



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

---

---

REVISIÓN DE LOS EFECTOS DE LA  
CONTAMINACIÓN ANTRÓPICA EN  
TESTUDINES Y CROCODYLIA

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**BIÓLOGA**

PRESENTA  
**ALISON ARAGÓN LOZANO**

DIRIGIDA POR  
**Dra. SANDRA FABIOLA ARIAS  
BALDERAS**



Los Reyes Iztacala, Edo. de México. Octubre, 2023.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo enteramente a mi amada mamá Laura, quien bajo su brazo protector me llenó de amor y me brindó todo el apoyo necesario para destacar ante cualquier nuevo reto que me propusiera. Eres mi ejemplo de lucha y perseverancia ante las adversidades de la vida y por todo lo que me has dado y que has sacrificado estoy enormemente agradecida.

## **Agradecimientos**

A la Dra. Sandra Fabiola Arias Balderas, por la oportunidad de desmenuzar un tema tan apasionante y de carácter urgente en nuestro mundo actual, así como por su amable profesionalismo, paciencia y tiempo dedicado.

A la CD. Adriana León Zamudio, jefa del departamento de apoyo al desarrollo académico, por su incansable labor en la promoción y coordinación de programas de apoyo para los estudiantes. Gracias por guiarme personalmente a través de cada proceso administrativo, hasta alcanzar mis objetivos económicos y académicos.

A la DGECEI – UNAM, al Gobierno del Estado de México y Fundación UNAM, ya que gracias a los apoyos otorgados pude no solo sacar adelante mis estudios, sino, que me permitieron ampliar mi panorama profesional y personal a través inigualables experiencias en universidades extranjeras.

A la Biól. Ana Lilia Moreno Trejo, mi maestra de biología en Prepa INDO, quien me mostró el fascinante mundo de las ciencias naturales y me motivó a elegir este camino con su contagiosa pasión por el estudio de los seres vivos, desde una mirada evolutiva e integral.

# Índice

Introducción.....	1
Objetivos .....	6
Objetivo general .....	6
Objetivos específicos.....	6
Material y método.....	6
Análisis de resultados y discusión .....	8
Efectos de las actividades antrópicas .....	14
Cocodrilos .....	19
Tortugas.....	22
Acciones de conservación .....	27
Conclusiones.....	32
Bibliografía .....	34

## Introducción

México ocupa el segundo lugar en diversidad de reptiles a nivel mundial. Cuenta con 864 especies descritas en 159 géneros y 40 familias, que representan el 8.7% de los reptiles del mundo, de las cuales 493 son endémicas del país. Dentro de los reptiles se reconocen 3 grupos: Testudines o Chelonia (tortugas), Lepidosauria (tuataras, anfisbenias, lagartijas y serpientes) y Archosauria (cocodrilos [Crocodylia], aves y otros grupos fósiles). El grupo de los Testudines se encuentra representado en México por 48 especies de tortugas de las 245 del mundo, y el de Crocodylia por 3 especies, de las 23 descritas en el mundo (Flores y García, 2014).

Morfológicamente, los Testudinos se caracterizan por tener un cuerpo cubierto de huesos dérmicos o caparazón. Esta concha, está fusionada a las vértebras (excepto las de cuello y cola), a las costillas y a las cinturas pélvica y pectoral; la parte ventral de la concha se llama plastrón. Puede poseer extremidades modificadas en forma de aleta en aquellas especies marinas y en la familia Carettochelyidae; poseen membranas interdigitales amplias en las especies de familias dulceacuícolas, y patas anchas con dedos reducidos en las especies terrestres. Presentan una modificación en la boca, formando una ranfoteca y no poseen dientes sino un borde cortante en las mandíbulas (Escobedo, 2012).

Por otro lado, los Crocodylia se caracterizan por tener el cuerpo cubierto de una piel gruesa con osteodermos en la parte dorsal, algunas especies también en la parte ventral; los dientes son tecodontos; paladar secundario; tienen dividida la cavidad torácica por un músculo similar al diafragma de mamíferos; el corazón es tetracavitario; los dedos de las patas tienen membranas interdigitales amplias, pues todas las especies son semiacuáticas; poseen glándulas que posiblemente producen feromonas en la región gular y cloacal (Pough *et al.*, 2004). Todas las especies de cocodrilos son ovíparas, las hembras construyen nidos en los que depositan los huevos y los cuidan hasta que eclosionan. Los machos son muy territoriales y de mayor tamaño que las hembras (Escobedo, 2012).

