesar del gran número de huevos que pueden llegar a poner las tortugas marinas, se calcula que sólo una de cada mil crías que eclosionan llegará a edad adulta.

Aunque se conoce poco de su fase de crías, hay evidencias de que las crías permanecen en zonas pelágicas donde hay giros y frentes marinos, lugares donde se acumulan mantos de sargazo y variedades de organismos que les proporcionan alimento y protección (además de amenazas, dada la contaminación presente en dichas zonas) (Witherington, Hirama y Hardy, 2012), a este periodo se le conoce como “el año perdido”, aunque algunos autores afirman que se puede tratar de varios años (Márquez, 1990).

Se ha comprobado mediante distintos métodos, incluyendo estudios moleculares con el ácido desoxirribonucleico (ADN) mitocondrial (con el cual se puede seguir y estudiar el linaje materno), que las tortugas hembras reproductoras regresan a anidar a la misma región de la playa donde nacieron, aunque algunas especies son más filopátricas que otras (Bowen y Karl,

2007). Además, pueden realizar extensas migraciones desde zonas de reproducción a zonas de alimentación, por lo que se ha demostrado que tienen la capacidad de orientarse a partir de corrientes superficiales oceánicas, gradientes de temperatura e incluso el uso de señales magnéticas durante la navegación (Plotkin, 2007).

INTERACCIÓN DEL HOMBRE CON LAS TORTUGAS MARINAS

Las tortugas marinas y los seres humanos han interactuado desde hace miles de años (Frazier, 2003). La especie humana apareció hace 1.8 millones de años (Pleistoceno). Se tienen registros que estos organismos han sido fuente de alimentación desde la cuna de la civilización, en la antigua Mesopotamia, hace aproximadamente

7,000 años, ya que se han encontrado restos óseos cerca del delta de los ríos Tigris y Éufrates (Frazier, 2003).

Los registros indican que había un comercio organizado de carne, huevos, conchas y escudos de

estos organismos. Las tortugas marinas no sólo eran fuente de alimentación, también tenían un significado especial para la gente, ya que en el tiempo que dominaron los babilonios en la región de Mesopotamia, hace 3,000 años, aproximadamente, las tortugas marinas eran un ícono cultural, representaban al dios de la sabiduría (Enki) (Spotila, 2004).

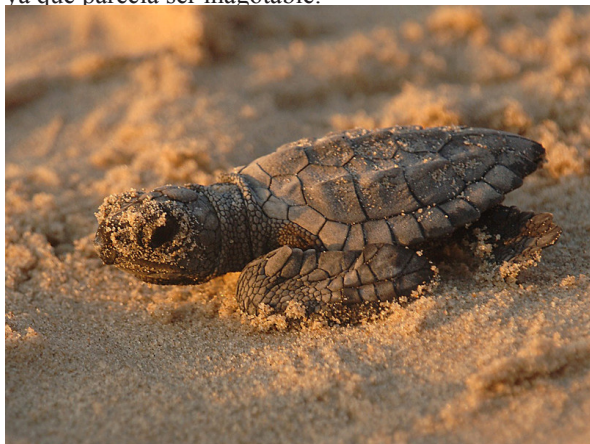
En la civilización hindú, hace 2,500 años, las personas consideraban que el mundo se posaba sobre la espalda de cuatro elefantes que permanecían de pie sobre una tortuga marina gigante, la cual nadaba en el inmenso océano levantando agua con sus aletas (Spotila, 2004).



En la cultura maya, estos ancestrales organismos, además de formar parte de su dieta, también representaban un símbolo cultural y religioso, ya que se han encontrado figuras de cerámica y altares de piedra en algunos centros ceremoniales (Frazier, 2003).

En Costa Rica, hace aproximadamente 1,500 años, los chibcha consideraban que los huevos de tortugas marinas eran alimento afrodisíaco; esta idea sigue vigente y puede deberse a la gran cantidad de huevos que las hembras son capaces de poner en una sola nidada (Spotila, 2004).

