

ARTICULO ORIGINAL

Análisis de riesgo aplicado al ciclo de vida de la tortuga verde

Risk assessment applied to green turtles' live cycle

Antonio Torres Valle¹
Julia Azanza Ricardo^{2*}

¹ Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de La Habana, Avenida Salvador Allende 1110 e/ Infanta y Avenida Boyeros, Quinta de los Molinos, La Habana, Cuba

² Centro de Investigaciones Marinas, Universidad de La Habana, Cuba. Calle 16, N° 114, Playa, La Habana, Cuba

Autor para la correspondencia:
julia_dragmarino@yahoo.es

OPEN ACCESS

Distribuido por:
Creative Commons Atribución-
NoComercial 4.0 Internacional
(CC BY-NC 4.0)

Editor:
Laida Ramos Trujillo
(CIM-UH)

Recibido: 08.05.2024

Aceptado: 22.08.2024

Resumen

La supervivencia de la tortuga verde y su éxito reproductivo resultan obstaculizados por múltiples factores durante todo su ciclo de vida. La etapa reproductiva, en particular, es un proceso de muy alto riesgo. Las características y la influencia del hombre en las diferentes etapas del ciclo reproductivo constituyen incógnitas importantes. La aplicación de métodos de estimación de riesgo puede contribuir al conocimiento de los principales factores que afectan el ciclo reproductivo de las tortugas y cuáles de estos efectos negativos pueden ser manejados con la finalidad de prevenirlos, controlarlos o mitigarlos. El método de matriz de riesgo tridimensional puede contribuir a un análisis detallado por su carácter descriptivo de secuencias accidentales, así como un análisis semicuantitativo de la estimación. El estudio permitió identificar 25 secuencias de fallo del ciclo distribuidas en cinco etapas. El balance aporta dos riesgos muy altos y nueve riesgos altos para el ciclo de vida de estos quelonios. Se demuestra la influencia preponderante de factores humanos resultantes de la depredación y la contaminación del hábitat a lo largo de su ciclo de vida. Las defensas más efectivas para el control de los riesgos están relacionadas con mecanismos naturales de sobrevivencia de la especie, mientras las medidas de protección implementadas por el hombre tienen poco impacto en la salvaguarda del ciclo reproductivo de las tortugas. La incorporación al patrón de riesgo modelado de mecanismos naturales de sobrevivencia, en forma de defensas, constituye una novedad que permite extender el método al estudio de riesgo de otros ciclos naturales.

Palabras clave: tortuga verde, ciclo de vida, riesgo, matriz de riesgo.

Abstract

The survival of the green turtle and its reproductive success are hindered by multiple factors throughout its life cycle. The reproductive stage, in particular, is a very high-risk process. The characteristics and influence of man in the different stages of the reproductive cycle constitute important unknowns. The application of risk assessment methods can contribute to the knowledge of the main factors that affect the reproductive cycle

of turtles and which can be managed in order to predict, control or mitigate said risks. The three-dimensional risk matrix method can contribute to a detailed analysis of accidental sequences due to its descriptive nature, as well as a semiquantitative analysis in risk estimation. The study identified 25 cycle failure sequences distributed in five stages. The risk balance provides two very high risks and nine high risks for the life cycle of these chelonians. The preponderant influence of human factors on the risks resulting from predation and habitat contamination throughout their life cycle is demonstrated. The most effective defenses for risk control are related to the species' natural survival mechanisms, while the protection measures implemented by man have little impact on safeguarding the reproductive cycle of turtles. The incorporation of natural survival mechanisms into the modeled risk pattern, in the form of defenses, constitutes a novelty that allows the method to be extended to the risk study of other natural cycles.

Keywords: green turtle, life cycle, risk, risk matrix.

Introducción

El complejo ciclo de vida de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) resulta un proceso de elevado riesgo para la conservación de la especie, dado el alto índice de depredación que el hombre ejerce con su actividad de pesca y captura de estos quelonios, así como el saqueo de sus nidos.

A pesar del gran número de colonias anidadoras que se han identificado (Mast *et al.*, 2011) y de que muchas de sus poblaciones están creciendo (Mazaris *et al.*, 2017), esta especie se encuentra en la Lista Roja de la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza, en la cual mantiene el estatus de especie en peligro de extinción a nivel global (Seminoff, 2023). Seminoff (2002) determinó, mediante extrapolaciones, que en tres generaciones (141 años) se habría perdido del 37 al 61 % de cada generación, según el modelo matemático escogido. Estos reptiles, que han sobrevivido durante millones de años, enfrentan la amenaza de la extinción,

principalmente por el mayor agente transformador del ambiente, el hombre (Frazier, 2004).

El alto nivel de vulnerabilidad de las hembras reproductoras en las playas de anidación se debe fundamentalmente a su baja velocidad de desplazamiento, cuando salen del mar durante ciclos previsible de emergencia para realizar la construcción de nidos y la oviposición (Reece *et al.*, 2005; Azanza, 2009). Tampoco deben descartarse en este proceso de disminución de las poblaciones de la especie, los depredadores naturales (Azanza *et al.*, 2006) y los fenómenos climatológicos extremos, ambos incrementados con el cambio climático de origen antropogénico. Los fenómenos señalados son causantes también de pérdidas entre las madres reproductoras, los nidos y los neonatos de la tortuga verde (Azanza *et al.*, 2021).

Dado este contexto, resulta necesario recurrir a métodos que permitan estudiar los riesgos en los diferentes escenarios por los cuales transcurre el ciclo de vida de la especie. Tratándose de un proceso en el que los instintos naturales tienen un importante rol, parecería que poco puede hacer el hombre por su control; sin embargo, medidas de tipo restrictivo, como las zonas prohibidas para la pesca o los ecosistemas protegidos, han demostrado ser esenciales en la protección de algunas especies (Azanza *et al.*, 2018). A un nivel más elevado están las estrategias de mitigación del cambio climático que pueden ayudar a largo plazo a la disminución de la frecuencia de los huracanes o a la disminución de la acidificación de los océanos, ambos fenómenos que afectan hoy y lo harán a las futuras generaciones de tortugas verdes (IPCC, 2021; Torres y Martínez, 2015; Torres, Jauregui *et al.*, 2021).

Existen varios métodos de análisis que pudieran ser aplicados a la tarea de evaluación de los riesgos asociados al ciclo de vida de estos quelonios. Entre ellos se encuentran algunos simples cualitativos como listas de chequeo o “¿Qué pasa si?”, hasta llegar a otros cuantitativos muy complejos como los Análisis Probabilistas de Seguridad (Torres *et al.*, 2021). Mientras los primeros se

han descartado por su simplicidad, el último lo ha sido por la carencia de información estadística o poca posibilidad de ser adaptado al contexto del estudio. Sin embargo, hay un método de relativa baja complejidad para el análisis de riesgo que fue diseñado para el estudio de riesgo de prácticas médicas con radiaciones ionizantes y que, además, ha podido ser adaptado al contexto de estudios de bioseguridad como los riesgos de la hemodiálisis en humanos, los riesgos productivos por patógenos en el camarón blanco cultivado y los riesgos para la producción de vacunas veterinarias (IAEA, 2016; Sierra y Torres, 2020; Torres *et al.*, 2021, Ajo *et al.*, 2024).

Se trata del método de la matriz tridimensional de riesgo, el cual aparece profusamente descrito en el epígrafe materiales y métodos de este documento (Torres *et al.*, 2021).

El objetivo de este estudio será realizar un análisis de riesgo del ciclo de vida de la tortuga verde, con el objeto de identificar las principales secuencias que más atentan contra la disminución de su población, así como las medidas de control más efectivas que se encuentran en el alcance de su manejo por el hombre.

Materiales y métodos

Área de estudio. El estudio se realizó para la población que anida en las playas con monitoreo sistemático (Azanza *et al.* 2015) en la costa sur de la Península de Guanahacabibes (desde 22°00 'N-84°50' W hasta 21°59 'N-84°44' W). La selección de playas siguió los criterios de Azanza *et al.* (2013). Adicionalmente, se emplearon datos de otras locaciones del mundo en las cuales transcurre también el ciclo de vida de estos quelonios (Chen y Cheng, 1995; Broderick *et al.* 2003; Dalleau *et al.* 2012), para completar las otras fases del ciclo de vida.

Diseño de muestreo. Para el caso en que resultan aplicables las playas de Guanahacabibes, los datos se recopilieron de 1998 a 2023. Todas las hembras encontradas se midieron y etiquetaron con marcas de acero inconel (Style 681, National Band & Tag Company) en

la aleta delantera derecha, con vistas a poder determinar la frecuencia de anidación (el número de veces que las hembras marcadas anidaron con éxito en una sola estación) y su período remigratorio (tiempo transcurrido entre temporadas reproductivas sucesivas).

Metodología. La metodología que se emplea para la realización del estudio se presenta en el algoritmo ilustrado en la Figura 1.

