



Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas

CIT-CC12-2015-Tec.10

Estrategias de mitigación para reducir el impacto del cambio climático en las playas de anidación

El presente documento ha sido elaborado por el Grupo de Trabajo de Cambio Climático del Comité Científico de la CIT y contiene recomendaciones sobre: a) los datos ambientales mínimos para recolectar en las playas índices en la región de la CIT y b) las estrategias de mitigación para reducir el impacto del cambio climático en las playas de anidación. Se recomienda su utilización en apoyo a la implementación de la Resolución CIT-COP4-2009-R5 sobre la adaptación de los hábitats de las tortugas marinas al cambio climático.

1. Comportamiento de anidación de las tortugas marinas

Las tortugas marinas ponen sus huevos en playas arenosas, y la incubación de huevos se produce dentro de un rango de tolerancia térmica de aproximadamente 25-27°C a 33-35°C lo cual varía según la especie y la población (Ackerman 1997). Los embriones pueden ser más sensibles al tiempo transcurrido a una temperatura potencialmente estresante que a la temperatura en sí (Howard et al 2014). El tiempo de incubación disminuye al aumentar la temperatura dentro del rango de tolerancia térmica (Ackerman 1997). La temperatura del aire en la superficie de la arena afecta a la temperatura del nido (Ackerman et al 2004; Standora y Spotila 1985). La exposición y absorción de la radiación solar, el aspecto y la sombra de la vegetación (Horrocks y Scott 1991), el color de la arena (Hays et al 2001), la distancia del nido al mar (Fuentes et al 2009, Girondot & Kaska 2015), la profundidad del nido, y la estación (Davenport 1997; Baker-Gallegos et al 2009) todos potencialmente pueden afectar la temperatura que los huevos experimentan. Aparte de estos factores físicos que afectan las temperaturas de la playa, los huevos generan su propio calor metabólico durante el desarrollo y esto varía con el tamaño y sección del nido (Broderick et al 2001). Las altas temperaturas durante la incubación se han asociado con una disminución de los niveles de oxígeno que se han vinculado a las crías de menor tamaño con reducidas capacidades locomotoras que pueden afectar en la emergencia del nido, y exponiéndolos a una mayor depredación tanto durante su camino hacia el mar como en sus primeros nados en alta mar (Matsuzawa et al. 2002; Segura y Cajade 2010; Howard et al 2014).

Las características utilizadas por las hembras para seleccionar los sitios de anidación en la playa todavía no son bien entendidas. La mayoría de las tortugas marinas muestran una alta fidelidad con el hábitat de anidación utilizado por una hembra adulta situado dentro de la región donde nació (Miller 1997), y las anidadoras típicamente regresan a anidar dentro de los 5 kilómetros de sus nidos anteriores (Miller et al 2003). Las tortugas baula tienden a colocar sus nidos más ampliamente distribuidos que otras especies (e.g. Witt et al. 2008). La batimetría cerca a la costa es un factor probable en la determinación del punto de emergencia en la playa, (Provanha & Ehrhart 1987), pero las hembras puede elegir la ubicación para la deposición de sus huevos basados en la pendiente, la distancia hacia el interior de la marca de marea alta, la humedad de la arena, el tamaño de las partículas de arena, la temperatura, la salinidad y/o la presencia de

vegetación entre otras cosas. Para la mayoría de las especies de tortugas marinas, estas señales llevan a las hembras a anidar en las elevaciones más altas (Horrocks & Scott 1991; Madera y Bjorndal 2000, Santos et al. 2015) muy por encima de la línea de marea alta, en la arena que es estable durante el tiempo suficiente para permitir una incubación exitosa. En las playas en sitios con desarrollo costero, las construcciones impiden el acceso adecuado a los sitios y las luces artificiales pueden desempeñar un papel en la selección de sitios de anidación (Reece et al 2013). En las playas donde la migración hacia tierra se previene por el desarrollo humano, se produce una compresión del litoral. Esto tendrá consecuencias cada vez más graves para las hembras anidadoras cuando los niveles del mar suban (Mazaris et al 2009).