Tanto tortugas como cocodrilos, comparten una característica interesante que es la determinación sexual por temperatura (TSD por sus siglas en inglés), este es un tipo de determinación sexual ambiental en el que el sexo de cada individuo se define después de la fertilización, de acuerdo a la temperatura de incubación de los huevos predominante durante un periodo termosensible. En el caso de las tortugas, se producen 50% machos y 50% hembras si se mantiene el nido a una temperatura pivotante (PT, por sus siglas en inglés), es decir, una temperatura ideal que varía entre especies y que debe mantenerse durante el periodo termosensible en el desarrollo embrionario para obtener la misma proporción de sexos (Sousa Martins *et al.*, 2012). Si se incuba a temperaturas inferiores (superiores) a la PT, el porcentaje de machos (hembras) aumenta (Martins, *et al.* 2012). En comparación, el patrón de

determinación sexual de los cocodrilos se caracteriza por producir 100% hembras a temperaturas bajas y altas (<32°C y >33.5°C) y producir machos en las temperaturas que quedan intermedias. Esta condición, hace susceptibles a estas especies a los cambios ambientales que ocurren en sus hábitats, por lo que las tendencias climáticas pronosticadas por el efecto del cambio climático ocasionado por el hombre (aumento de temperatura, disminución de la precipitación, mayor frecuencia de eventos extremos y el fenómeno El Niño más intenso) (IPCC. 2007), pueden constituir factores clave para la prevalencia de las tortugas y los cocodrilos en el futuro (Escobedo, 2012).

La contaminación ambiental se define como la alteración negativa del estado natural del ambiente por la introducción de sustancias u otros elementos físicos a los ecosistemas, provocando que este sea inseguro o no apto para su uso (Merriam, (n.d.); Villasante, 2000). Esta contaminación, a su vez se clasifica de acuerdo con el tipo de contaminante emitido (p. ej. contaminación química, biológica, acústica, lumínica, etc.), o de acuerdo con el medio afectado (p. ej., contaminación del agua, del suelo, del aire, atmosférica, etc.). Estos tipos de contaminación potencialmente son generados mediante procesos naturales como erupciones volcánicas o productos del metabolismo de los seres vivos. Pero también, por actividades humanas como el incremento de la población, incremento en la demanda per cápita de energía y recursos, así como el uso de tecnologías inadecuadas. Estas actividades generan un gran impacto en el ambiente y acentúan diversos fenómenos como el incremento de la temperatura global,

mediante la emisión de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ocasionando un cambio climático acelerado. Pero también cambios fenológicos de plantas y animales, que podrán representar modificaciones importantes en la disponibilidad de alimento para depredadores y herbívoros, las cuales pueden ser tan severas que significarían la desaparición de especies o de sus poblaciones (Molina *et al*, 2017).

Por otro lado, la excesiva luminosidad artificial de las ciudades, el exceso de ruido, la acumulación de residuos sólidos, la liberación de sustancias tóxicas al suelo y cuerpos de agua, la introducción de especies no nativas, la transmisión de enfermedades, la destrucción del hábitat, la agricultura, el uso de pesticidas, el cambio climático o hasta la presencia de infraestructuras lineales como carreteras, merman la abundancia, diversidad, actividad y composición de las poblaciones; modifican sus hábitos, sus costumbres, su distribución, alteran su salud y los patrones de movimiento de las especies (Sosenski *et al.*, 2018 ; Gorosti, 2000 ; Faeth, 2005). Por ejemplo, en el caso de la laguna del Tule, un humedal del pacífico mexicano, donde la salud del ecosistema entero se ha visto comprometida por prácticas pesqueras inadecuadas con redes inespecíficas, además de la disminución de la calidad del agua y la salud de los organismos por el desarrollo humano sin planeación, depredación, rellenos sanitarios, etc. (Galván *et al*, 2015). También como el caso de *Chelonia mydas*, una especie de tortuga orillada al filo de la extinción por consecuencia de actividades humanas como la

depredación de huevos y uso de técnicas de pesca inespecífica en España (Camiñas, 2004).