La *preparación del mapa de proceso* tiene una coincidencia importante con el ciclo de vida de la tortuga verde. Su objeto es dividir por etapas los diferentes riesgos del ciclo, para su más fácil estudio y clasificación. La *identificación de los sucesos iniciadores* es la tarea que permite determinar los disparadores de cada secuencia de fallo durante las etapas del ciclo. En general, estos sucesos permiten identificar los diferentes retos que tendrán las poblaciones de tortugas desde su migración, ascensión, anidación y eclosión de los huevos.

El *desarrollo de las secuencias de fallo teniendo en cuenta las defensas implementadas* describe la evolución de los iniciadores hasta sus probables consecuencias (sobre adultas reproductoras, huevos o neonatos), incluyendo la identificación de posibles barreras de defensa durante cada secuencia. Para cada secuencia se supone primero un iniciador, y se investigan sus consecuencias probables sin considerar los efectos controladores del riesgo de las defensas. A continuación se deducen las probables defensas. El diseño de cada secuencia implica una importante investigación bibliográfica, dada la poca experiencia existente en esta tarea para un ciclo natural, a lo que se añade que deberá deducirse durante este rastreo de información, la frecuencia del iniciador, los actores y magnitud de las consecuencias asociadas al mismo y las probables defensas que controlen su evolución. Como una particularidad de esta aplicación de diseño de secuencias de fallo a un ciclo natural, se han previsto defensas que describen una tendencia adaptativa de los individuos de la especie, las que han sido el resultado de un proceso evolutivo de comportamientos de supervivencia. No se descartan las defensas

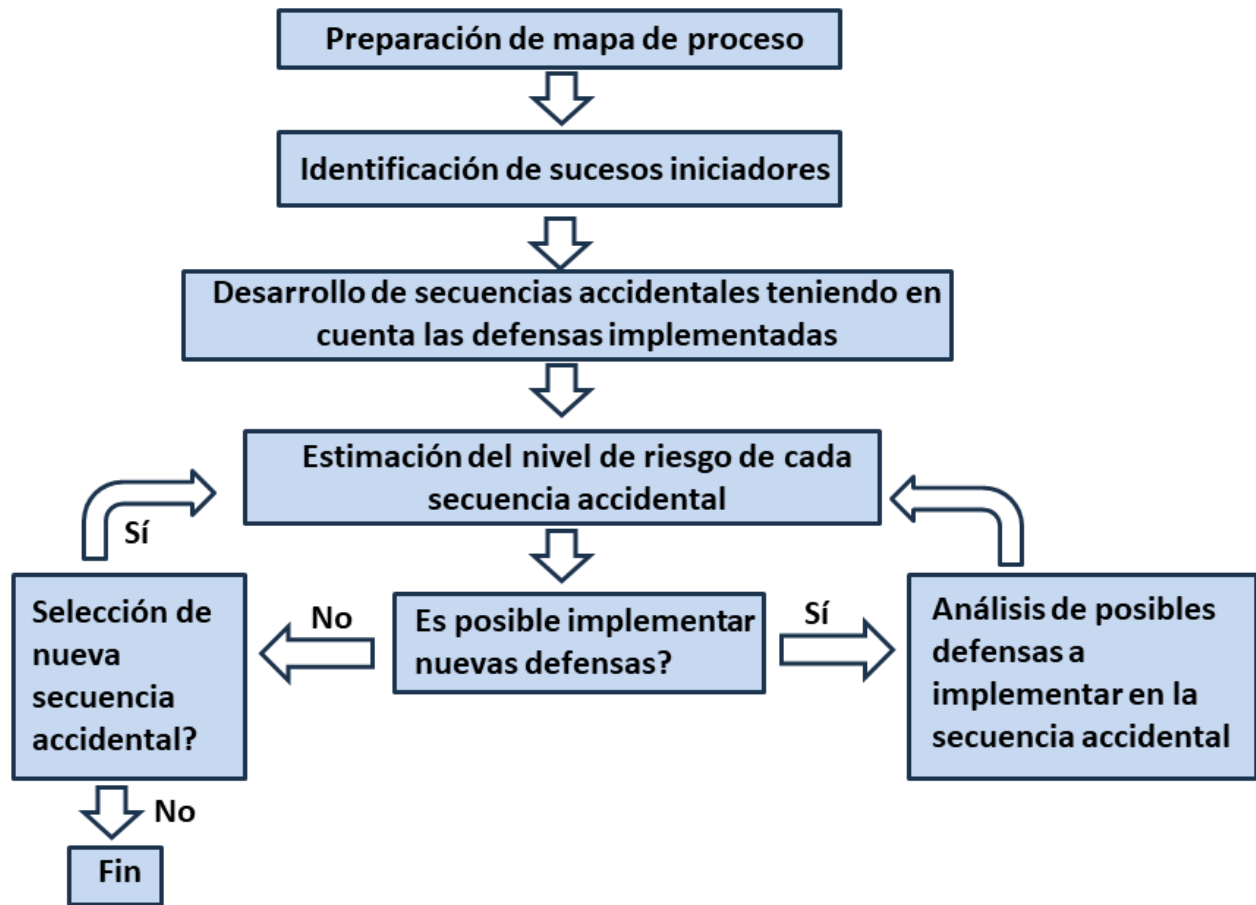


Fig. 1. Algoritmo del análisis de riesgo aplicado al ciclo de vida de tortuga verde.
Fig. 1. Risk analysis algorithm applied to the green turtle life cycle.

provenientes de las medidas de protección generadas por el hombre. Por ello, en este proceso se requiere una importante abstracción para identificar las potenciales defensas de cada secuencia, considerando la combinación de las naturales y las antropogénicas.

Un ejemplo de secuencia de fallo para un paso del ciclo de vida, que incluye todos los componentes posibles, se muestra en la figura 2.

En esta figura, el suceso iniciador es la presencia de depredadores humanos potenciales o saqueadores de nidos en la etapa de incubación. Como reductores de frecuencia, se consideran válidos la política de incremento de las zonas de monitoreo y la capacitación del

personal de campo, las cuales son voluntades de las organizaciones protectoras de las tortugas y pueden disminuir la frecuencia de ocurrencia del iniciador. Las barreras serán las responsables de controlar el riesgo. Para ello, de manera redundante, podrán actuar las acciones derivadas del ecosistema protegido y las medidas de prohibición de venta de productos derivados de la tortuga, que constituyen medidas de disuasión. Desde el punto de vista natural, un buen enmascaramiento del nido puede conseguir su encubrimiento para los saqueadores potenciales. En caso de fallo de las barreras, ocurrirá, como consecuencia, la pérdida del nido. Se ha considerado que, en caso de descubrirse el saqueo, una

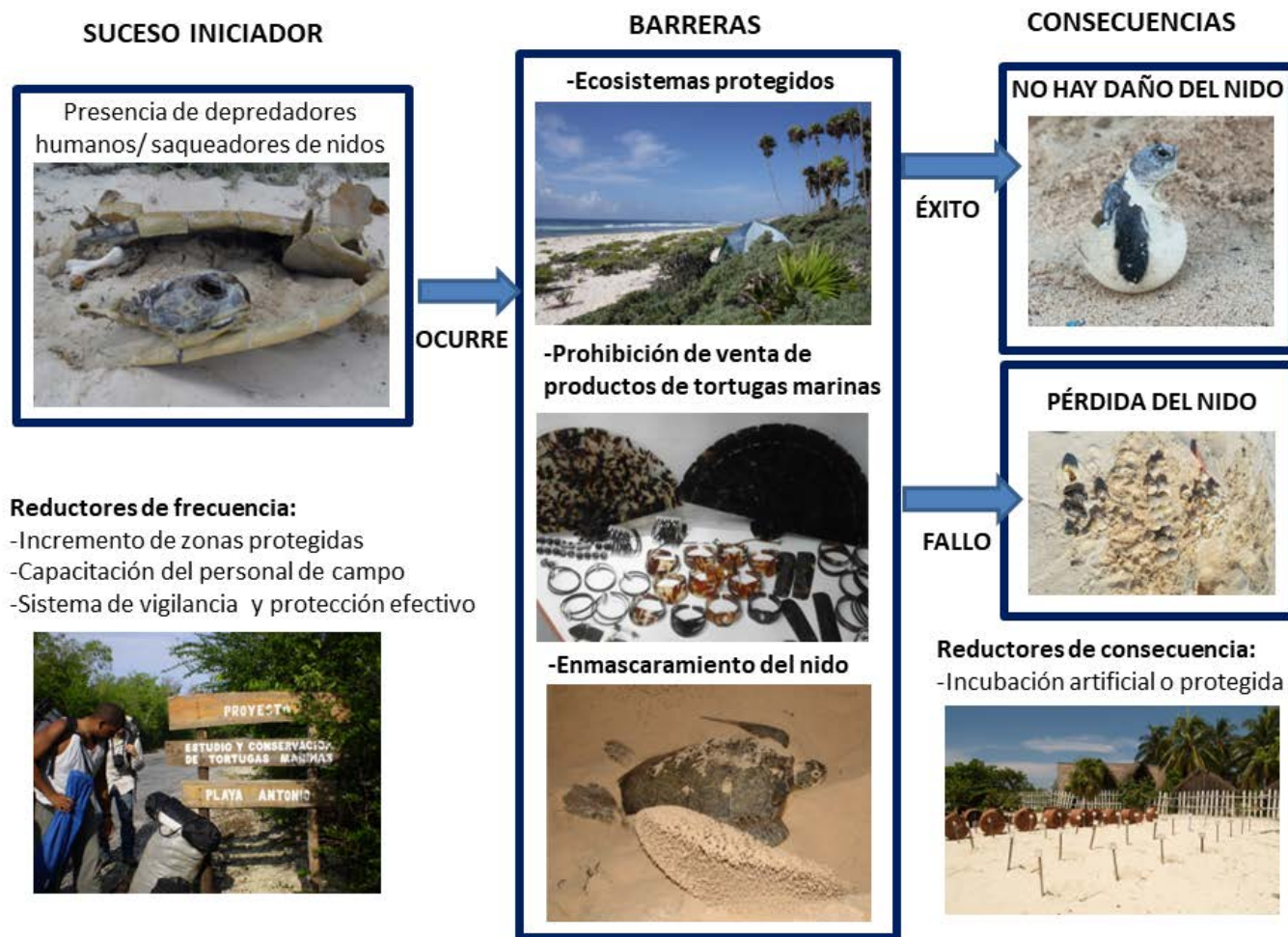


Fig. 2. Ejemplo de secuencia de fallo del ciclo por saqueo del nido durante incubación.
Fig. 2. Example of cycle failure sequence due to nest plundering during incubation.