1.2 Determinación del sexo dependiente de la temperatura

El sexo de las tortugas marinas es determinado por la temperatura que los huevos experimentan durante el tercio medio de la incubación, produciendo más hembras a temperaturas más altas y más machos a temperaturas más bajas (Yntema y Mrosovsky 1982). El rango de temperatura en el que la proporción de sexos cambian de 100% machos a 100% hembras varía entre las especies de tortugas marinas y entre poblaciones, pero en general el rango es pequeño (1-4°C), lo que sugiere que incluso pequeños aumentos en la temperatura dará lugar a cambios profundos en la proporción de sexos producidos (Poloczanska et al 2009). La temperatura pivotal se define como la temperatura que produce una proporción de sexos 1:1. La temperatura pivotal para las especies de tortugas marinas que se encuentran dentro de la región de la CIT se muestran en el Cuadro 1. Es notable que aunque hay una pequeña variación en las temperaturas pivotaes de área a área, hay poca variación latitudinal de las temperaturas pivotaes.

Cuadro 1. Temperatura Pivotal (°C) de varias especies de tortugas marinas (Ackerman 1997; *Glen y Mrosovsky 2004; #Chevalier et al 1999; Marcovaldi et al 2014)

Especie	Temperatura Pivotal °C
<i>Chelonia mydas</i>	28.26
<i>Caretta caretta</i>	28.74
<i>Lepidochelys olivácea</i>	29.13
<i>Eretmochelys imbricata</i>	29.2*-29.32
<i>Dermochelys coriacea</i> #	29.5

2. Impactos del cambio climático sobre el hábitat de anidación

En todos, excepto el escenario de bajas emisiones, las temperaturas globales a finales del siglo 21 son probables que sean al menos 1.5°C más altas, en comparación con los años 1850-1900. En los dos escenarios de emisiones más altas, el calentamiento global es probable que sea de 2°C y podría aumentar en 2.6-4.8°C para el año 2100, si se produce el escenario de emisiones más altas del IPCC (Quinto Informe de Evaluación del IPCC 2014). Los niveles del mar globales han estado subiendo desde 2.8-3.6 mm por año desde 1993, y en el caso de un calentamiento de 4°C el resultado predicho sería un aumento del nivel del mar de 0.5-2.0 m para el año 2100, si el escenario de emisiones más altas IPCC ocurriera (Informe de la Quinta Evaluación IPCC (AR5) 2014). Desde 1993, los niveles del mar globales han aumentado 2.8–3.6 mm por año, y para los años 2081-2100 se predice un aumento de entre 0.26 y 0.82m para los diferentes escenarios de emisiones en IPCC AR5. El aumento de los niveles del mar reducirá la disponibilidad de playas de anidación en la línea costera o en pequeñas islas, y donde el desarrollo costero y la ocupación

de la playa impida la migración hacia tierra (Fish et al. 2005, 2008). El continuar con el desarrollo de la línea costera sin tener en cuenta las zonas alternativas para la anidación de tortugas marinas amenaza a las poblaciones de tortugas marinas si las áreas actuales se vuelven inadecuadas o inutilizables. La coincidencia espacio-temporal de anidación de tortugas marinas con las regiones afectadas por los huracanes y tormentas tropicales, sugiere que la pérdida cíclica de las playas de anidación, disminuyó el éxito de eclosión y un menor éxito de emergencia de los neonatos también podría ocurrir con mayor frecuencia (Fuentes et al 2011). Las temperaturas del aire se correlacionan con la temperatura de la arena (Laloë et al 2014), y las temperaturas del aire ya han alcanzado o están cerca de alcanzar temperaturas que producen solo hembras en muchas playas de anidación del Caribe y del Atlántico. Una reducción prevista de las lluvias tropicales pueden exacerbar más adelante aumentos en las temperaturas del aire predicho. Es importante tener en cuenta que cualquier aumento sesgado hacia la producción de crías hembras dará lugar a un aumento en el reclutamiento de hembras en la población adulta y por lo tanto un probable aumento en el número de anidaciones en las próximas décadas, a costa de un número reducido de machos adultos en las áreas de reproducción lo cual reducirá la variabilidad genética pudiendo afectar potencialmente la fertilidad de los nidos a largo plazo (Laloë et al 2014).