En el caso de los reptiles, es particularmente interesante estudiar las consecuencias de los efectos de esta contaminación ya que los contaminantes pueden ingresar por medio de la inhalación de aire, al beber agua, devorar una presa, absorción a través de la piel o también pueden alterar sus sentidos, como en el caso de la contaminación sonora y lumínica. Y aunque, es cierto que, los organismos pueden tener diferentes grados de susceptibilidad a diversos contaminantes y que pueden verse más o menos vulnerables dependiendo de la edad, estado nutricional, fisiológico o tiempo de exposición al contaminante (Soledad, 2009), aún se desconoce bastante sobre estas variaciones, las vías y el grado con que las poblaciones se ven afectadas. En particular grupos taxonómicos como los Crocodylia quienes, a pesar de ser especies muy antiguas, aún se continúan conociendo muchos aspectos de su biología y ecología, no obstante, se tiene un gran desconocimiento sobre el efecto en las modificaciones de su ambiente ocasionadas por actividades humanas.

Dado lo anterior, cobra relevancia recopilar y analizar la información que ha sido publicada en medios digitales sobre el impacto de la contaminación por actividades humanas en reptiles. Esto ayudará a dilucidar si estas especies están siendo afectadas o no y en qué medida, y posteriormente plantear soluciones de mitigación para evitar su desaparición y con ello el desbalance de

los ecosistemas, que a mediano o largo plazo atenta contra la misma supervivencia humana.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Realizar una revisión bibliográfica sobre el efecto de la contaminación antrópica en Crocodylia y Testudines.

### **Objetivos específicos**

- Recopilar la información existente sobre los efectos de la contaminación ambiental por actividad antrópica en la salud, hábitos y costumbres de los grupos taxonómicos Crocodylia y Testudines.
- Categorizar los tipos de contaminantes registrados en los hábitats de cocodrilos y tortugas.
- Analizar la información obtenida sobre la contaminación ambiental en cocodrilos y tortugas.

## **Material y método**

Se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva en recursos digitales a través de Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analysis (PRISMA), de acuerdo con las recomendaciones de Foster *et al.* (2012). Las bases de datos consultadas fueron Web of Science (1972-2016) y Google Scholar (1999-2022), para las cuales se emplearon los siguientes

caracteres de búsqueda en inglés: “crocodyles pollution” y “turtles pollution”.

Con los caracteres de búsqueda empleados, se hallaron 23,262 referencias bibliográficas. Todas estas referencias fueron importadas a Zotero (Versión 5.0.96.3), un recurso libre desarrollado por una organización sin fines de lucro (Centro Roy Rosenzweig para Historia y Nuevos Medios), que permite una mejor gestión de información, crear categorías, clasificar literatura e incluso agregar notas y citas bibliográficas automáticamente al documento que se esté redactando.

Después de remover duplicados, se examinaron los artículos basándose en la información que proporciona el título y el resumen. Para descartar los artículos poco relevantes se tomaron en cuenta los siguientes criterios de exclusión:

- a) Artículos con metodología y/o resultados similares.
- b) Artículos cuyo objeto de estudio principal no corresponden a los taxones de interés de esta revisión.
- c) Textos diferentes a artículos científicos, como fragmentos de libros, comentarios, columnas en revistas, etc.

140 artículos fueron incluidos para su escrutinio (Fig. 1) y 44 de los artículos descartados fueron almacenados en un apartado nombrado “discusión” ya que, aunque no cuentan con los requisitos para ser considerados dentro de la revisión, su contenido podría ser valioso para la discusión de la misma.

