

Orientándose hacia el mar: la interacción entre modalidades sensoriales define la ruta de desplazamiento en crías de la tortuga marina negra *Chelonia agassizi*

Alma Lilia Fuentes-Farías^{1*}, Verónica Camarena-Ramírez^{1,#}, Gerardo Ochoa-Tovar^{1,#}, Julieta Mendoza-Torreblanca², Jaime Urrutia-Fucugauchi³, María Luisa García Zepeda⁴, Víctor H. Garduño-Monroy⁵, Ligia Pérez-Cruz³, Gabriel Gutiérrez-Ospina² y Esperanza Meléndez Herrera^{1*}

¹ Laboratorio de Invertebrados y Ecología Sensorial, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Ciudad Universitaria, Morelia Michoacán, México 58230. ² Laboratorio de Biología de Sistemas, Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México D.F., 04510. ³ Laboratorio de Paleomagnetismo y Paleoambientes, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México D.F., 04510. ⁴ Laboratorio de Paleontología, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Ciudad Universitaria, Morelia Michoacán, México, 58230. ⁵ Laboratorio de Geología, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia 58030, México.

Resumen

Durante mucho tiempo se ha creído que la habilidad de las crías de tortuga marina para encontrar el mar inmediatamente después de su eclosión depende por entero de la información visual. Sin embargo, en la mayoría de los vertebrados, el desplazamiento orientado hacia un sitio específico requiere del procesamiento de información ecológicamente relevante, adquirida a través de los diferentes sistemas sensoriales. A este proceso neurofisiológico se le conoce como integración multisensorial. En este sentido, se ha propuesto que las tortugas marinas utilizan información, visual, olfativa, somestésica y magnética para navegar sobre sus rutas migratorias entre los sitios de reproducción y aquéllos de alimentación. Es insostenible, por tanto, la suposición de que el desplazamiento de sus crías hacia el mar esté exclusivamente definido con base en referencias visuales, especialmente si se considera que las crías de tortuga marina son organismos precoces. Así, es probable que todos los sistemas sensoriales pudiesen ser funcionales desde la eclosión. En nuestra contribución, discutimos esta última posibilidad basándonos en hallazgos originales recientes que evidencian que la información visual no es suficiente para asegurar el desplazamiento eficiente de las crías de la tortuga negra *Chelonia agassizi* hacia el mar, sino que ésta requiere de complementarse con información olfativa y magnética.

Palabras clave: *Magnetocepción, olfacción, integración multisensorial.*

Abstract

It has been thought that the ability of sea turtle hatchlings to find the seashore soon after hatching depends upon visual information. Navigation and traveling in most vertebrates, however, rely on information gathered through different sensory systems. Hence, in this work we investigated whether olfactory and magnetic sensory information complements that of visual origin by altering olfactory and magnetic sensations while turtle hatchlings crawled towards the sea. Acute olfactory deprivation and distorted magnetic sensation in visually competent hatchlings resulted in a scattering of the seaward crawling routes among cardinal points different from those strongly preferred by the control hatchlings. In addition, most of the visually-competent turtle hatchlings with transient olfactory deprivation did not reach the sea shore within the latency observed in control turtles. A significant delay in this parameter was also observed in hatchlings subjected to magnetic distortions of 85mT. Olfactory and magnetic information, none the less, were not sufficient to correct crawling orientation in hatchlings deprived from visual information. We think that these results combined support that olfactory and magnetic information may improve the psychophysical performance of the visual system (e.g., visual attention) through intermodal or cross-modal interactions, and that turtle hatchlings do not have a pre-formed cognitive map but that they integrate their displacement path as they move towards the sea based upon their immediate sensory experience.