2.1 Respuestas conductuales ante el cambio climático

Aunque las tortugas marinas, presumiblemente, se han expandido hacia latitudes más altas en el pasado, ya que las temperaturas aumentaron durante los períodos interglaciares (ver Bowen et al. 1993), no se entiende bien cómo es que las tortugas marinas van a responder a la pérdida de playas de anidación adecuadas en la escala de tiempo previsto. Las especies con menor fidelidad al sitio de anidación (e.g. tortugas baulas) pueden adaptarse más fácilmente. Por ejemplo, los nidos de tortugas baula están siendo registradas a su extremo más septentrional en una década de monitoreo (Rabon et al. 2003). Las hembras pueden alterar los tiempos de la temporada de anidación para adaptarse a las cambiantes condiciones térmicas en las playas existentes, o pueden ampliar su rango hacia áreas que anteriormente eran inadecuadas para la anidación si es que estas se convierten en térmicamente adecuadas (Hawkes et al 2007, 2009, Pike et al 2006). Las temperaturas más cálidas para un mayor número de meses del año también pueden permitir una extensión de la temporada de anidación de algunas especies o incluso anidar todo el año (Pike et al. 2006, Yasuda et al. 2006). Sin embargo, las respuestas de comportamiento de las hembras dependen de la existencia de algunas áreas en las playas existentes donde las temperaturas siguen siendo adecuadas o playas disponibles en nuevas áreas con temperaturas adecuadas para la anidación. Las hembras con experiencia de anidación han mostrado que seleccionan una mayor proporción de sitios de anidación en una playa que las hembras sin experiencia (Pfaller et al 2008), y por lo tanto la modificación del comportamiento de anidación podrían ocurrir muy rápidamente.

3. Recomendaciones

3.1 Colecta de datos ambientales relacionadas con el monitoreo de las playas índice

El monitoreo de los perfiles de playa, la temperatura de la arena y las amenazas potenciales en la playa, junto con una foto-documentación regular de la playa, son las actividades mínimas recomendadas para monitorear los impactos relacionados con el clima y para los registros de línea de base.

No todas las playas índice pueden ser monitoreadas de forma regular, pero los datos ambientales de todas las playas índice deben ser colectados al menos una vez para proporcionar una línea de base para la comparación posterior.

Para playas monitoreadas, los datos deben ser colectados cada 3 meses, pero por lo menos dos veces al año (e.g. principio y fin de la temporada de anidación o el período de monitoreo de nidos). Los datos de temperatura deben tomarse idealmente durante todo el año para monitorear la viabilidad de la playa para la anidación y también para evaluar los impactos de la anidación temprana o tardía.

3.1.1 Perfiles de playa

Los perfiles de playa se pueden utilizar para medir la *pendiente y ancho de la playa*. El ancho de la playa es una simple medida de acumulación de arena y la erosión.

Marcadores permanentes de referencia (i.e. árboles o estructuras situadas lo suficientemente alto por encima de la playa que no se vean afectados por las mareas más altas) deben ser establecidos para asegurar que los perfiles se midan exactamente en el mismo punto a lo largo de una brújula preestablecida en dirección perpendicular al mar que permita la comparación en el tiempo. Los datos de los perfiles deben tomarse durante marea baja.

O bien se puede usar el método de Emery o el método de Abney para pendiente de la playa, ya que son comparables entre sí. Idealmente, los Países Parte de CIT deberían elegir un método y usarlo constantemente en un lugar determinado.