opción de disminución de su gravedad será el reductor de consecuencias incubación artificial de los huevos.

La asignación de clasificaciones cualitativas de frecuencia a los iniciadores, de probabilidad de fallo a la combinación de defensas y de gravedad a las consecuencias se realiza sobre la base de un esquema de cuatro rangos. La frecuencia del iniciador se clasifica en cuatro niveles (A-alto, M-medio, B-bajo y MB-muy bajo). La probabilidad de fallo de las defensas se clasifica también en cuatro niveles similares (A-alta, M-media, B-baja y MB-muy baja). La magnitud de las consecuencias y el riesgo resultante se clasifican en 4 rangos (MA-Muy

alto, A-alto, M-medio y B-bajo) (IAEA, 2016; Torres *et al.*, 2021).

La frecuencia de cada iniciador y la magnitud de consecuencias pueden modificarse por efecto de los correspondientes reductores de frecuencia y de consecuencia. De manera general, el cálculo de la probabilidad de fallo de barreras y del efecto de los reductores de frecuencia y de consecuencia depende de la redundancia y robustez de estos componentes en cada secuencia accidental. Las defensas (reductores de frecuencia, barreras y reductores de consecuencia) de cada secuencia tienen una efectividad asociada, la que se asigna a través de

una robustez. Los niveles de robustez son cuatro (MR-muy robusta, R- robusta, N-normal y B-blanda). Cada robustez es equivalente a un número, el cual constituye factor en la multiplicación de cada combinación de defensas. El resultado de este producto se aplica a la modificación de frecuencia (en caso de tratarse de reductores de frecuencia), a la magnitud de la consecuencia (en caso de relacionarse con reductores de consecuencia) y a la probabilidad de fallo de barreras (en caso de referirse a las barreras). Las reglas que rigen este proceso, así como todo el empleo de la matriz tridimensional de riesgo, se encuentran metodológicamente desarrollados (IAEA, 2016) e informatizados (Torres *et al.*, 2021).

Para esta aplicación específica de análisis de riesgo, las asignaciones de frecuencia de iniciadores y magnitud de consecuencias se asignaron teniendo en cuenta los impactos que refieren los expertos en la literatura consultada para cada secuencia. Para la frecuencia fueron determinantes los datos de porcentaje de zonas o poblaciones afectadas por el iniciador, así como la disponibilidad de datos indirectos resultantes de la observación del comportamiento de la especie, que pueden convertirse a información que refleja el parámetro. En ocasiones, las consecuencias deben inferirse de los datos de que se dispone para afectación de la especie, siendo importantes las opiniones respecto a daños supuestos para muestras acotadas, que deben extrapolarse a poblaciones de mayor cuantía. La asignación de la robustez de cada defensa dependerá de su capacidad de control del riesgo. Por ejemplo, de manera general, los mecanismos naturales (resultado del comportamiento adaptativo para supervivencia) se consideran defensas robustas, ya que la especie ha demostrado éxito en su supervivencia siguiendo dichas conductas. Sin embargo, los mecanismos antropogénicos, como los basados en medidas coercitivas para prever acciones ilegales de depredación de la especie, no han demostrado el éxito esperado, por lo que pueden clasificarse como defensas blandas. La explicación detallada de cada secuencia permite aclarar estas aproximaciones.

La *estimación del nivel de riesgo de cada secuencia accidental* se realiza mediante una matriz tridimensional de frecuencia del iniciador, probabilidad de fallo de barreras y gravedad de consecuencias, lo cual permite determinar el riesgo de cada secuencia, a lo que se adiciona la aplicación de operaciones booleanas a todos los riesgos de las secuencias estudiadas (IAEA, 2016). Con la suma booleana se determina que el riesgo del proceso está dado por el mayor de los riesgos que se obtenga de todas las secuencias de fallo, mientras que la intersección booleana permite identificar los elementos repetidos en las secuencias (IAEA, 2016, Torres *et al.* 2021).

Una corrección posterior, tras la identificación de los riesgos más altos, puede conllevar a la modificación de la secuencia y recuantificación del riesgo, lo que se concreta con la *aplicación de nuevas defensas en la secuencia accidental* a través del lazo correspondiente en el algoritmo. Una vez concluido el análisis en la secuencia dada, se pasa a una nueva secuencia accidental (ver *selección de nueva secuencia accidental*) para realizar un ciclo iterativo hasta recorrer todas las secuencias. Como resultados palpables del estudio se obtienen los perfiles de riesgo del ciclo de vida, las secuencias más importantes por su nivel de riesgo y las medidas de defensa de mayor efectividad para el control de los riesgos.

Todos los estudios previstos con la metodología presentada se realizan con el software SECURE-MR-FMEA, empleando su aproximación para matriz de riesgo (Torres *et al.*, 2021)

Resultados

Mapa de proceso

El mapa de proceso, correspondiente al ciclo de vida de las tortugas verdes, consta de seis etapas. Estas son: Migración de hembras reproductoras (MIG), Ascensión o Emergencia de hembras reproductoras para desove (ASC), Anidación (ANI), Incubación de los nidos (INC), Eclósión de neonatos (NEO) y Dispersión de crías en mar abierto (SAL). Los códigos

entre paréntesis se emplean con fines informáticos en la identificación de las etapas del ciclo.

Sucesos iniciadores y secuencias accidentales

En cada etapa se han identificado los sucesos iniciadores, y desarrollado las secuencias de fallo del ciclo, las que son objeto de descripción y análisis en este epígrafe.

Las etapas se inicializan con números romanos, mientras las secuencias accidentales se identifican con números arábigos consecutivos. Cada secuencia accidental tiene la estructura de “suceso iniciador (SI) – Barreras – Consecuencia”. Cuando aplican, al SI lo acompañan reductores de frecuencia, y a las Consecuencias, reductores de consecuencia. La tabla 1 presenta de manera

Tabla 1. Etapas y secuencias de fallo del ciclo de vida de las tortugas verdes.