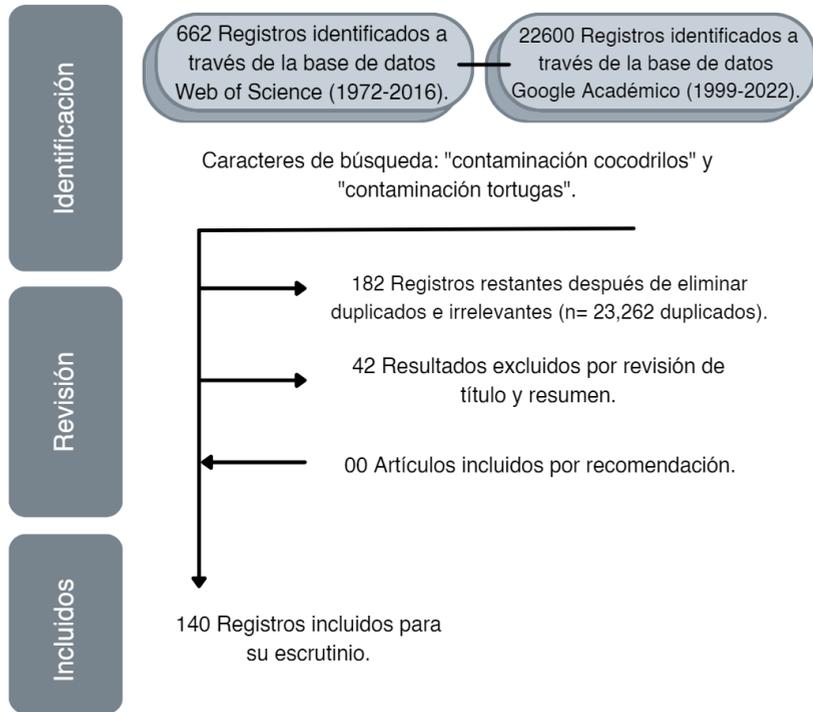


Figura 1. Proceso de obtención de registros incluidos dentro de la revisión.

La información recopilada de las referencias incluidas fue colocada en tablas de Excel® para Microsoft 365 MSO (versión 2208 compilación 16.0.15601.20526) dentro de categorías simples como la región en la que se elaboró el estudio, año, taxón, tipo de contaminante, efecto ocasionado y actividad humana relacionada, para posibilitar el tratamiento y análisis de la información.

## **Análisis de resultados y discusión**

Los ecosistemas acuáticos cubren aproximadamente dos terceras partes del planeta, juegan un papel fundamental en la determinación del clima global y albergan una gran biodiversidad de reptiles. Sin embargo, las crecientes actividades antrópicas provocan impactos en estos ambientes (Häder *et al.*, 2020). El declive de las poblaciones de tortugas y cocodrilos en todo el mundo está ligado a diversas amenazas asociadas a actividades humanas, incluyendo la pérdida y degradación de los ecosistemas, captura incidental, ingesta de plásticos, caza furtiva de huevos y caza excesiva (Verutes *et al.*, 2014). Existe una estrecha relación entre la degradación de los ecosistemas marinos y estuarinos por actividades antrópicas y el deterioro de la salud o cambios de comportamiento de los reptiles a nivel mundial. Sin embargo, no se genera suficiente información al respecto para terminar de comprender dicha interacción, ya que a pesar de que ha habido un incremento gradual en la cantidad de artículos generados año con año, solo 11 países del mundo (USA, Brasil, México, Australia, Sudáfrica, Costa Verde, Italia, China, África, España y Canadá) aportaron cuatro o más artículos relacionados al entendimiento de los efectos contaminantes de las actividades humanas a los taxones de interés, encabezado por Estados Unidos de América con 42 artículos, Australia con 15, México 14, Brasil 13 y Canadá 5 (Fig. 2 y Fig. 3).



Figura 2. Número de artículos encontrados por año.



Figura 3. Países con mayor número de estudios relacionados, liderado por Estados Unidos (39), Australia (15), México (14), Brasil (13) y Canadá (5).

En un artículo de revisión por autores de diferentes países como Alemania, México y Argentina (Donat *et al.*, 2020), discutieron 5 fuentes de contaminantes de origen antrópico que afectan ecosistemas acuáticos. Las categorías

analizadas fueron aguas residuales, nutrientes y materiales terrígenos, combustible crudo, metales pesados y plásticos. Sin embargo, dicha clasificación excluye bastantes fuentes de contaminantes a los taxones de interés, por lo que el presente análisis usó la categorización de químico, bioquímico, físico y mecánico. Encontrando una frecuencia similar entre las tres principales categorías (Fig. 4).