El número de transectos debe ser influenciado por cómo es la dinámica de la playa y su longitud. Si se trata de una playa estable, un transecto por kilómetro sería suficiente, si es una playa inestable, se necesitarían transectos más frecuentes.

El número de transectos elegido y la frecuencia debe basarse en los recursos disponibles.

Los países con playas índice en las costas del Atlántico y Pacífico deben establecer el monitoreo ambiental en las playas en ambas costas.

3.1.2 Temperatura

Las lecturas de temperatura deben ser tomadas a lo largo de los mismo(s) transecto(s) permanente(s) establecidos anteriormente o en varios puntos a lo largo y ancho de la playa que difieran en características como niveles de sombra o arena.

Las temperaturas de arena deben ser tomadas en la superficie de la arena y a una profundidad de nido promedio. La temperatura del aire debe ser tomada 1-1.5 m por encima de la superficie de la arena. Si se utilizan registradores de datos, se debe registrar la distancia del registrador a la vegetación y a la línea de la marea alta. El Manual de monitoreo de Temperatura (Cuadro 2) brinda detalles de cómo establecer un programa de monitoreo de temperatura.

Cuadro 2. Manuales Recomendados para la colecta de datos ambientales relevantes al monitoreo de hábitat de las playas índices

Referencia	Contenido	URL enlace
Guidelines for Monitoring Beach Profiles (Fish, M.R. 2011. Guidelines for monitoring beach profiles. WWF, San Jose, 16 pp	Los métodos de Abney y Emery para perfiles de playa son explicados claramente con diagramas útiles.	http://awsassets.panda.org/download/s/beach_profile_monitoring_web .pdf
Manual Sandwatch UNESCO. 2010. Sandwatch: adapting to climate change and educating for sustainable development. Paris: UNESCO (Available in Spanish, English, Portuguese and French).	El método de Abney para medir la pendiente de la playa esta explicado y también tiene un programa simple para graficar los datos del perfil de playa. El manual fue diseñado principalmente para cuantificar como el cambio ambiental en las playas afectará a las comunidades costeras. Se puso menos énfasis en el desarrollo de herramientas y métodos que podrían permitir una mejor comprensión de cómo el cambio de la línea costera afectaría la biodiversidad.	http://www.sandwatch.ca/images/stories/food/SW%20Docs/Sandwatch%20-%20Spanish%20-%202012.pdf
El Manual de Caracterización de Playa de Anidación Varela-Acevedo, Elda, Karen L. Eckert, Scott A. Eckert, Gillian Cambers and Julia A. Horrocks. 2009. Sea Turtle Nesting Beach Characterization Manual, p.46-97. In:Examining the Effects of Changing Coastline Processes on Hawksbill Sea Turtle (<i>Eretmochelys imbricata</i>) Nesting Habitat, Master's Project, Nicholas School of the Environment and Earth Sciences, Duke University. Beaufort, N. Carolina USA. 97 pp.	El manual describe métodos para caracterizar playas de anidación (incluyendo perfiles de playa utilizando el método de Abney) y como evaluar la vulnerabilidad de las playas de anidación de tortugas marinas al cambio climático. El manual incluye definiciones útiles y lista los equipos necesarios para realizar las mediciones. Esto ha sido incorporado en el Sandwatch y está disponible en su página web.	www.widecast.org/Resources/Docs/VarelaAcevedo et al 2009 Nesting Beach Characterization Manual.pdf
Manual para el Monitoreo de Temperaturas de Arena y de Incubación en Playas de Anidación Baker-Gallegos J., M.R. Fish & C. Drews. 2009. Temperature monitoring manual. Guidelines for Monitoring Sand and Incubation Temperatures on Sea Turtle Nesting Beaches. WWF report, San José, pp. 16	Brinda detalles para establecer un programa de monitoreo de temperatura de playa. Sus objetivos son describir las condiciones térmicas de la playa y la forma en que se ven afectados por el sombreado, la humedad, el tamaño del grano de la arena, entre otras cosas, la estandarización de la metodología para toma de datos de temperatura, y directrices para monitorear la temperatura en los viveros.	http://awsassets.panda.org/download/s/temperature_monitoring_manual.pdf

3.1.3 Características del hábitat detrás de la playa

Lo que está detrás de la playa y qué porcentaje de esto se ve afectado debe ser estimado. Las características del hábitat podrían incluir vegetación nativa de playa, manglares, bosques, edificios, defensas marítimas, carreteras, etc.