Table 1. Stages and failure sequences of green turtles life cycle

No.	Descripción de suceso iniciador (frecuencia). Consecuencias (gravedad). Defensas (robustez)
I- Migración de hembras reproductoras	
1	Pesca furtiva o incidental en áreas de alimentación y de tránsito (Frecuencia Alta). Consecuencia de pérdida de adultas reproductoras (Alta) (Seminoff, 2002; Azanza <i>et al.</i> 2018; Caderno y Moncada, 2019). Barreras: restricciones de zonas de pesca (blanda), medidas de prohibición de la venta de productos derivados de la tortuga (blanda). (Azanza <i>et al.</i> 2018).
2	Posible depredación natural en áreas de alimentación (Frecuencia Media). Consecuencia: Pérdida de adultas reproductoras (Media). (Seminoff, 2002; Aoki <i>et al.</i> 2024). Barreras: No se identifican
3	Condiciones ambientales desfavorables para la preparación de las hembras reproductoras para la anidación (Frecuencia Media). Consecuencia: variación en los ciclos reproductivos (Media). (Hamann <i>et al.</i> 2003; Azanza <i>et al.</i> 2018; Liu <i>et al.</i> 2023). Barreras: Desplazamiento hacia áreas de alimentación más adecuadas (robusta), cambio en el período de remigración (robusta) (Azanza <i>et al.</i> 2018)
II- Ascensión o Emergencia de hembras reproductoras para desove	
4	Condiciones inadecuadas de la playa para ascensión /arrecifes, obstáculos a la entrada de la playa, pérdida de arena por erosión, residuos o sargazo a la entrada de la playa/ (Frecuencia Baja). Consecuencia: No anida (Media) (Azanza <i>et al.</i> 2018; Azanza <i>et al.</i> 2023). Barreras: fidelidad a la playa de desove (robusta), empleo de la marea para la tarea (robusta) y sistemas de limpieza de plásticos (blanda) (Miller, 1997; Patricio <i>et al.</i> 2018; Lee <i>et al.</i> 2007; Stoke <i>et al.</i> 2014; Hohn <i>et al.</i> 2020; Azanza <i>et al.</i> 2018)
5	Fenómeno climatológico que puede provocar fracaso del ascenso (Frecuencia Media). Consecuencia: No anida (Media) (Azanza <i>et al.</i> 2018; Pike & Stiner, 2007; Fuentes y Abbs, 2010; Fuentes <i>et al.</i> 2011). Barreras: empleo de la marea para la tarea (robusta), fidelidad a la playa de desove (robusta), (Miller, 1997; Patricio <i>et al.</i> 2018; Lee <i>et al.</i> 2007; Stoke <i>et al.</i> 2014; Hohn <i>et al.</i> 2020; Azanza <i>et al.</i> 2018)
6	Modificaciones del hábitat provocadas por el hombre que pueden ocasionar el fracaso del ascenso (Frecuencia Alta). Consecuencia: No anida (Alta) (Azanza, 2009; Azanza <i>et al.</i> 2018). Barreras: ecosistemas protegidos (normal) (Azanza <i>et al.</i> 2018).
7	Presencia de depredadores furtivos de tortugas (Frecuencia Alta). Consecuencia: Pérdida de adultas reproductoras (Muy Alta). (Seminoff 2002; Azanza <i>et al.</i> 2018). Barreras: empleo de la noche para la tarea (robusta), ecosistemas protegidos (normal), rastreadores satelitales descubren zonas de anidación (normal), placas identificatorias reportan zonas de anidación (blanda), medidas de prohibición de la venta de productos derivados de la tortuga (blanda). Reductores de frecuencia: Incremento de zonas monitoreadas (blanda) y capacitación del personal de campo (blanda) (Sea Turtle Conservancy, 2022; Azanza <i>et al.</i> 2018)
III- Anidación	
8	Posible interferencia durante el desove (Frecuencia Alta). Consecuencia: Pérdida del nido (Media) (Azanza <i>et al.</i> 2018). Barreras: Ecosistemas protegidos (normal), rastreadores satelitales descubren zonas de anidación (normal), placas identificatorias reportan zonas de anidación (blanda), Reductores de frecuencia: Incremento de zonas monitoreadas (blanda) y capacitación del personal de campo (blanda).
9	Caza furtiva de la hembra durante desove (Frecuencia Alta). Consecuencia: Pérdida de adultas reproductoras (Muy Alta) (Azanza <i>et al.</i> 2018). Barreras: Ecosistemas protegidos (normal), rastreadores satelitales descubren zonas de anidación (normal), placas identificatorias reportan zonas de anidación (blanda), medidas de prohibición de productos derivados de la tortuga (blanda). Reductores de frecuencia: Incremento de zonas monitoreadas (blanda) y capacitación del personal de campo (blanda).

No.	Descripción de suceso iniciador (frecuencia). Consecuencias (gravedad). Defensas (robustez)
10	Características de la playa inadecuadas para la anidación (Frecuencia Media). Consecuencia: No concluye construcción del nido (Media). (Lee <i>et al.</i> 2007; Stoke <i>et al.</i> 2014). Barreras: Selección del sitio de anidación (robusta), Anidación múltiple durante la temporada reproductiva (robusta) (Azanza <i>et al.</i> 2018)
11	Afectación potencial del desove por depredadores naturales (Frecuencia Media). Consecuencia: Pérdida del nido (Media) (Heithaus <i>et al.</i> , 2008; Azanza, 2009). Barreras: empleo de la noche para la tarea (robusta), enmascaramiento del nido (blanda)
12	Retorno de la hembra al mar en condiciones de encallamiento potencial (Frecuencia Baja) — Consecuencia: Pérdida de adultas reproductoras (Baja). (Azanza <i>et al.</i> 2018). Barreras: empleo de la marea para la tarea (robusta), (Azanza <i>et al.</i> 2018)
IV- Incubación de los nidos	
13	Selección inadecuada del sitio de incubación (Frecuencia Baja). Consecuencia: Pérdida del nido (Muy Alta) (Calderón y Azanza, 2021; FitzSimmons <i>et al.</i> 2008; Lee <i>et al.</i> 2007; Stoke <i>et al.</i> 2014). Barreras: No se identifican Reductores de frecuencia: instinto de búsqueda del sitio de anidación (robusta), anidación múltiple durante la temporada reproductiva (robusta) y fidelidad a playa de desove (robusta) (Azanza <i>et al.</i> 2018) Reductores de consecuencia: incubación artificial o protegida (blanda) (Sea Turtle Conservancy, 2022; Azanza <i>et al.</i> 2018)
14	Marejada o fenómeno natural puede provocar pérdida del nido durante incubación (Frecuencia Baja). Consecuencia: Pérdida del nido (Muy Altas). (Azanza <i>et al.</i> 2021; Pike y Stiner, 2007). Barreras: no se identifican. Reductores de frecuencia: instinto de búsqueda del sitio de anidación (robusta), fidelidad a playa de desove, anidación múltiple durante la temporada reproductiva (robusta), la reubicación de los huevos antes del evento (blanda), capacitación del personal de campo (blanda). Reductores de consecuencia: la recuperación de nidadas expuestas o de crías desorientadas (blanda) (Fuentes <i>et al.</i> 2011; Arzola <i>et al.</i> 2019).
15	Presencia de depredadores humanos potenciales o saqueadores de nidos durante incubación (Frecuencia Alta). Consecuencia: Pérdida del nido (Alta) (Seminoff, 2002; Azanza <i>et al.</i> 2018). Barreras: ecosistemas protegidos (normal), medidas de prohibición de la venta de productos derivados de la tortuga (blanda), enmascaramiento del nido (blanda). Reductores de frecuencia: Incremento de zonas monitoreadas (blanda), capacitación del personal de campo (blanda). Reductores de consecuencia: Incubación artificial o protegida (blanda) (Azanza 2009; Arzola <i>et al.</i> 2019)
16	Presencia de depredadores naturales potenciales del nido durante incubación /hormigas, jubo negro, cerdos, cangrejo fantasma/ (Frecuencia Baja). Consecuencia: Pérdida del nido (Media). (Azanza <i>et al.</i> 2006; Stokes <i>et al.</i> 2024). Barreras: enmascaramiento del nido (blanda) (Azanza <i>et al.</i> 2018)
17	Presencia de hongos y bacterias potenciales parásitos del nido durante incubación (Frecuencia Media) -- Consecuencia: Pérdida del nido (Media) (Azanza <i>et al.</i> 2006; 2008; Phillott & Yaghmour, 2024). Barreras: no se identifican
V- Emergencia de neonatos	
18	Presencia de aves marinas, cangrejos y otros depredadores naturales potenciales durante la salida de neonatos (Frecuencia Baja). Consecuencia: Pérdida de neonatos (Medias). (Azanza 2009; Sea Turtle Conservancy 2022). Barreras: empleo de la noche para la tarea (robusta), salida durante tormenta (robusta) (Azanza <i>et al.</i> 2018)
19	Condiciones de alta temperatura ambiental, potenciales causas de deshidratación de neonatos tras eclosión (Frecuencia Baja) Consecuencia: Pérdida de neonatos (Baja). (Sea Turtle Conservancy, 2022). Barreras: empleo de la noche para la tarea (robusta), salida durante tormenta (robusta) (Azanza <i>et al.</i> 2018)
20	Presencia de obstáculos naturales, sargazo y basura marina generada por el hombre que pueden causar el atrapamiento de neonatos durante su salida (Frecuencia Baja). Consecuencia: Pérdida de neonatos (Baja). (Azanza, 2009; Azanza <i>et al.</i> 2018). Barreras: sistemas de limpieza de plásticos en el mar (blanda). Reductores de frecuencia: Sistemas normativos de prevención y control de contaminación marítima (blanda) (Azanza <i>et al.</i> 2018)
21	Presencia de depredadores humanos potenciales o saqueadores durante eclosión (Frecuencia Alta). Consecuencia: Pérdida de neonatos (Altas). Barreras: ecosistemas protegidos (normal), medidas de prohibición de la venta de productos derivados de la tortuga (blanda), empleo de la noche para la tarea (robusta). Reductores de frecuencia: Incremento de zonas monitoreadas (blanda), capacitación del personal de campo (blanda) (Azanza, 2009; Arzola <i>et al.</i> 2019)
Dispersión de crías en mar abierto	
22	Presencia de potenciales depredadores naturales en el mar (Frecuencia Baja). Consecuencia: Pérdida de neonatos (Media) (Seminoff, 2002). Barreras: no se identifican

No.	Descripción de suceso iniciador (frecuencia). Consecuencias (gravedad). Defensas (robustez)
23	Presencia de depredadores humanos potenciales o pescadores furtivos en el mar (Frecuencia Alta). Consecuencia: Pérdida de neonatos (Alta). Barreras: zonas de pesca restringidas (blanda), medidas de prohibición de la venta de productos derivados de la tortuga (blanda) (Azanza <i>et al.</i> 2018)
24	Potencial existencia de basura marina en el mar (Frecuencia Alta). Consecuencia: Pérdida de neonatos (Alta) (Maldonado <i>et al.</i> , 2022; Alonso Aguirre <i>et al.</i> 1994; Arthur <i>et al.</i> 2008). Barreras: sistemas de limpieza de plásticos en el mar (blanda). Reductores de frecuencia: Sistemas normativos de prevención y control de contaminación marítima (blanda) (Azanza <i>et al.</i> 2018)
25	Potencial existencia de manchas de petróleo en el mar (Frecuencia Alta). Consecuencia: Pérdida de neonatos (Muy Altas) (Frasier <i>et al.</i> , 2020; Wallace <i>et al.</i> , 2020). Barreras: sistemas de limpieza de petróleo en el mar (blanda). Reductores de frecuencia: Sistemas normativos de prevención y control de contaminación marítima (blanda) (Azanza <i>et al.</i> 2018)

cronológica las etapas con sus respectivas secuencias de fallo del ciclo de vida, así como una breve explicación correspondiente a cada caso.