Key words: *Magnetoreception, olfaction, multisensory integration.*

Introducción

Las crías de las tortugas marinas se desplazan hacia el mar tan pronto como emergen del nido. Debido a que este comportamiento es desplegado por las crías aún cuando no han tenido experiencia previa con su entorno, podría pensarse que

dicha conducta esta genéticamente determinada y especificada en los circuitos del cerebro antes de que la eclosión ocurra. Sin embargo, evidencia empírica que muestra que el comportamiento de desplazamiento hacia el mar puede ser perturbado mediante la exposición de las crías a la luz artificial u horizontes iluminados

*Autor de correspondencia: Dra. Alma Lilia Fuentes-Farías, email: almafuentes70@hotmail.com; Dra. Esperanza Meléndez Herrera, email: oazul74@gmail.com. Laboratorio de Invertebrados y Ecología Sensorial, Facultad de Biología, Edificio B-4, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Ciudad universitaria, avenida Francisco J. Múgica s/n, Morelia Michoacán, México 58230. Teléfono: (443) 322-3500 ext. 4225, fax: (443) 316-7412

#Estos autores contribuyeron de igual manera al presente trabajo.

(Salmon *et al.*, 1992, 1995; Tuxbury y Salmon, 2005) sugiere que dicho desplazamiento hacia el mar no está “pre-programado” en el cerebro de las crías al momento de la eclosión, y que pudiese ajustarse constantemente conforme las crías discurren en la superficie de las playas hasta alcanzar el mar.

Diversos estudios en varias especies de vertebrados apoyan que el comportamiento orientado a alcanzar un fin o meta es el resultado de la integración de la información adquirida a través de diferentes modalidades sensoriales (Stein *et al.*, 2009). Dicha integración tiene lugar en áreas del cerebro que se denominan multisensoriales, una de las cuales es el colículo superior o el tecto óptico ubicados, respectivamente, en la región rostral del tallo cerebral de vertebrados superiores e inferiores. Si bien estudios de comportamiento sugieren que bajo ciertas circunstancias los organismos pudieran hacer uso preferencial de una modalidad sensorial para adquirir información que les permite definir la orientación de sus movimientos (e.g., Samsonovich y McNaughton, 1997), existe evidencia abundante que muestra que también se requiere de información complementaria adquirida en paralelo a través de los sistemas “no preferidos” para decidir la dirección de su desplazamiento (Walcot, 2005). En este contexto, existe abundante información sobre el papel que juegan los estímulos visuales en la modulación del comportamiento de desplazamiento hacia el mar de las crías de las tortugas marinas (Salmon *et al.*, 1992, 1995; Tuxbury y Salmon, 2005). Sin embargo, muy poco se sabe sobre las señales sensoriales complementarias que podrían ser utilizadas por estos organismos para alcanzar el mar. Así, en este trabajo investigamos este aspecto mediante el análisis cuali-cuantitativo de la eficiencia del comportamiento de desplazamiento hacia el mar de crías de la especie *Chelonia agassizi* sujetas a experiencias visuales, olfativas y magnéticas alteradas.

Materiales y métodos

Los experimentos de comportamiento fueron llevados a cabo con tortugas recién eclosionadas (23-25 gramos de peso corporal) de la especie *Chelonia agassizi* (n=10-16 por grupo experimental). Los especímenes fueron colectados en la zona de vivero, tan pronto como emergieron del nido y transferidos a un lugar de la playa en donde los nidos naturales abundaban. Todos los experimentos fueron conducidos en la playa de Colola (103° 26' W, 18° 18' N, Michoacán, México). Un nido natural fue arbitrariamente seleccionado como sitio de partida, este se ubicó a 122 metros de distancia de la zona de rompiente. Las crías fueron divididas en 6 grupos, cada individuo fue sujeto a una sola prueba, y todas las pruebas fueron realizadas entre las 10:00 PM y las 2:00 AM. Las crías que no fueron sujetas a manipulación experimental conformaron el grupo control. El segundo grupo de crías fue sujeto a estimulación visual intermitente con una linterna de 9 voltios situada aproximadamente a 30 centímetros al frente a la ruta de desplazamiento y 50 centímetros arriba de sus cabezas. La linterna se prendió y apagó intermitentemente cada tres minutos. Para probar el fototropismo, el experimentador se movió al azar alrededor de la cría mientras la luz se encontraba encendida. Crías en las que los ojos se mantuvieron cerrados mediante el uso de cinta Millipore colocada sobre los párpados constituyeron el tercer grupo (**Figura 1A**). El cuarto grupo incluyó crías a las que se les obliteró transitoriamente las narinas con cera de hueso (**Figura 1B**). Los grupos quinto y sexto, fueron conformados por crías a las que se les fijaron mediante cintas adhesivas imanes de 350mT (4.5gramos de peso) o de 85mT (0.04 gramos de peso) sobre el caparazón o el cráneo, respectivamente (**Figura 1C y D**).