3.1.4 Fotos de la playa

Las playas deben ser foto-documentadas cada año.

3.2 Estrategias de mitigación recomendadas para proteger las playas de anidación de tortugas marinas

Las siguientes estrategias incluyen muchas de las propuestas por Fuentes et al (2012), pero en algunos casos se han modificado. Fuentes et al (2012) separó las estrategias en Recomendadas y Potenciales, y destacó que algunas de las estrategias potenciales podrían tener costos de rendimiento reproductivo para las tortugas marinas. Ellas proporcionan una lista de los vacíos críticos de información que necesitan ser llenados con el fin de entender los riesgos planteados por algunas de las estrategias potenciales de manejo. Muchas de estas estrategias requieren la colecta de datos de base antes de la implementación y se debe considerar el contexto socio-cultural de cada región al momento de decidir las estrategias de mitigación más apropiadas. Se debe dar prioridad a las estrategias que mantengan las condiciones y zonas naturales de anidación.

3.2.1 Protección de las playas índice del desarrollo para reducir la probabilidad de compresión del litoral

Incorporar escenarios de cambio climático en la planificación del uso de la tierra.

Establecer o reforzar las regulaciones existentes.

Prohibir estructuras permanentes en el litoral y reemplazarlas con opciones suaves como la vegetación.

Utilizar manejo de receso de playa y realineamiento costero para dejar espacio para que las playas de anidación puedan migrar hacia tierra. Esto puede requerir incentivos para los propietarios de tierras.

Prohibir remoción de arena en las playas.

3.2.2 Asegurar que haya playas o zonas de playa, donde las hembras puedan elegir microclimas favorables para la anidación y la producción de machos

Identificar y proteger legalmente las playas productoras de machos.

Si se encuentra que las playas índices producen hembras, las playas más frías dentro de la región, donde las hembras de la misma población anidan deben ser protegidas.

Conservar, revegetar o plantar vegetación de playa.

3.2.3 Reducir temperatura de los nidos *in situ*

Reducir la temperatura de incubación a través de la plantación de vegetación, el sombreado artificial (Patino-Martinez et al. 2012) o la adición de sedimento de playa de color más claro en la superficie de los nidos.

Riego de nidos puede ayudar a reducir las temperaturas (Naro-Maciel et al 1999) y aumentar el éxito de eclosión y tamaño de las crías en áreas que experimentan precipitaciones inferiores a lo normal (Hill et al 2015). Sin embargo, el riego también podría causar un enfriamiento excesivo, impedir el intercambio de gases o aumentar las infecciones por hongos.

Estos enfoques requieren un buen conocimiento de las condiciones de la playa, tales como el perfil térmico, la temperatura pivotal y la proporción de sexos de la población. Se deben considerar el tiempo y materiales utilizados. Por ejemplo, la lluvia es importante en el enfriamiento de las temperaturas de la playa, es importante tomar en cuenta la permeabilidad del material/tela al considerar estructuras de sombra (Fuentes & Jourdan 2015). Todas las intervenciones requieren un monitoreo cuidadoso para determinar su impacto en el éxito de eclosión y proporción de sexos.

3.2.4 Reubicación de huevos

Reubicación de los huevos puede ser utilizado como una herramienta para aumentar el éxito de eclosión y controlar la proporción de sexos, pero la reubicación de huevos puede aumentar la mortalidad inducida por el movimiento y, si la selección de sitios de anidación es heredable, puede aumentar la supervivencia de los huevos de anidadoras que eligen constantemente sitios de anidación inadecuados y cuyos huevos normalmente no sobrevivirían (Pfaller et al. 2009).