Estimación del riesgo

Finalmente, se ha obtenido un patrón de riesgo para el ciclo de vida de las tortugas verdes que cuenta con 25 sucesos iniciadores con sus correspondientes secuencias de fallo, 16 barreras, siete reductores de frecuencia, dos reductores de consecuencias y 15 tipos – magnitud de consecuencias (pérdida de adultas reproductoras [ADU], no anidamiento [NAN], pérdida del nido [PNI], pérdida de neonatos [NEO] y pérdida de neonatos, juveniles y adultos [NJA]).

En el sistema informático empleado, por convención, cada secuencia accidental se codifica con los caracteres “SEC” y un número consecutivo. Los sucesos iniciadores se identifican con los caracteres “SI” y el tipo de consecuencia que genera el evento junto a una combinación numérica. Al final del código del iniciador se coloca entre paréntesis su nivel de frecuencia. Las defensas tienen un código identificador que permite diferenciarlas como barreras (B-), reductores de frecuencia (RF-) y reductores de consecuencia (RC-); a lo que sigue un número consecutivo. Al final de cada código de defensa se coloca entre paréntesis su robustez. Finalmente, las consecuencias de cada secuencia se codifican como “C-”, a lo que continúa su tipo de consecuencia. Al final del código de la consecuencia se coloca entre paréntesis su nivel de gravedad (Torres *et al.*, 2021).

Aunque algunas consecuencias pueden implicar a las siguientes, se ha preferido clasificarlas de acuerdo a la afectación más inmediata del suceso iniciador. En este diseño de defensas, se aprecian 12 de naturaleza humana y 12 derivadas del desarrollo adaptativo o del instinto de supervivencia de la especie.

El perfil de riesgo obtenido se presenta en la Fig. 3.

La distribución de los riesgos por etapa se presenta en la tabla 2:

Tabla 2. Distribución de riesgos por nivel y etapas del ciclo de vida de la tortuga verde.

Table 2. Distribution of risks by level and stages of the life cycle of the green turtle

Etapas	RMA	RA	RM	RB	Total por etapa
Migración de hembras reproductoras (MIG)	0	1	2	0	3
Ascensión o Emergencia de la hembra reproductora para desove (ASC)	0	2	1	1	4
Anidación (ANI)	0	1	3	1	5
Incubación de los nidos (INC)	0	4	1	0	5
Emergencia de neonatos (NEO)	0	0	2	2	4
Dispersión de crías en mar abierto, (SAL)	2	1	1	0	4
Riesgos ciclo de vida de tortugas verdes (TOV)	2	9	10	4	25

Leyenda: RMA- riesgos muy altos, RA- riesgos altos, RM- riesgos medios, RB- riesgos bajos

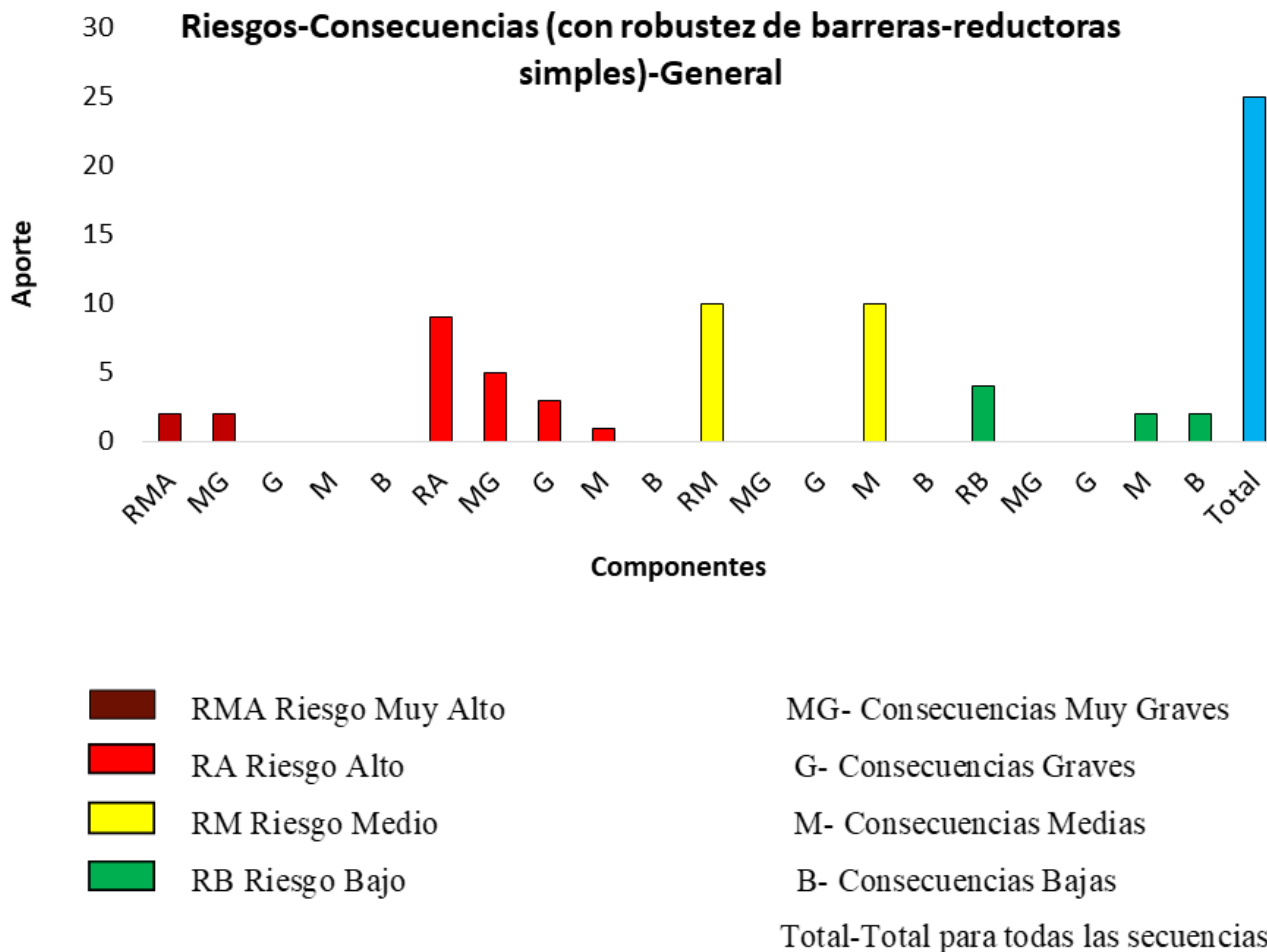


Fig. 3. Perfil de riesgo del ciclo de vida de la tortuga verde.
Fig. 3. Risk profile of the green turtle reproductive cycle.

Como se aprecia en la tabla, los riesgos Muy Altos están concentrados en la etapa de Dispersión de crías en el mar abierto, mientras que los Altos están distribuidos en prácticamente todo el ciclo. En la figura y la tabla se aprecian dos Riesgos Muy Altos, responsables del nivel de riesgo Muy Alto de todo el ciclo. En la figura se ilustra la composición de los riesgos por sus consecuencias. Los dos Riesgos Muy Altos (RMA) tienen consecuencias Muy Graves y los nueve Riesgos Altos (RA) están distribuidos en consecuencias Muy Graves (5), Graves (3) y Medias (1).

La lista de los riesgos Muy Altos y Altos cuantificados se presenta en la tabla 3:

Cada secuencia de la columna Sec{Si} se identifica por su número y el código de iniciador que la provoca entre llaves. El nivel de riesgo se presenta en la columna Riesgo. Cada Consecuencia (columna Consec.) se representa con su gravedad entre paréntesis (MA-muy grave o muy alta y A-grave o alta). La etapa a la que pertenece la secuencia aparece con su código informático, según se estableció en el documento (ver mapa de proceso). En la última columna se describe el iniciador que genera la secuencia.