Para establecer los parámetros de referencia, las crías del grupo control fueron liberadas una a una y el tiempo que tomaron en llegar al mar (i.e. latencia) fue registrado. El cronómetro fue detenido al primer contacto de las crías con el

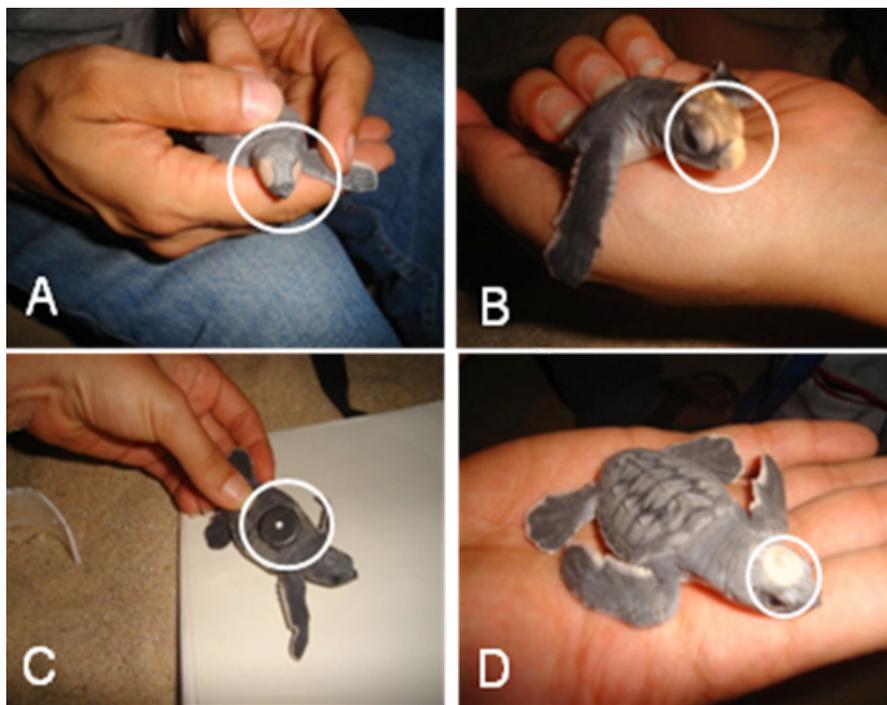


Figura 1. Fotografías que ilustran algunos de los procedimientos utilizados para la alteración sensorial de la información visual (A), olfatoria (B) y magnética (C, 350mT y D, 85mT) en crías de *Chelonia agassizi* durante su desplazamiento del nido hacia el mar. Los círculos encierran los parches adhesivos usados para mantener los ojos de las crías cerrados (A), la cera utilizada para obliterar los nostrilos (B), el imán de 350mT adherido al caparazón (C) y el imán de 85mT pegado al cráneo mediante un parche adhesivo.