Por otra parte, las tortugas marinas jugaron un papel importante en las expediciones europeas realizadas al nuevo continente, ya que eran fuente de alimento que podían aprovechar durante las navegaciones. Cristóbal Colón, en 1503 d.C., descubrió las Islas Caimán y las bautizó como “Las tortugas secas”, por la gran cantidad de tortugas que observaron al llegar, las cuales se agregaban cerca de la costa para copular y posteriormente anidaban en las playas del territorio descubierto (Spotila, 2004). Desafortunadamente, en 1800 la población de tortugas de estas Islas Caimán había desaparecido, ya que posterior al descubrimiento de América se inició un mercado internacional de productos de tortugas marinas (principalmente carey) con exportaciones a Nueva York, Gran Bretaña, Francia y Japón, entre otros países (Meylan y Donnelly, 1999). El mercado de estos productos se extendió por otras partes del mundo, los marineros buscaban áreas donde explotar este recurso, ya que parecía ser inagotable.



ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS Y SUS IMPACTOS EN LAS TORTUGAS MARINAS

Aunado a la explotación de las tortugas marinas, sus poblaciones han disminuido debido a otras actividades

antropogénicas. A partir de la Revolución Industrial (1760-1840), las actividades humanas dejaron de basarse en la agricultura y artesanía para depender de la industria. A partir de entonces, y hasta la actualidad, la industria química se ha desarrollado de tal forma que se han sintetizado numerosos compuestos químicos para distintos usos.

Entre estos compuestos se encuentran los fármacos cosméticos, aditivos alimentarios, plaguicidas, productos de uso doméstico, productos derivados de la combustión de carburantes, o cualquier residuo procedente de la industria química, por mencionar algunos. La mayoría de estos productos son considerados contaminantes, es decir, tienen un efecto nocivo en el medio ambiente, aunque dependiendo de sus características (como toxicidad o capacidad de degradación) algunos pueden ser más perjudiciales que otros y por lo tanto tienen distintos efectos en los ecosistemas.

La mayoría de los contaminantes se han dispersado ampliamente por todo el mundo debido a las descargas y al acarreo de partículas por aire y agua hasta llegar a los ecosistemas marinos. Una vez que se presentan en los ecosistemas, los contaminantes pueden llegar a los distintos niveles tróficos provocando alteraciones en la salud poblacional de las tortugas marinas, y por tanto un decremento en sus poblaciones (Keller, 2013).

Algunos contaminantes son capaces de provocar alteraciones durante el desarrollo embrionario, ya sea que provoquen malformaciones congénitas (teratogénesis), o bien alteraciones hormonales (disruptores endocrinos) que tengan como consecuencia decremento en la supervivencia o un desequilibrio de proporción de sexos en las poblaciones (Bishop *et al.*, 1998; Guillette *et al.*, 1994), lo que puede afectar aún más la supervivencia de las tortugas marinas.



AFECTACIÓN DE CONTAMINANTES QUÍMICOS EN EL DESARROLLO EMBRIONARIO EN TORTUGAS MARINAS

En México, llegan a aguas territoriales y playas de anidación seis de las siete especies de tortugas marinas



que existen en el mundo: laúd (*Dermochelys coriacea*), carey (*Eretmochelys imbricata*), caguama (*Caretta caretta*), verde (*Chelonia mydas*), lora (*Lepidochelys kempii*) y golfina (*Lepidochelys olivacea*). Todas consideradas en peligro de extinción, por lo que la investigación de estos organismos es fundamental para tomar las medidas adecuadas de manejo y conservación.

Existen estudios que han proporcionado pruebas de que los contaminantes químicos pueden afectar la salud, la supervivencia o la reproducción de las tortugas marinas (Keller, 2013). Uno de ellos es el endosulfán, identificado recientemente en embriones de tortuga golfina con malformaciones congénitas (datos no publicados). El endosulfán es un plaguicida organoclorado altamente persistente en el ambiente, se concentra en agua, aire, suelo y sedimentos, donde puede contaminar a los organismos expuestos, se bioacumula en los tejidos grasos y se biomagnifica a través de la cadena alimenticia.

En 2011, el endosulfán se incluyó en el Anexo A del Convenio de Estocolmo para su eliminación en el mundo (UNEP, 2011), aunque todavía es usado en algunos países en vías en desarrollo. Este compuesto es catalogado como disruptor endocrino, y en organismos modelo (como ratones) se ha reportado que tiene efectos embriotóxicos y teratogénicos (Singh *et al.*, 2006).