Tabla 3. Lista de riesgos elevados en el ciclo de vida de la tortuga verde.
Table 3. List of high risks in the life cycle of the green turtle

No	Sec{SI}	Riesgo	Consec.	Proceso	Descripción
1	SEC22{SI-NJA6.3(A)}	MA	C-NJA(MA)	SAL	Potencial existencia de basura marina en el mar
2	SEC23{SI-NJA6.4(A)}	MA	C-NJA(MA)	SAL	Potencial existencia de manchas de petróleo en el mar
3	SEC7{SI-NAN2.4(A)}	A	C-NAN(MA)	ASC	Presencia de depredadores furtivos de tortugas
4	SEC26{SI-ADU3.6(A)}	A	C-ADU(MA)	ANI	Caza furtiva de la hembra durante desove
5	SEC12{SI-PNI4.1(B)}	A	C-PNI(MA)	INC	Selección inadecuada del sitio de incubación
6	SEC13{SI-PNI4.2(M)}	A	C-PNI(MA)	INC	Marejada o fenómeno natural puede provocar pérdida del nido durante incubación
7	SEC14{SI-PNI4.3(A)}	A	C-PNI(MA)	INC	Presencia de depredadores humanos potenciales saqueadores de nidos durante incubación
8	SEC1{SI-ADU1.1(A)}	A	C-ADU(A)	MIG	Potencial pesca furtiva en áreas de alimentación
9	SEC6{SI-NAN2.3(A)}	A	C-NAN(A)	ASC	Modificaciones del hábitat provocadas por el hombre que pueden ocasionar fracaso del ascenso
10	SEC21{SI-NJA6.2(A)}	A	C-NJA(A)	SAL	Presencia de depredadores humanos potenciales cazadores furtivos en el mar
11	SEC16{SI-PNI4.5(M)}	A	C-PNI(M)	INC	Presencia de hongos y bacterias potenciales parásitos del nido durante incubación

El ordenamiento de las barreras que participan en el control de los riesgos se realiza por la opción de riesgos aumentados al inhabilitarse la defensa, como muestra el histograma de la Fig. 4.

La identificación de las barreras más importantes ordenadas en la figura corresponde a los siguientes ítems: B-2(R) Empleo de la marea para la tarea, B-4(N) Ecosistemas protegidos, B-7(R) Empleo de la noche

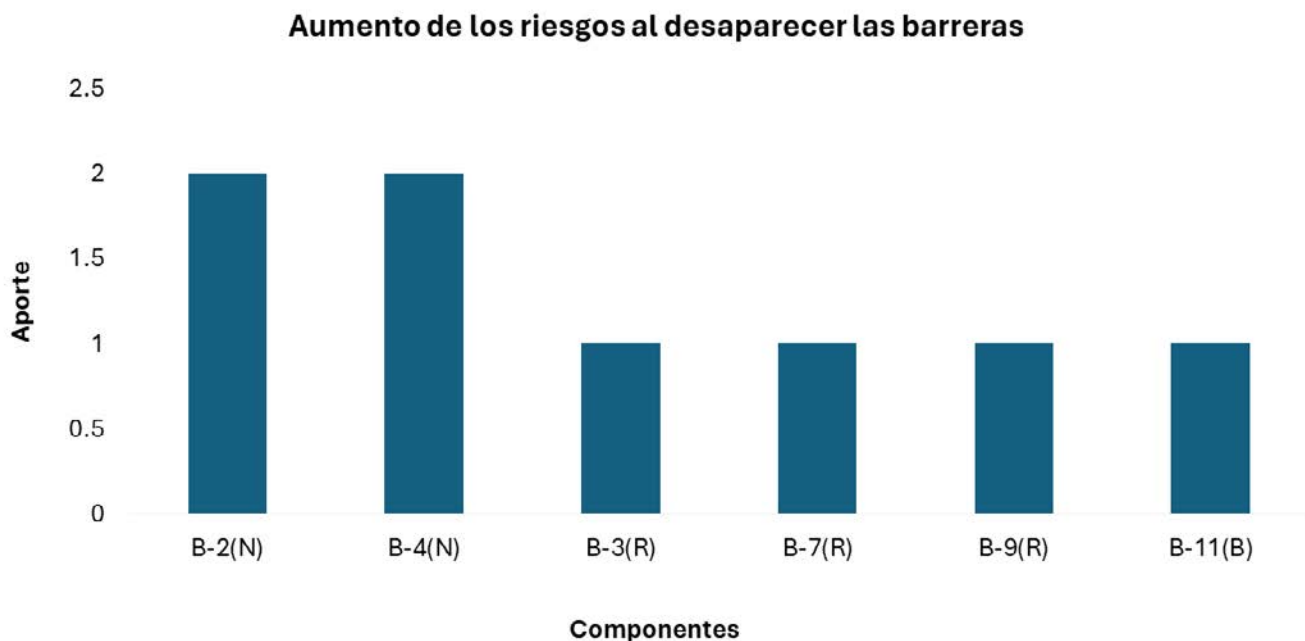


Fig. 4. Barreras ordenadas por su impacto al desaparecer la defensa.
Fig. 4. Barriers ordered by their impact when the defense disappears.

para la tarea, B-3(R) Fidelidad a la playa de desove, B-9(R) Salida durante la tormenta y B-11(B) Sistemas de limpieza de plásticos en el mar.

Discusión

Al estimar el riesgo del ciclo de vida de las tortugas verdes se concluye que este tiene un nivel de riesgo Muy Alto. Ello está asociado a los riesgos muy altos que aparecen en la etapa de Dispersión de crías en mar abierto.

Como se aprecia en el estudio las defensas más importantes para controlar los riesgos del ciclo de vida de las tortugas están siendo las relativas a mecanismos naturales de conservación de la especie. La poca robustez de los reductores de frecuencia (incremento de zonas monitoreadas, capacitación de personal de campo y sistemas normativos de prevención y control de contaminación marítima) y de consecuencias (incubación artificial de huevos, recuperación de nidadas expuestas o crías desorientadas) incorporados al estudio los hace insignificantes por su impacto.

La mayoría de los riesgos Muy Altos (MA) y Altos (A) corresponden a causas humanas, (ocho de 11) comenzando por la contaminación del medioambiente que constituye el hábitat de alimentación de las tortugas verdes, y continuando por las actividades de depredación humana durante la migración, ascensión y anidación de las hembras reproductoras, la incubación de los nidos y la dispersión de las crías en el mar abierto.

La bibliografía consultada sobre riesgos del ciclo de vida de la tortuga verde apoya los resultados obtenidos por este estudio. En este caso, cabe citar, para los riesgos muy altos, las afirmaciones realizadas por Maldonado (2022) y CNN (2021), los cuales citan a la contaminación ambiental como un contribuyente muy importante al daño de las tortugas y su ciclo de vida. Para los riesgos altos, las afirmaciones realizadas por Seminoff (2002) y Azanza (2009, 2018) constituyen un soporte muy atinado de referencia, destacando la trascendente contribución de la depredación humana a que se somete a la especie. En el caso de los derrames del petróleo,

se plantea que más allá de los efectos directos sobre los individuos, los efectos persistentes en los hábitats de alimentación representan la mayor amenaza para las especies expuestas a estos eventos (Frazier *et al.* 2020; Frazier *et al.* 2020).

Azanza *et al.* (2018) realizan una clasificación de amenazas para la especie (polución, pesca ilegal, enfermedades, intensidad de huracanes, nivel del mar, erosión de la playa, arribazones de sargazo, turismo, etc.), las que se encuentran claramente representadas en la estructura modelada de secuencias de fallo del ciclo de vida de las tortugas verdes. También las medidas de protección contenidas en dicha investigación han sido incorporadas en el modelado del patrón de riesgo del ciclo de vida de las tortugas, incluyendo los ecosistemas protegidos, las medidas de prohibición de la venta de productos derivados de las tortugas y otras relativas al control de la contaminación marina. Siguiendo las deducciones de Azanza (2018), se han incorporado además al modelo de riesgo, el incremento de zonas monitoreadas y la capacitación de personal de campo.

Un hallazgo derivado de la figura 4 resulta muy trascendente en este estudio. Dada la poca robustez de los mecanismos de protección de origen antropogénico, las defensas naturales están siendo las protagonistas de la supervivencia de la especie. Ello significa que, dado el estado actual de implementación de los mecanismos manejados por el hombre, resultan poco efectivas las restricciones de zonas de pesca, las medidas de prohibición a la venta de productos derivados de la tortuga y los sistemas de limpieza de plásticos en el mar, así como los de control y limpieza de los escapes de petróleo. También resultan de bajo impacto otras medidas como el incremento de zonas monitoreadas y la capacitación de personal de campo, las que están limitadas por la frecuencia de los controles y la estabilidad del personal de vigilancia. La baja efectividad de las medidas antropogénicas de control de riesgo para el ciclo de vida de las tortugas ha sido avalada por los criterios de varios autores (Azanza *et al.*, 2018; Maldonado *et al.* 2022;

Seminoff, 2002; Hohn *et al.* 2020; Alonso Aguirre *et al.*, 1994; Arthur *et al.*, 2008). Como contrapartida, debe resaltarse que la existencia de ecosistemas protegidos es una medida que demuestra que las gestiones antropogénicas bien implementadas, pueden tener un rol importante en el control de estos riesgos.