agua del mar. La latencia promedio de las tortugas control fue de 15.35±3.21 minutos. Con base en esta cifra se consideró que aquellas crías controles o pertenecientes a cualquiera de los otros grupos experimentales que ejecutaran la prueba con una latencia mayor a 20 minutos habían fallado la misma. De esta forma, se registró el número de crías que terminaron la prueba dentro del parámetro temporal establecido como un índice de eficiencia de desempeño de la tarea por grupo experimental. Adicionalmente, fue determinado el vector de orientación trazando una línea del nido de partida hasta la posición final de cada cría al término de la prueba conductual. Este vector nos llevó a 1) establecer la dirección de la ruta de desplazamiento de cada cría en relación al norte magnético y 2) estimar la dispersión de las rutas de desplazamiento de los sujetos dentro y entre grupos. El vector de orientación fue también utilizado para estimar la distancia lineal que fue recorrida por cada cría en los diferentes grupos experimentales. Aunque estamos conscientes de que este último parámetro puede generar sobreestimaciones dada la morfología de la playa, pensamos que provee una medida objetiva de la efectividad del desplazamiento con respecto a su objetivo (i.e., alcanzar el mar en el menor tiempo posible). Todas las crías usadas para llevar a cabo los experimentos fueron liberadas al mar al término de la sesión previa restitución de sus sentidos. La comparación entre variables cuantitativas - latencia y distancia recorrida - fue llevada a cabo haciendo uso de la prueba estadística de suma de rangos de Mann-Whitney. Las variables cualitativas - comportamiento y orientación preferida - fueron comparadas mediante la prueba de Chi-cuadrada, seguida de la prueba de exactitud de Fisher (Tabla 1). En todos los casos el nivel de significancia fue de p<0.01. Los procedimientos experimentales

siguieron las guías publicadas por los institutos nacionales de salud para el cuidado y uso de animales de laboratorio y fueron revisados y aprobados por los comités de ética de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT Permisos No. SGPA/DGVS/10 414, 14340, 5896).

Resultados

Al comienzo de las pruebas conductuales todas las crías, independientemente del grupo experimental al que pertenecían fueron colocadas en el nido de origen, siempre orientadas en dirección contraria al mar. Las crías del grupo control corrigieron su posición de salida de manera inmediata y encontraron su camino trepando rápidamente por las paredes del nido. Durante la travesía, sus movimientos fueron rápidos, vigorosos y firmes, y no hubo vacilación conforme avanzaban a través de la playa. Evadieron de manera efectiva los montículos de arena y dunas con vegetación. Las crías del grupo control se movieron casi en línea recta del nido de partida hacia el mar, desplazándose en vectores que apuntaron hacia el sur y suroeste (Figura 2, Tabla 1).

Las crías del grupo sometidas a estimulación con luz intermitente, corrigieron rápidamente su posición inicial e inmediatamente se movieron hacia el mar trepando por las paredes del nido siguiendo rutas de desplazamiento relativamente rectas. Desplegaron movimientos rápidos, vigorosos y firmes durante toda la prueba. Una vez fuera del nido y cuando la luz fue encendida, todas las crías mostraron un fuerte fototropismo y siguieron fielmente los movimientos al azar de la linterna sostenida por el experimentador. Esta circunstancia afectó profundamente la dirección del vector de orientación, la magnitud de la distancia

Tabla 1. Parámetros de desplazamiento determinados en las pruebas experimentales aplicadas a crías de *Chelonia agassizi* sujetas a diferentes manipulaciones sensoriales

| Grupo preferido | Latencia media±SD | Distancia Recorrida media±SD | No. Ind. | Vector de orientación (No. de animales) | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------|--|---|----|----|----|-----|
| | | | | E | S | NE | W | SW | |
| | | | | | | | | | |
| NW | | | | | | | | | |
| Control | 15.35 ± 3.21 | 122 | 15/15 | | | | 14 | | 1 |
| Luz Intermitente | Prueba Fallada * | 70 ± 21* | 0/14* | | | | 9 | | 4 1 |
| Privadas de 3 Visión | Prueba Fallada * | 48 ± 16* | 0/10* | | | | 7 | | |
| Privadas de Olfacción | 16.82 ± 1.85 Prueba Fallada * | 122 90±16* | 4/14* 10/14 | | | | 8 | | 4 2 |
| Distorsión 1 Magnética (350 mT/4.5gr) | Prueba Fallada * | 83 ± 13* | 0/16* | | | | 5 | 2 | 1 7 |
| Distorsión Magnética (85mT) | 17.02 ± 3.0 Prueba Fallada * | 122 104±8* | 8/15* 7/15 | | | | 2 | 6 | 3 2 |

Estadística:
Prueba de suma de rangos de Mann-Whitney versus control: * p<0.001, † p<0.01, ‡ p<0.003
Chi-cuadrada=53.784, Df=5, † p<0.001; Chi-cuadrada=27.125, Df=1, p<0.001; Chi-cuadrada=66.7, Df=10, p<0.001
Prueba exacta de Fisher: §p<0.001, ¶p<0.006

Latencia en minutos; Distancia recorrida en metros; No., número de individuos que superaron o fallaron la prueba / número total de crías evaluadas por grupo.