Mover los huevos a las áreas de la misma playa (e.g. bajo la vegetación) o playas vecinas con temperaturas de incubación adecuados.

Mover los huevos a los criaderos. Concentrar la liberación de crías en áreas más pequeñas pueden aumentar la mortalidad de las crías en la natación inicial en alta mar (Stewart y Wyneken 2004), y los impactos de trasplantar los huevos en la selección de sitios de anidación de las crías una vez que alcanzan la edad adulta no se conocen bien.

3.2.5 Restaurar playas erosionadas y crear nuevas playas

Puede llegar a ser necesario instalar rompeolas y espigones para contrarrestar la pérdida de arena debido al aumento del nivel del mar o la erosión por tormentas. Tenga en cuenta que los rompeolas deben diseñarse de modo que no impida el acceso de las hembras a la playa, y que los espigones pueden tener el efecto no deseado de privar de arena a las playas de anidación adyacentes.

Potencialmente, se podrían crear artificialmente playas con temperaturas adecuadas mediante la selección de la orientación, aspecto, pendiente y color de los sedimentos. El relleno de arena debe utilizar arena de una fuente apropiada, y tener el tamaño de grano correcto. Nótese, sin embargo que el relleno de arena puede crear escarpes que harían a las playas inaccesibles para las tortugas marinas, causar la compactación de la arena y alterar el entorno gaseoso e hídrico donde los huevos se están incubando (Grain et al 1995).

4. Referencias Citadas

Ackerman, RA (1997). The nest environment and the embryonic development of sea turtles. Pp. 83-106. In *The Biology of Sea Turtles*. Vol 1. Eds. P. L. Lutz and J.A. Musick. CRC Press, Boca Raton.

Ackerman RA, Lott DB, Deeming DC (2004) Thermal, hydric and respiratory climate of nests. Reptilian incubation: environment, evolution and behaviour, 15-43

Baker-Gallegos J, Fish MR, Drews C. (2009) Temperature monitoring manual. Guidelines for Monitoring Sand and Incubation Temperatures on Sea Turtle Nesting Beaches. WWF report, San José, pp. 20.

Bowen BW, Nelson WS, Avise JC. (1993) A molecular phylogeny for marine turtles: trait mapping, rate assessment and conservation relevance. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol. 90, pp. 5574-5577.

Broderick AC., Godley BJ, Hays, GC (2001) Metabolic heating and the prediction of sex ratios for green turtles (*Chelonia mydas*). *Physiol. Biochem. Zool.* 74, 161-170

Chevalier J, Godfrey MH, Girondot M (1999) Significant difference of temperature-dependent sex determination between French Guiana (Atlantic) and Playa Grande (Costa-Rica, Pacific) Leatherbacks (*Dermochelys coriacea*). *Ann Sci Nat* 20:147-152

Davenport J (1997) Temperature and the life-history strategies of sea turtles. *J. Therm. Bio* 22:479-488

Fish MR, Cote IM, Gill JA, Jones AP, Renshoff S, Watkinson AR (2005) Predicting the impact of sea-level rise on Caribbean sea turtle nesting habitat. *Conserv Biol* 19:482-491

Fish MR, Cote IM, Horrocks JA, Mulligan B, Watkinson AR, Jones AP (2008) Construction setback regulations and sea-level rise: Mitigating sea turtle nesting beach loss. *Ocean Coast Manage* 51:330-341

Fuentes MMPB, Hamann, M, Limpus CJ (2009) Past, current and future thermal profiles of green turtle nesting grounds: Implications from climate change *J Exp Mar Biol Ecol* 383:56-64

Fuentes MMPB, Bateman BL, Hamann M (2011) Relationship between tropical cyclones and the distribution of sea turtle nesting grounds. *J Biogeogr* 38:1886-1896

Fuentes MMPB, Fish MR, Maynard J (2012) Management strategies to mitigate the impacts of climate change on sea turtle's terrestrial reproductive phase. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. 17, 51-63.