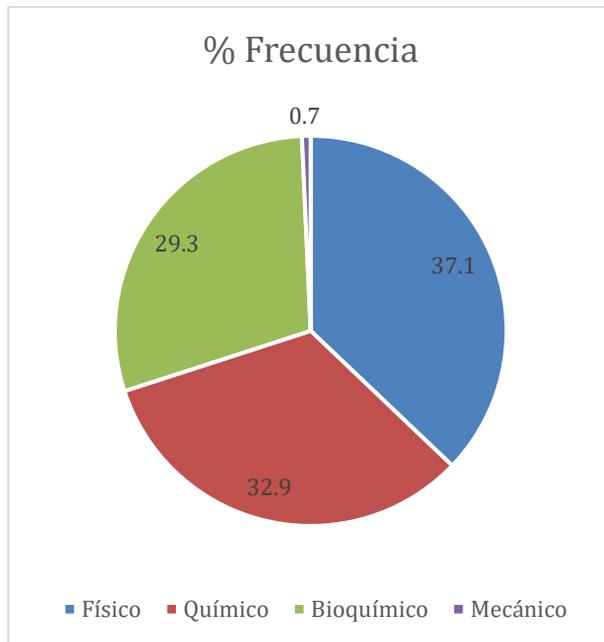


Figura 4. Porcentaje por categoría correspondiente a los artículos revisados.

Dentro de la información generada a nivel global se mencionan una gran variedad de actividades humanas que impactan negativamente en cocodrilos y tortugas, como el

abandono de redes de pesca en el mar (Duncan *et al.*, 2017), desecho de residuos sólidos urbanos al mar (Wilcox *et al.*, 2018; Casale *et al.*, 2016; Martín *et al.*, 2019; Machovsky *et al.*, 2020; Ciccarelli *et al.*, 2020 y Coferai *et al.*, 2017), descargas de aguas residuales domésticas e industriales en cuerpos de agua (Tada *et al.*, 2007; Beale *et al.*, 2002; Mesak *et al.*, 2019; Banaee *et al.*, 2021; Tellez *et al.*, 2015 y Rainwater *et al.*, 2011), introducción de especies exóticas (Forero *et al.*, 2007), modificación de ambientes costeros por urbanización o industrialización (Thompson *et al.*, 2017; Wilson *et al.*, 2018; Aguilera *et al.*, 2019; Cruz *et al.*, 2018; Verules *et al.*, 2014 y López *et al.*, 2011), contaminación lumínica (Robertson *et al.*, 2016), el uso de pesticidas y agroquímicos (Samara *et al.*, 2021; Cedillo *et al.*, 2018 y Milnes *et al.*, 2002), el cambio climático (Abella *et al.*, 2016 y Gholamhosseini *et al.*, 2021), derrames de combustibles (Camacho *et al.*, 2012) y hasta golpes con botes o motos de agua (Guimaraes *et al.*, 2017 y Van de Merwe *et al.*, 2009). De la misma forma que, al analizar la frecuencia de palabras recopiladas de cada artículo en relación con las principales actividades humanas que afectan a los cocodrilos y tortugas, se encontró que la principal fuente de perturbación para los taxones de interés es por contaminación de cuerpos de agua, desecho de residuos sólidos y desecho de aguas residuales o

escurrimientos de diversas fuentes como la industria, zonas de cultivo y asentamientos urbanos (Fig. 5).



Figura 5. Jerarquía de palabras colocadas acorde al número de apariciones dentro de los artículos revisados, haciendo referencia a las principales actividades humanas que afectan a las especies. La principal fuente de perturbación es por contaminación, desecho de residuos sólidos y desecho de aguas residuales o escurrimientos de diversas fuentes como industriales, agrícolas y urbanas.

Si bien los plásticos provenientes de actividades industriales y asentamientos urbanos representan la principal fuente de contaminación al ambiente, los residuos generados por los

hábitos de los consumidores individuales siguen siendo relevantes, ya que estos pueden ser fácilmente dispersados por el agua o el viento (Donat *et al*, 2020). De cualquier forma, la descarga de estos contaminantes a los sistemas acuáticos varía de esporádica a continua, y su persistencia varía de días a siglos. Sin embargo, esto no implica que uno sea menos dañino que otro, pues todos ellos causan impactos negativos a los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad de reptiles que alberga.