Símbolos: E, Este; S, Sur; NE, Noreste; W, Oeste; SW, Suroeste; NW, Noroeste

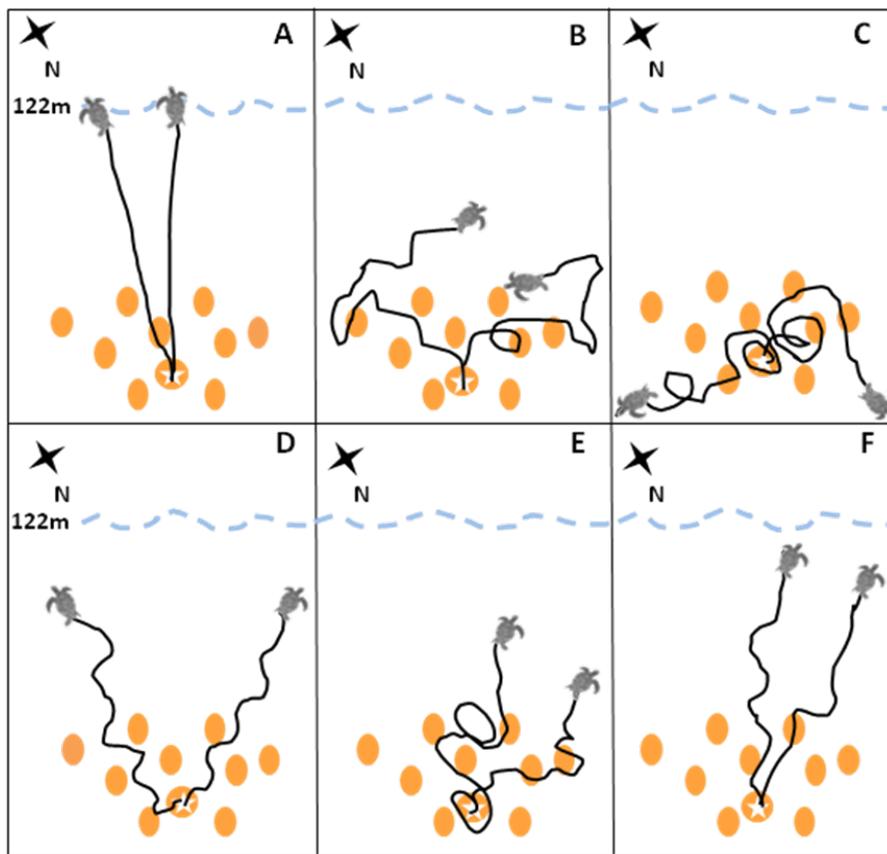


Figura 2. Esquemas de las rutas recorridas por las crías de tortuga *Chelonia agassizi* de cada uno de los grupos experimentales. (A) Las crías de grupo control se desplazaron en vectores de orientación en dirección sur-sureste predominantemente, casi en línea recta desde el nido de partida hasta la zona de rompiente; (B) Las del grupo sujeto a estimulación visual siguieron vectores que apuntaron a diferentes puntos cardinales, altamente influenciados por la posición relativa del experimentador al final de la prueba; (C) La condición de privación visual, resulto en una franca y total desorientación de las crías, estas se desplazaron en direcciones opuestas al mar, noreste y noroeste; D) En cuanto al grupo de crías sometidas a privación del olfato, estas, se movieron de manera titubeante a lo largo de vectores orientados hacia el este, oeste y suroeste, en un ángulo mucho más amplio que el trazado por los vectores de las crías del grupo control; (E) Las crías sometidas a distorsiones del campo magnético a través de la colocación de imanes de 350mT mostraron franca desorientación, ninguna de las crías del este grupo pudo concluir la prueba satisfactoriamente. Los vectores de desplazamiento mostraron direcciones muy variadas, hacia el este, sur, noreste y oeste; (F) Finalmente las crías a las que se les colocaron imanes 85mT, apuntaron también en diferentes direcciones cardinales, este, sur, noreste y suroeste aunque 8 de las 15 en este caso lograron concluir la prueba satisfactoriamente.