- Girondot M, Kaska, Y. (2015) Nest temperatures in a loggerhead nesting beach in Turkey is more determined by sea surface than air temperature. *J Therm Biol* 47: 13-18.
- Glen F, Morosovsky N (2004) Antigua revisited: the impact of climate change on sand and nest temperatures at a hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) nesting beach. *Global Change Biol* 10:2036-2045
- Godfrey MH, Barreto R, Mrosovsky N (1996) Estimating past and present sex ratios of sea turtles in Suriname. *Can J Zool* 74:267-277
- Grain DA, Bolten AB, Bjorndal KA (1995) Effects of beach nourishment on sea turtles: review and research initiatives. *Restor Ecol* 3: 95-104
- Hamann M, Fuentes MMPB, Ban N, Mocellin V (2013) Climate change and marine turtles. pp. 353- 378 In: *The biology of sea turtles* (Eds. J Wyneken , KJ Lohmann, JA Musick). Vol 3. Taylor & Francis Group, Boca Raton,
- Hawkes LA, Broderick AC, Godfrey MH, Godley BJ (2007) Investigating the potential impacts of climate change on a marine turtle population. *Global Chan Biol* 13:1-10
- Hawkes LA, Broderick AC, Godfrey MH, Godley BJ (2009) Climate change and marine turtles. *Endang Spec Res* 7:137-154
- Hays GC, Ashworth JS, Barnsley MJ, Broderick AC, Emery DR, Godley BJ, Henwood A, Jones EL (2001) The importance of sand albedo for the thermal conditions on sea turtle nesting beaches. *Oikos* 93:87-94
- Hill, J.E., Paladino, F.V., Spotila, J.R., Santidrián Tomillo, P. (2015) Shading and watering as a tool to mitigate the impacts of climate change in sea turtle nests. *Plos One* DOI:10.1371
- Horrocks JA, McA Scott N (1991) Nest site location and nest success in the hawksbill turtle *Eretmochelys imbricata* in Barbados, West Indies. *Mar Ecol Prog Ser* 69:1-8
- Howard R, Bell I, Pike DA (2014) Thermal tolerances of sea turtle embryos: current understanding and future directions. *Endang Spec Res* 26:75-86
- Jourdan J, Fuentes MMPB (2015) Effectiveness of strategies at reducing sand temperature to mitigate potential impacts from changes in environmental temperature on sea turtle reproductive output. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 20:121–133
- Laloë J-O, Cozens, J., Renom, B., Taxonera, A., Hays, G.C. (2014) Effects of rising temperature on the viability of an important sea turtle rookery. *Nature Climate Change* 4: 513-518.
- Marcovaldi MAG, Santos AJB, Santos AS, Soares LS, Lopez GG, Godfrey MH, López-Mendilaharsu M, Fuentes MMPB (2014) Spatio-temporal variation in the incubation duration

and sex ratio of hawksbill hatchlings: implication for future management. *Journal of Thermal Biology*. 44, 70-77

Matsuzawa Y, Sato K, Sakamoto W, Bjorndal KA (2002) Seasonal fluctuations in sand temperature: effects on the incubation period and mortality of loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) pre-emergent hatchlings in Minabe, Japan. *Mar Biol* 140:639-646

Mazaris AD, Matsinos G, Pantis JD (2009) Evaluating the impacts of coastal squeeze on sea turtle nesting. *OceanCoastManage* 52:139-145

Miller JD (1997) Reproduction in sea turtles. p. 51-82 In *The Biology of Sea Turtles*. Vol 1. Eds. P. L. Lutz and J.A. Musick. CRC Press, Boca Raton.

Miller JD, Limpus CJ, Godfrey MH (2003) Nest site selection, oviposition, eggs, development, hatching, and emergence of loggerhead turtles. p125-143 In *Loggerhead Sea Turtles*.