### **Efectos de las actividades antrópicas**

Actualmente las poblaciones de saurópsidos a nivel mundial se encuentran amenazadas, al grado de considerarse un taxón en declive a nivel mundial, debido a la alteración y destrucción del hábitat, tráfico ilegal, especies introducidas, enfermedades/parasitismo, calentamiento global y contaminación, esta última identificada como uno de los mayores peligros a nivel mundial (Gibbons *et al*, 2000; Schneider *et al*, 2013). Aún hace falta bastante comprensión sobre los efectos contaminantes en los reptiles, en general estudios anteriores se centran en la medición de la bioacumulación de contaminantes a partir de muestras colectadas en campo (Weir, *et al*. 2010). Si bien estos datos son útiles para comprender históricamente la exposición de

determinadas poblaciones de reptiles a ciertos contaminantes, aún se desconocen en gran medida y se estudian poco debido a diversas razones como sus hábitos y distribución, como en el caso de las tortugas marinas que pasan gran parte de sus vidas inmersas en el mar. Las tortugas ocupan amplias extensiones de distribución retrasando los estudios, limitando la obtención de datos a las épocas de desove en costas de nidación o requiriendo fuertes inversiones para la adquisición de equipo y transporte adecuado para su observación en alta mar (Camiñas, 2004). De forma similar, el estudio de los cocodrilos en condiciones silvestres resulta, además de riesgoso, un gran reto por el conocimiento técnico que se debe de poseer en manejo de fauna silvestre y sin mencionar la baja probabilidad de recapturar a mismo individuo en la misma fecha cada año durante el periodo de duración de la investigación (Charruau, 2011).

Sin embargo, en ambos casos es complicado obtener resultados que muestren los efectos de los impactos de ciertos contaminantes o actividades antropogénicas a lo largo de su proceso ontogénico, debido a la longevidad de los taxones de interés ya que una tortuga marina puede llegar a vivir hasta 50 años o más (WWF, 2023), mientras que un cocodrilo tiene una media de vida entre 50 y 70 años, dependiendo de la especie y de las condiciones ambientales a las que se encuentra expuesto, llegando a incrementar su

expectativa de vida bajo cuidados humanos (Charruau, 2011).

Para contrarrestar un poco las dificultades de muestreo y obtención de datos, se ha recurrido, a trabajar con modelos animales realizando las adecuaciones necesarias al metabolismo. Por ejemplo, en Estados Unidos de América (EUA) para la evaluación del riesgo ecológico (ERA) en reptiles, la ruta de exposición más comúnmente considerada es la dieta. En dicho análisis han utilizado como modelo de estudio a las aves, haciendo los ajustes metabólicos pertinentes. Sin embargo, la Ley Federal de Insecticidas, Fungicidas y Rodenticidas (FIFRA) en EUA no exige estudios de toxicidad dérmica para los productos que regula esta ley y por lo tanto, este análisis se muestra ampliamente sesgado dado que existe una amplia posibilidad de que los reptiles reciban una exposición mayor que las aves a dichos contaminantes, debido al mayor porcentaje de contacto del cuerpo con el suelo, la vegetación y el agua (Weir, *et al.* 2010).

De esta forma, regresamos al punto en el que los sesgos en la obtención de información siguen marcando una gran brecha en el entendimiento de cómo se ven afectadas las poblaciones de tortugas y cocodrilos, que como se muestra en la Figura 6, de los 140 artículos considerados en la

presente revisión, 79 corresponden a solo dos especies de tortugas (*Chelonia mydas* y *Caretta caretta*), indicadas como especies carismáticas, bioindicadoras y en alguna categoría de protección especial por la UICN, en contraste con 1-3 artículos para especies menos emblemáticas como *Crocodylus intermedius*.