recorrida y el desempeño durante la prueba. Ninguna de las crías terminó la prueba satisfactoriamente. Sus movimientos siguieron vectores que apuntaron a diferentes puntos cardinales, influenciados por la posición del experimentador en la playa al final de la prueba (Figura 2). Cuando la luz fue situada sobre dunas de vegetación o montículos de arena las crías no las evadieron y trataron de pasar a través de ellos a toda costa. Una observación interesante fue que tan pronto como se apagaba la linterna, las crías reorientaban rápidamente su desplazamiento hacia el mar independientemente de su posición en el momento (Tabla 1).

Las crías sometidas a privación visual se mostraron por completo desorientadas desde el primer momento de la prueba experimental. Una vez colocadas en el nido de partida nunca corrigieron su posición y se movieron en círculos siguiendo la circunferencia del nido por varios minutos. Después de este periodo, salieron del nido siguiendo rutas tortuosas con dirección a diferentes puntos cardinales, raramente hacia el mar. Aunque sus movimientos fueron altamente erráticos fueron siempre firmes y vigorosos. Los vectores de orientación predominantes fueron en direcciones este y noroeste (Figura 2). Nunca evadieron las dunas de vegetación y montículos de arena. Como resultado, ninguna de las crías privadas de visión llegó al mar (Tabla 1).

Las crías privadas de olfato se mostraron confusas desde el inicio de la prueba. Raramente corrigieron la orientación de la posición inicial. Estas crías, sin embargo, comenzaron a desplazarse inmediatamente después de colocadas en el nido de partida. Encontraron su camino fuera del nido trepando por sus paredes y moviéndose en dirección a diferentes puntos

cardinales. Aunque sus movimientos fueron firmes y rápidos, hubo momentos en los que se mostraron titubeantes. Las rutas de desplazamiento fuera del nido fueron tortuosas, frecuentemente se encontraron y atravesaron dunas con vegetación y montículos de arena. Las crías privadas de olfato se desplazaron sobre vectores con dirección este, noroeste y suroeste (Figura 2). Solo 4 de las 14 crías terminaron la prueba satisfactoriamente (Tabla 1).

Las crías a las que les fueron colocados magnetos de 350 mT en su caparazón mostraron flacidez inmediatamente después de adherir el magneto. Estas no corrigieron la orientación de su posición inicial y permanecieron inmóviles cerca de 5 segundos antes de iniciar su desplazamiento. Las crías de este grupo prepararon fuera del nido a través de rutas tortuosas rara vez orientadas en dirección al mar. Una vez fuera del nido, estas crías paraban su desplazamiento y corregían su dirección frecuentemente. Las direcciones de los vectores de orientación fueron muy variadas en este grupo experimental, hacia el este, sur, noreste, oeste y suroeste (Figura 2). Ninguna de las crías de este grupo terminó la prueba satisfactoriamente (Tabla 1). Para probar que lo observado en el grupo anterior no fue producto del efecto del peso del imán, se llevó a cabo un experimento similar cargando a las crías con un peso equivalente alcanzado por un material diamagnético. El desplazamiento observado en las crías de este grupo fue absolutamente comparable al grupo control tanto en dirección (sur y suroeste) como en latencia (17.33 ± 1.15 min).