Naro-Maciel E, Mrosovsky N, Marcovaldi MA (1999) Thermal profiles of sea turtle hatcheries and nesting areas at Praia do Forte, Brazil. *Chel Cons Biol* 3:407-413

Patino-Martinez J, Marco A, Quiñones L, Hawkes L (2012) A potential tool to mitigate the impacts of climate change to the Caribbean leatherback sea turtle. *Glob Chang Biol* 18(2):401–411

Pfaller, JB, Limpus, CJ, and Bjorndal, KA (2009). Nest site selection in individual loggerhead turtles and consequences for doomed egg relocation. *Conserv. Biol.* 23, 72–80.

Pike DA, Antworth RL, Stiner JC (2006) Earlier nesting contributes to shorter nesting seasons for the loggerhead sea turtle, *Caretta caretta* . *J Herpetol* 40:91-94

Poloczanska ES, Limpus CJ, Hays GC (2009) Vulnerability of marine turtles to climate change. *Adv Mar Biol* 56:151-211.

Provancha J A, Ehrhardt, LM (1987). Sea turtle nesting trends at Kennedy Space Center and Cape Canaveral Air Force Station, Florida, and relationships with factors influencing nest site selection, p. 33–44. In: *Ecology of East Florida sea turtles*. W. N. Witzell (ed.). NOAA Technical Report NMFS 53, Miami, FL.

Naro-Maciel E, Mrosovsky N, Marcovaldi MA (1999) Thermal profiles of sea turtle hatcheries and nesting areas at Praia do Forte, Brazil. *Chelon Conserv Biol* 3:407-413

Rabon Jr DR, Johnson SA, Boettcher R, Dodd M, Lyons M, Murphy S, Ramsey S, Roff S, Stewart S (2003) Confirmed leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*) nesting in North Carolina, USA, with comments on leatherback nesting activity on Mid- and South-Atlantic beaches. *Mar Turt. News*. 101:4-8

Reece JS, Passeri , D, Ehrhart L , Hagen SC, Hays A, Long C, Noss RF, Bilskie M , Sanchez C, Schwoerer MV, Von Holle B, Weishampel J , Wolf S. Sea level rise, land use, and climate change influence the distribution of loggerhead turtle nests at the largest USA rookery (Melbourne Beach, Florida). *Mar Ecol Prog Ser* 493: 259–274

Santos, K.C., M. Livesey, M. Fish, A. Camargo Lorences. 2015. Climate change implications for the nest site selection process and subsequent hatching success of a green turtle population. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. <http://link.springer.com/article/10.1007/s11027-015-9668-6#>

Segura, LN and Cajade R (2011) The effects of sand temperature on pre-emergent green sea turtle hatchlings. *Herpetol Conserv Biol* 5: 196-206.

Standora EA, Spotila JR (1985) Temperature dependent sex determination in sea turtles. *Copeia* 1985:711-722

Stewart KR, Wyneken, J (2004) Predation risk to loggerhead hatchlings at a high density nesting beach in southeast Florida. *Bull Mar Sci* 74:325-335.

Witt MJ, Broderick AC, Coyne MS, Formia A, Nguouesso S, Parnell RJ, Sounguet GP, Godley BJ (2008) Satellite tracking highlights difficulties in the design of effective protected areas for critically endangered leatherback turtles *Dermochelys coriacea* during the inter-nesting period. *Oryx* 42:296-300

Wood DW, Bjorndal KA (2000) Relation of temperature, moisture, salinity and slope to nest site selection in loggerhead sea turtles. *Copeia* 2000:119-128

Yasuda T, Tanaka H, Kittiwattanawong K, Mitamura H, Klom-in W, Arai N (2006) Do female green turtles (*Chelonia mydas*) exhibit reproductive seasonality in a year-round nesting rookery?. *J Zool* 269:451-457

Yntema, CL and Mrosovsky N. (1982) Critical periods and pivotal temperatures for sexual differentiation in loggerhead sea turtles. *Can J Zool* 60:1012-1016.