Finalmente, debe resaltarse que constituye un aporte metodológico de esta investigación la incorporación al modelo de las medidas de defensa derivadas del comportamiento de sobrevivencia de la especie (descritas por Azanza, 2009), las que muestran mecanismos naturales robustos para salvar los obstáculos naturales y antropogénicos identificados durante el ciclo de vida de la especie.

No se ha localizado ninguna bibliografía sobre un ciclo natural que ordene los niveles de riesgo ni la efectividad de las defensas, como ha sido propuesto por este estudio.

Conclusiones

Los resultados de la investigación constituyen una novedad en el marco de los estudios de riesgo para especies amenazadas como la tortuga verde (*Chelonia mydas*). Sus hallazgos pueden contribuir a soportar científicamente los tipos de defensas que más se deben reforzar para disminuir la influencia humana sobre los riesgos de sobrevivencia de esta especie.

La investigación constituye un precedente de referencia sobre el ordenamiento del proceso de análisis de riesgo para un ciclo natural, en el que la determinación del mapa del proceso y la descripción de las secuencias de fallo con sus defensas representan hitos con particularidades distintivas para este tipo de estudio de riesgo.

Se comprobó la influencia preponderante de factores humanos en los riesgos de contaminación del hábitat de las tortugas y en la depredación durante varias de las etapas de su ciclo de vida. Dado el estado actual de implementación de las medidas antropogénicas de control del riesgo para el ciclo de vida de las tortugas verdes, se demostró una preponderancia del efecto de las defensas originadas en los mecanismos naturales de sobrevivencia

frente a los gestionados por el hombre. Ello significa que, si se desea que estas medidas pasen a jugar un rol importante en el control de los riesgos, deberán lograrse mecanismos de implementación más eficaces.

La aplicación de la metodología puede extenderse a otros ciclos de vida de especies amenazadas. La introducción de defensas basadas en mecanismos naturales del desarrollo adaptativo de las especies es un aporte novedoso que puede contribuir a la aplicación del método al estudio del riesgo de procesos naturales.

Agradecimientos

A todos los voluntarios que apoyaron de forma desinteresada en la toma de los datos. A Ocean Foundation, See Turtles y Chelonian Conservation Society por su apoyo financiero y equipamiento para el desarrollo de la investigación. A la administración del Parque Nacional Guanahacabibes por el apoyo logístico y organizativo. Al proyecto “Evaluación de los efectos del cambio climático en el éxito reproductivo de las tortugas marinas en las principales áreas de anidación del occidente del archipiélago cubano” por contribuir a la logística para la toma de datos. Al Cuerpo de Guardabosques, la ODIG y entidades del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente por las autorizaciones requeridas. A todas estas instituciones, además, por el apoyo logístico brindado. A los revisores anónimos y editores de la Revista del Centro de Investigaciones Marinas por sus críticas y sugerencias.

Declaraciones

Financiamiento

Este estudio ha recibido fondos de A las ONGs Ocean Foundation, See Turtles y Chelonian Conservation Society y del proyecto “Evaluación de los efectos del cambio climático en el éxito reproductivo de las tortugas marinas en las principales áreas de anidación del occidente del archipiélago cubano” para su desarrollo.

Conflicto de intereses

Les informo además que todos los autores están de acuerdo con la publicación de los resultados científicos presentados y no existen conflictos de intereses que puedan generar posteriores reclamos por parte de alguno de los autores o por terceras partes.

Comportamiento ético

Los autores han seguido todas las recomendaciones aplicables tanto internacionales, nacionales como institucionales relacionadas con el uso y manejo de animales para la investigación.

Permisos de muestreo y otros permisos

Los autores han recibido de las autoridades pertinentes los permisos necesarios para realizar los muestreos.

Contribución de autores

Conceptualización, ATV, JAR; Metodología, ATV, JAR; Software, ATV; Validación, JAR; Análisis formal, ATV, JAR; Investigación, ATV, JAR; Recursos, JAR; Curación de datos, ATV, JAR; Escritura - Preparación del borrador original, ATV; Escritura - Revisión y edición, ATV, JAR; Visualización, JAR; Administración del proyecto, JAR; Adquisición de fondos, JAR.

Referencias

- Ajo Melia, R., Torres Valle, A., Azanza Ricardo, J., Rubio Limonta, M. (2024). Estrategia de prevención para la infección viral con Necrosis Infecciosa Hipodérmica y Hematopoyética en el cultivo de camarón. *Rev. Invest. Mar.*, 43, 80-96. Disponible en: <https://revistas.uh.cu/rim/article/view/7746>
- Alonso Aguirre, A., Balazs, G.H., Zimmerman B., Galey, F.D. (1994). Organic contaminants and trace metals in the tissues of green turtles (*Chelonia mydas*) afflicted with fibropapillomas in the Hawaiian islands. *Mar Pollut Bull.*, 28, 109-114. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(94\)90547-9](https://doi.org/10.1016/0025-326X(94)90547-9)
- Aoki, D. M., Perrault, J. R., Hoffmann, S. L., Guertin, J. R., Page-Karjian, A., Stacy, B. A., Lowry, D. (2023). Forensic determination of shark species as predators and scavengers of sea turtles in Florida and Alabama, USA. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 703, 145-159. Disponible en: <https://doi.org/10.3354/meps14214>
- Arthur, K., Limpus, C., Balazs, J., Capper, A., Udy, J., Shaw, G., Keuper-Bennett, U., Bennett, P. (2008). The exposure of green turtles (*Chelonia mydas*) to tumour promoting compounds produced by the cyanobacterium *Lyngbya majuscula* and their potential role in the aetiology fibropapillomatosis. *Harm Alg.*, 7, 114-125. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2007.06.001>
- Arzola-González, J.F., Barrón-Hernández, J., Gutiérrez-Rubio, Y., Voltolina, D., Ramírez-Pérez, J.R. (2019). Anidación e incubación artificial de huevos de tortuga golfina *Lepidochelys olivacea* (Testudines: Cheloniidae). *Ecosis. Recur. Agropec.*, 6, 595-599. Disponible en: <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.1971>
- Azanza Ricardo, J., Gerhartz Muro, J.L., Forneiro Martín-Viaña, Y., Moncada Gavilán, F., Bretos F., Medina Cruz, Y., Nodarse Andreu, G., Pérez Martín, R., García Alfonso, E. (2018). Achievements and challenges of marine turtle conservation in Cuba. *Bull. Mar. Sci.*, 94, 297-312. Disponible en: <https://doi.org/10.5343/bms.2016.1123>
- Azanza Ricardo, J. (2009). *Estrategia reproductiva de la tortuga verde, Chelonia mydas, (Testudines, Cheloniidae) y su impacto en la estructura genética de áreas de anidación del occidente del archipiélago cubano* (Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Biológicas), Cuba.
- Azanza Ricardo, J., Cabrera Guerra, C., Martínez Borges, A., Fernández Álvarez, J.C., Pérez Alarcón, A., Martínez González, Y., Calderón Peña, R. Varela Montero, R. (2021). Impacto de eventos meteorológicos en el éxito reproductivo de las tortugas marinas en la península de Guanahacabibes, Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 41, 109-125
- Azanza, J., Ibarra, M. E., Ruiz, A., Hernández, J., Díaz-Fernández R., Hernández, N. (2008). Análisis de nidos de tortuga verde (*Chelonia mydas*) durante la temporada de