Finalmente, las crías que portaron magnetos de 85mT adheridos a sus cráneos corrigieron de manera inmediata su posición e iniciaron su desplazamiento hacia el mar tan pronto como se les colocó en el nido de partida. Una vez fuera del nido,

se desplazaron con movimientos vigorosos y rápidos. Si bien su movimiento fue continuo, estas crías cambiaban su dirección de desplazamiento continuamente mientras cruzaban la playa (Figura 2). Como resultado las direcciones de los vectores de orientación fueron variadas apuntando hacia el este, sur, noreste o suroeste. Ocho de las 15 crías de este grupo terminaron la prueba satisfactoriamente (Tabla 1). Las crías que terminaron satisfactoriamente la prueba, sin embargo, mostraron un retardo significativo de la latencia comparadas con las del grupo control.

Discusión

Estudios previos sostienen que los estímulos visuales son las señales guía utilizadas por las crías de tortuga marina para orientar sus rutas de desplazamiento del nido hacia el mar, (Salmon *et al.*, 1992, 1995; Tuxbury y Salmon, 2005). La profunda desorientación observada en las crías de *Chelonia agassizi* sujetas a privación visual y a estimulación con luz artificial confirma esta concepción. Nuestros resultados, sin embargo, sugieren que las señales magnéticas y olfativas complementan las referencias visuales. Esto se sostiene en los hechos de que 1) la distorsión del campo magnético y la privación del olfato en tortugas visualmente intactas resultó en una dispersión significativa de sus direcciones de desplazamiento al ser comparadas con las orientaciones seguidas por las crías del grupo control; 2) La mayoría de las crías intactas visualmente, sujetas a privación del olfato no alcanzaron el mar en la ventana de tiempo considerada como norma; 3) las crías sujetas a distorsión del campo magnético generada por un magneto de 85mT y que terminaron la prueba, mostraron tiempos de latencia mucho mayores que la crías del grupo control. En este punto, cabe hacer mención de que a pesar de la relativa importancia de la olfacción y la magnetocepción para la orientación de las rutas del nido hacia el mar, las crías visualmente privadas no pudieron compensar la pérdida de su conducta haciendo uso de estímulos magnéticos u olfativos para asegurar su llegada al mar. Esto no es sorprendente, ya que no se permitió que las crías se habituaran a su condición de privación visual; compensaciones de comportamiento de este tipo suelen ser observadas en individuos después de varias horas, días o incluso semanas después de la privación visual, (Lewald, 2007). Sería necesario diseñar experimentos enfocados a evaluar los efectos de la privación visual crónica en las crías de tortuga durante su desplazamiento del nido hacia el mar.

Estudios de comportamiento previos sugieren que las crías de tortuga marina utilizan la información magnética para orientar sus movimientos una vez que se encuentran en el mar (Lohmann y Lohmann, 1994; Goff *et al.*, 1998; Irwin y Lohmann, 2003; ver también Samsonovich y McNaughton, 1997). Nuestros resultados muestran que la habilidad de percibir información magnética está ya en función al momento de la eclosión y es utilizada para ayudar en la orientación de desplazamiento de la cría del nido hacia el mar. Esto se sustenta en la observación de que la distorsión del campo magnético en crías visualmente intactas resulta en una marcada dispersión de la dirección de las rutas de desplazamiento. Esta circunstancia redujo significativamente el número de crías que se movieron en vectores de orientación con dirección al mar. En adición, nuestros resultados también apoyan que el sistema magnetoceptivo en las crías de tortuga posee un

rango de umbrales de respuesta ya que el grado de desorientación fue en razón de la magnitud de la intensidad del magneto usado; el número de crías que siguieron rutas hacia el mar con dirección sur o suroeste fue menor conforme la intensidad del magneto incrementó. En este contexto cabe resaltar que aunque el sobrepeso pudiera explicar las frecuentes interrupciones y prolongación de la latencia en crías a las que se les colocaron los magnetos particularmente de 350 mT, es improbable que explique la desorientación observada en este grupo de crías pues el sobre peso no afectó la dirección de orientación de los vectores de desplazamiento. Este hecho se corrobora también por la observación de que las rutas de desplazamiento de las crías que portaban magnetos de 85 mT (0.4gr de peso) mostraron una dispersión de sus vectores de orientación, en comparación con los obtenidos para el grupo control.