Durante el desarrollo embrionario, mecanismos genéticos y epigenéticos trabajan en conjunto para dar origen a un nuevo ser. Los mecanismos epigenéticos controlan la expresión génica y son vulnerables a interrupciones ambientales (Dolinoy, 2008). La metilación del ADN es el mecanismo mejor estudiado y podría ser reprogramado durante el desarrollo embrionario por contaminantes ambientales. En el laboratorio de Biología Molecular del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD/ Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental) se investiga la metilación diferencial del ADN en embriones de tortuga golfina normales y con malformaciones congénitas. Se está analizando metilación tanto *locus*-específica como global. Al mismo tiempo, se analiza la concentración de plaguicidas organoclorados (como el endosulfán) en tejidos de embriones malforma-

dos con la finalidad de encontrar una posible relación entre contaminación y desarrollo embrionario en tortugas marinas.

REFERENCIAS

- Bishop, C.A., Pettit, K.E., Kennedy, S.W., *et al.* (1998). Environmental contamination and developmental abnormalities in eggs and hatchlings of the common snapping turtle (*Chelydra serpentina serpentina*) from the Great Lakes-St Lawrence River basin (1989–1991). *Environmental Pollution*. 101(1): 143- 156.
- Bowen, B.W., y Karl, S.A. (2007). Population genetics and phylogeography of sea turtles. *Molecular Ecology*. 16(23): 4886-4907.
- Dolinoy, D.C. (2008). The agouti mouse model: an epigenetic biosensor for nutritional and environmental alterations on the fetal epigenome. *Nutrition Reviews*. 66: S7-S11.
- Frazier, J. (2003). Prehistoric and ancient historic interactions between humans and marine turtles. *The biology of sea turtles*. 2: 1-38.

Guillette, L.J., Gross, T.S., Masson, G.R., *et al.* (1994). Developmental abnormalities of the gonad and abnormal sex hormone concentrations in juvenile alligators from contaminated and control lakes in Florida. *Environmental Health Perspectives*. 102(8): 680-688.

Jensen, M.P., Abreu-Grobois, F.A., Frydenberg, J., *et al.* (2006). Microsatellites provide insight into contrasting mating patterns in arribada vs. non-arribada olive ridley sea turtle rookeries. *Molecular Ecology*. 15(9): 2567-2575.

Keller, J.M. (2013). Exposure to and Effects of Persistent Organic Pollutants. *The Biology of Sea Turtles*. 3: 285.

Lappin, T.R., Grier, D.G., Thompson, A., *et al.* (2006). HOX genes: seductive science, mysterious mechanisms. *The Ulster medical journal*. 75(1): 23.

Márquez, R. (1990). *FAO species catalogue, v. 11: Sea turtles of the world*. FAO Fisheries Synopsis. Pp. 81.

Meylan, A.B., y Donnelly, M. (1999). Status justification for listing the hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) as critically endangered on the 1996 IUCN Red

List of Threatened Animals. *Chelonian Conservation and Biology*. 285 3(2): 200-224.

Plotkin, P.T. (2007). *Biology and Conservation of the Ridley Turtles*. Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins University Press. Pp. 356.

Singh, N.D., Sharma, A.K., Dwivedi, P., *et al.* (2006). Citrinin and endosulfán induced teratogenic effects in Wistar rats. *J. Appl Toxicol*. 27(6):589-601.

Spotila, J.R. (2004). *Sea turtles: A complete guide to their biology, behavior, and conservation*. Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins University Press. Pp. 227.

UNEP. (2011). *Endosulfan included under the Convention. Fifth meeting of the conference of the parties to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants*. Disponible en: <http://chm.pops.int/Convention/COP/Meetings/COP5/tabid/1267/mctl/ViewDetails/>

Witherington, B., Hiram, S., y Hardy, R. (2012). Young sea turtles of the pelagic Sargassum-dominated drift community: Habitat use, population density, and threats. *Marine Ecology Progress Series*. 463: 1-22.