- anidación 2006 en la Península de Guanahacabibes, Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 29, 61-69.
- Azanza, J., Ruisanchez, Y., Ibarra, M. E., Ruiz, A., Luis, C. Y. Colectivo de estudiantes de la Facultad de Biología. (2006). Indicadores del éxito reproductivo de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) en tres playas de la Península de Guanahacabibes, Pinar del Río, Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 27, 69-78
- Azanza-Ricardo, J., Gerhartz-Muro, J. L. Forneiro Martín-Viaña Y., Moncada-Gavilán, F. (2015). Efectividad del monitoreo de la anidación de tortugas marinas para determinar el éxito reproductivo en playas del sur de Cuba. *LAJAR.*, 43, 548-556.
- Azanza-Ricardo, J., Gerhartz Muro, J. L., Forneiro Martín-Viaña, Y., Moncada Gavilán., F., Bretos, F., Medina-Cruz, Y., Nodarse Andreu, G., Pérez Martín R., García-Alfonso, E. (2018). Marine turtle onservation in Cuba: Achievements and challenges facing persistent and emerging threats. *Bull. Mar. Sci.*, 94, 297-312.
- Barrán, T. (2007). *Hurricane Toll: Variable Effects of Large-Scale Climatic Perturbations on Green Sea Turtle (C. mydas) Nesting Behaviour and Ecology*. A thesis submitted to the Department of Biology in partial fulfilment of the requirements of the degree of Bachelor of Science (Honours) Queen's University Kingston, Ontario, Canada.
- Bowen, B. W., Meylan, A., Avise, J. C. (1989). An odyssey of the green sea turtle: Ascension Island revisited. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 86, 573-576.
- Broderick, A. C., Glen, F., Godley, B. J., Hays, G. C. (2003). Variation in reproductive output of marine turtles. *J. Experim. Mar. Biol. Ecol.*, 288, 95-109.
- Caderno, A., Moncada, F. G. (2019). Análisis de la pesquería furtiva de tortugas marinas en aguas de la plataforma cubana. *Rev. Cub. Invest. Pesq.*, 36, 1-8.
- Chen, T.H., Cheng, I.J. (1995). Breeding biology of the green turtle, *C. mydas* (Reptilia: Cheloniidae), on Wan-An Island, PengHu archipelago, Taiwan. I. Nesting ecology. *Mar. Biol.*, 124, 9-15.
- Dalleau, M., Ciccione, S., Mortimer, J. A., Garnier, J., Benhamou, S., Bourjea, J. (2012). *Nesting phenology of marine turtles: insights from a regional comparative analysis on green turtle (Chelonia mydas)*. e46920.
- FitzSimmons, N. N. (1998). Single paternity of clutches and sperm storage in the promiscuous green turtle *C. mydas*. *Mol. Ecol.*, 7, 575-584
- Frazier, J. G. (1985). Season variation in clutch size for loggerhead sea turtle, *Caretta caretta*, nesting on Little Cumberland Island Georgia, U.S.A. *Copeia*, 4, 1083-1085.
- Frazier, J. G. (2004). Marine Turtle of the Past: A Vision for the Future?. En U. Albarella, K. Dobney y P. Rowley-Conwy (Eds.). *The Future from the Past: Archaeozoology in Wildlife Conservation and Heritage Management*. Proceedings of the 9th Conference of the International Council of Archaeozoology, Durham.
- Frasier, K. E., Solsona-Berga, A., Stokes, L., Hildebrand, J. A. (2020). *Impacts of the deepwater horizon oil spill on marine mammals and sea turtles*. Springer International Publishing, pp. 431-462. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-11605-7_26
- Grassman, M. A., Owens, D. W. (1981). Evidence of olfactory imprinting in loggerhead turtles. *Mar. turtle Newsl.*, 19, 7-10.
- Groombridge, B., Luxmoore, R. 1989. *The green turtle and hawksbill (Reptilia: Cheloniidae): World status, exploitation, and trade*. Lausanne, Switzerland: CITES Secretariat 601.
- Hamann, M., Limpus, C. J., Owens, D. W. (2003). Reproductive cycles of males and females. En P.L. Lutz, J.A. Musick, J. Wyneken, (Eds), *The Biology of Sea Turtles* (pp. 135-161).
- Heithaus, M. R., Wirsing, A. J., Thomson, J. A., & Burkholder, D. A. (2008). A review of lethal and non-lethal effects of predators on adult marine turtles. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 356, 43-51. Disponible en: [doi:10.1016/j.jembe.2007.12.013](https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.12.013).
- Hirth, H. (1997). Synopsis of the biological data on the green turtle, *C. mydas* (Linnaeus 1758). United States. *Fish Wildl. Serv. Biol. Rep.*, 97, 120.

- Hohn, S., Acevedo-Trejos, E., Abrams, J. F., de Moura, J. F., Spranz, R., Merico, A. (2020). The long-term legacy of plastic mass production. *Sci. Total Environ.*, 746, 141115 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141115>
- IAEA. (2016). *Application of the Risk Matrix Method to Radiotherapy*. IAEA-TECDOC 1685 Series. Viena: IAEA, 2016.
- IPCC. (2021). *AR6 Climate Change 2021: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. The Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report, 2021 [Citado: 30 de mayo de 2021] Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>
- Lee, P. L. M., Luschi, P., Hays, G. C. (2007). Detecting female precise natal philopatry in green turtles using assignment methods. *Mol. Ecol.*, 16, 61–74.
- Limpus, C.J. (1992). The hawksbill turtle, *Eretmochelys imbricata*, in Queensland: population structure within a southern Great Barrier Reef feeding ground. *Wildl. Res.*, 19, 489-506.
- Liu, J., Meucci, A., Young, I. R. (2023). A comparison of multiple approaches to study the modulation of ocean waves due to climate variability. *J. Geophys. Res. (C Oceans)*, 128, e2023JC019843.
- Maldonado Saldaña, G., Aldana Aranda, D., Labrada Martagón V. (2022). Basura plástica en tortugas del Caribe. *Rev. Cienc.*, 73, 2
- Mast, R. B., Hutchinson, B J., Wallace, B., Yarnell, L. Hoy, S. (2011). SWOT Feature Maps: Global Biogeography of Green Turtles. *SWOT Report*, 6, 35-37.
- Mazaris, A.D., Schofield, G., Gkazinou, C., Almpandou, V., Hays G. C. (2017). Global sea turtle conservation successes. *Sci. Advanc.*, 3, e1600730.
- Meylan, A. B., Bowen, B. W. Avise J. C. (1990). A genetic test of the natal homing versus social facilitation models for green turtle migration. *Science*, 248, 724-727.
- Miller, J. D. (1997). Reproduction in sea turtles. In: Lutz PL, Musick JA (eds) *The Biology of Sea Turtles*. CRC, Boca Raton, pp 51-83.
- Patrício, A. R., Varela, M. R., Barbosa, C., Broderick, A. C., Airaud, M. B. F., Godley, B. J., ... Catry, P. (2018). Nest site selection repeatability of green turtles, *Chelonia mydas*, and consequences for offspring. *Anim. Behav.*, 139, 91-102.
- Phillott, A. D., Yaghamour, F. (2024). Conservation implications of pathogens, parasites, and pollutants for sea turtles. *Front. Mar. Sci.*, 11, 1359457. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00227-023-04327-9>
- Pike, D.A. Stiner, J.C. (2007). Sea turtle species vary in their susceptibility to tropical ciclones. *Oecologia*, 153, 471-478
- Pilcher, N. J., Al-Merghani, M. (2000). Reproductive biology of green Turtles at Ras Baridi, Saudi Arabia. *Herpetol. Rev.*, 31, 142-147.
- PNUMA. (2016). *Marine Litter Legislation: a Toolkit for Policymakers*. Disponible en: [file:///C:/Users/maria.fernandez/Downloads/Marine_litter_legislation_A_policy_toolkit_for_policymakers-2016marine_litter_legislation.pdf%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/maria.fernandez/Downloads/Marine_litter_legislation_A_policy_toolkit_for_policymakers-2016marine_litter_legislation.pdf%20(1).pdf)
- Reece, J. S., Castoe, T. A., Parkinson, C. L. (2005). Historical perspectives on population genetics and conservation of three marine turtle species. *Con. Gen.*, 6, 235-251
- Sea Turtle Conservancy. (2022). *Información sobre tortugas marinas: Comportamiento general*, Disponible en: <https://conserveturtles.org/esp/informacion-sobre-tortugas-marinas-comportamiento-general/>
- Seminoff, J. (2002). *MTSG Green Turtle Assessment* ed. por IUCN pp. 87
- Seminoff, J.A. (2023). *Chelonia mydas* (amended version of 2004 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2023: e.T4615A247654386 <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2023-1.RLTS.T4615A247654386.en>. Accessed on 06 July 2024.
- Sierra, K., Torres, A. (2020). Matriz de Riesgo Tridimensional Aplicada a una Evaluación de Bioseguridad en una Práctica de Hemodiálisis. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 21, 13-21.
- Stokes, K. L., Fuller, W. J., Glen, F., Godley, B. J., Hodgson, D. J., Rhodes, K. A., Broderick, A. C. (2014). Detecting

- green shoots of recovery: the importance of long-term individual-based monitoring of marine turtles. *Anim. Conserv.*, 17, 593-602.
- Stokes, H. J., Esteban, N., Hays, G. C. (2024). Predation of sea turtle eggs by rats and crabs. *Mar. Biol.*, 171, 2-9.
- Torres A., Martínez E. (2015). Simulador para la enseñanza interactiva del riesgo de cambio climático. *Rev. Cub. Ing.*, 6, 13-21. Disponible en: <http://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/395/pdf>
- Torres Valle A., Amador Balbona Z., Alfonso Laguardia R., Elías Hardí L. (2021). SECURE-MR-FMEA código cubano para análisis integral de riesgo de prácticas con radiaciones ionizantes, *Nucleus*, 69, 44-55. Disponible en: <http://nucleus.cubaenergia.cu/index.php/nucleus/article/view/727/944>
- Torres Valle, A., Jauregui Haza, U., Garea Moreda, B., Martínez Martín, E., Suazo Torres, L. (2021). Análisis de riesgo aplicado al estudio de la sostenibilidad energética, *Revista Ingeniería Energética*, 42, 66-77. Disponible en: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/638/777>
- Wallace, B. P., Stacy, B. A., Cuevas, E., Holyoake, C., Lara, P. H., Marcondes, A. C. J., Shigenaka, G. (2020). Oil spills and sea turtles: documented effects and considerations for response and assessment efforts. *Endangered Species Research*, 41, 17-37. Disponible en: <https://doi.org/10.3354/esr01009>

Como citar este artículo

Torres Valle, A., Azanza Ricardo, J. (2024). Análisis de riesgo aplicado al ciclo de vida de la tortuga verde. *Rev. Invest. Mar.*, 44(1), 180-196.