## Artículos revisados por especie

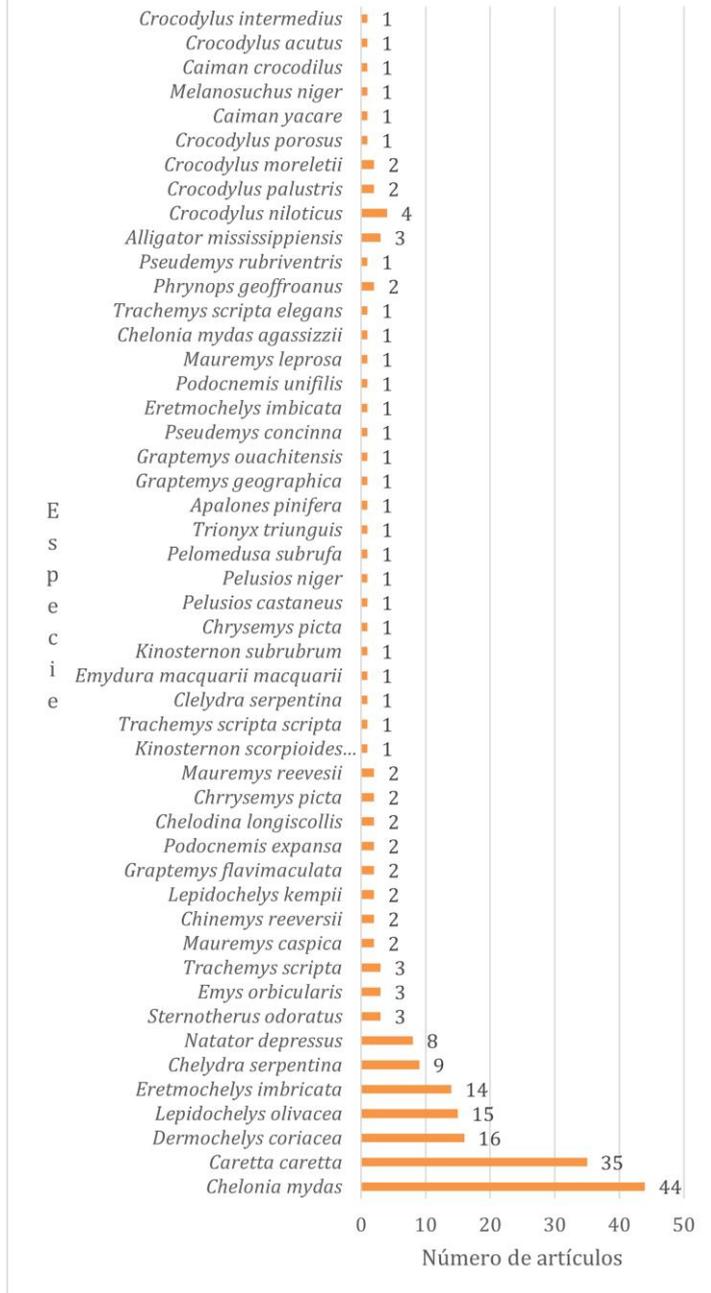


Figura 6. Número de artículos revisados por taxón.

## Cocodrilos

En el caso de los cocodrilos, como *C. moreletii* se ha reportado que las principales amenazas por actividades antropogénicas son la caza al considerarlos como animales peligrosos, el comercio de su piel, la destrucción de su hábitat debido al drenado de agua, rellenos sanitarios, introducción de cultivos, pesca no selectiva, exposición a metales pesados y compuestos organoclorados que afectan la reproducción, la ovogénesis, o que pueden causar malformaciones en embriones (Chavarría, 2020; Sigler y Gallegos, 2017). Se ha reportado que perturbaciones en los hábitats de los cocodrilianos ocasiona un incremento de heridas en *Crocodylus intermedius* por peces depredadores e infecciones con parásitos en el Orinoco (Seijas, 2007). Además, de que esto ocasiona que se mermen las poblaciones disminuyendo la densidad de individuos, como ocurre en Río Grande Tárcoles (Chavarría, 2020).

El establecimiento de asentamientos humanos cercanos a los hábitats de estos grandes reptiles ocasiona incidentes cuando los humanos (o sus animales domésticos) interactúan con cocodrilos y se ven amenazados, atacados, lesionados o muertos, generando opiniones encontradas en la sociedad, pérdidas económicas y culturales, al afectar su punto de vista sobre las especies. Esta interacción es

ocasionada por diversos factores como la expansión de la frontera urbana, asentamientos en los márgenes de cuerpos de agua que provocan acciones negativas hacia los cocodrilos como el envenenamiento (García, 2013). Estos incidentes son más frecuentes en época de reproducción, anidación y eclosión. La falta de información, sobre su ecología, el desconocimiento de la población sobre su comportamiento y la percepción negativa que tienen sobre ellos los hace vulnerables (Chavarría, 2020).