Finalmente, las crías de tortuga marina se mueven hacia el mar tan pronto como emergen del nido. Esto puede ser un indicio de que el comportamiento de desplazamiento hacia el mar esta de alguna manera impreso en los circuitos cerebrales antes de la eclosión. El fototropismo positivo junto con los efectos de la disrupción de la información olfatoria y magnética muestra que el comportamiento de desplazamiento es constantemente ajustado con base en su experiencia. Así, las crías de tortuga no parecen poseer un mapa cognitivo preformado sino que integran su ruta de desplazamiento conforme se mueven hacia el mar basándose en su experiencia sensorial inmediata. Pensamos además que nuestros resultados sostienen la noción de que las crías de tortuga marina pueden haber heredado el tropismo por la luz pero no el comportamiento de desplazamiento hacia el mar como un todo. El hecho de que el desempeño de desplazamiento hacia el mar de crías visualmente intactas se altere como resultado de la obliteración nasal o la colocación de magnetos, y que la olfacción y magnetocepción no logran compensar la falta de información visual, nos hace suponer que la información olfativa y magnética ayudan a mejorar el desempeño psicofísico del sistema visual a través de interacciones intermodales (Guo y Guo, 2005). Esta última posibilidad deberá de ser estudiada mediante técnicas electrofisiológicas en un futuro mediano.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Luz Lilia Jiménez Rico por su apoyo técnico, a la LIBB. Raquel Martínez Méndez y a la Dra. Guillermina Yankelevich por sus consejos y apoyo en diseño estadístico. También agradecemos a Ángel Ontiveros Aquino y al grupo de trabajo del campamento tortuguero en Colola, Michoacán, por brindarnos las facilidades y apoyo logístico para la realización de los experimentos. Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (94312 y 82879) y por la Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (No.8.37). El presente trabajo fue autorizado por la SEMARNAT (Permisos No. SGPA/DGVS/10 414, 14340, 5896).

Referencias

- Goff M, Salmon M, Lohmann KJ. 1998. Hatchling sea turtles use surface waves to establish a magnetic compass direction. *Animal Behavior*, 55(1): 69-77

- Guo G, Guo A.** 2005. Crossmodal interaction between olfactory and visual learning in *Drosophila*. *Science*, 309 (5732): 307-310
- Irwin WP, Lohmann KJ.** 2003. Magnet-induced disorientation in hatchling loggerhead sea turtles. *J Exp Biol.*, 206: 497-501.
- Lewald J.** (2007). More accurate sound localization induced by short-term light deprivation. *Neuropsychologia* 45(6): 1215-22.
- Lohmann K, Lohmann C.** 1994. Acquisition of magnetic directional preference in hatchlings loggerhead sea turtles. *Journal of Experimental Biology*, 190(1): 1-8.
- Samsonovich A, McNaughton BL.** 1997. Path Integration and Cognitive Mapping in a Continuous Attractor. Neural Network Model Alexei. *Journal of Neuroscience*, 17(15): 5900-5920.
- Salmon M, Wyneken J, Lucas M.** 1992. Seafinding by Hatchling sea turtles: role of brightness, silhouette and beach slope as orientation cue. *Behaviour*, 122: 56-77.
- Salmon M, Garro M, Pender D, Goff M, Reiners R.** 1995. Behavior of Loggerhead Sea Turtles on an Urban Beach. *Journal of Herpetology*, 29(4): 568-576, doi:10.2307/1564740.
- Stein BE, Stanford TR, Rowland BA.** 2009. The neural basis of multisensory integration in the midbrain: its organization and maturation. *Hear Res.*, 258(1-2): 4-15
- Tuxbury SM, Salmon M.** 2005. Competitive interactions between artificial lighting and natural cues during seafinding by hatchling marine turtles. *Biological Conservation*, 121: 311-316.
- Walcot C.** 2005. Multi-modal Orientation Cues in Homing Pigeons. *Integrative and Comparative Biology*, 45: 574-581.