#### Cambio climático

Escobedo (2012), evaluó los efectos del clima sobre la proporción de sexos y la temperatura de los nidos en *C. moreletii*. En el estudio se concluye que muy posiblemente el cambio de clima no sesgaría la relación de sexos en la población de estos cocodrilos, debido al comportamiento de la hembra en la selección de sitio para anidar, lo que podría mantener un equilibrio en la proporción de sexos, no obstante, se debe profundizar en estos estudios (Casas, 2013).

#### Bioindicadores

Los cocodrilianos son excelentes indicadores de contaminación por metales pesados y otros contaminantes del medio ambiente. La contaminación ambiental puede afectar a varias especies de cocodrilianos que viven en

hábitats alejados y remotos de las poblaciones humanas, debido a su sensibilidad a la contaminación atmosférica que puede representar un riesgo sutil pero significativo a largo plazo a las poblaciones de las zonas contaminadas (Cedillo *et al*, 2016). Dentro de esta revisión se halló que de los principales efectos ocasionados por los humanos a los cocodrilos son la bioacumulación por contaminantes como los metales, intoxicación, enfermedades y efectos negativos en su salud en general (Fig. 7).

Diana (2019) evaluó la acumulación de metales en las escamas caudales del cocodrilo de pantano que habita en el lago de Catemaco, Veracruz, así como la presencia de metales en cinco de sus presas para determinar si había bioacumulación de metales en la cadena trófica. En general no encontró relaciones significativas entre la existencia de metales, tipo de vida (cautiverio y vida silvestre), sexo y tamaño de los cocodrilos. Solo observó que los cocodrilos pequeños presentaron mayor concentración de metales como arsénico, cadmio y mercurio que los animales grandes. Los niveles cuantificados con presas sugieren que existe bioacumulación y biomagnificación de metales pesados en la cadena alimenticia.



tortugas marinas en la Lista Roja de especies en peligro de extinción de la UICN, mientras que la séptima especie, la tortuga de espalda plana (*Natator depressus*), se informa como "Datos insuficientes". Durante los últimos 100 años, la población mundial de tortugas marinas ha disminuido debido a intervenciones humanas directas e indirectas. Es probable que la enfermedad sea un factor contribuyente o principal en la muerte de las tortugas marinas y plantea desafíos para los programas de conservación, pero debido a una serie de factores, incluidos los desafíos de tomar muestras de animales marinos silvestres en áreas remotas, las incidencias generalmente no se notifican.

Según los resultados de la presente revisión, los principales efectos de las actividades humanas sobre diversas especies de tortugas son la bioacumulación de componentes contaminantes como metales pesados, intoxicación, afectaciones a nivel poblacional y muerte (Fig. 8). Dentro de las afectaciones que conducen a condiciones mortales son enredamiento en redes de pesca abandonadas (Duncan *et al.*, 2017; Wilcox *et al.*, 2013), diversas complicaciones por ingesta de plásticos (Wilcox *et al.*, 2018; Martín *et al.*, 2019; Duncan *et al.*, 2019; Colferai *et al.*, 2017; Jiménez *et al.*, 2017; Hoarau *et al.*, 2014), degradación de ambientes costeros y enfermedades asociadas a la contaminación química (Guimaraes, 2020; Foley, 2005; Espinoza y Barrios,

2021; Wallace *et al.*, 2020; Gardner *et al.*, 2003; Heritier *et al.*, 2017).



Figura 8. Jerarquía de palabras colocadas acorde al número de apariciones dentro de los artículos revisados, haciendo referencia a los principales efectos ocasionados sobre las tortugas. Destaca la bioacumulación de componentes contaminantes como metales pesados, intoxicación, afectaciones a nivel poblacional y muerte.

La contaminación química de los ecosistemas acuáticos, específicamente por contaminantes orgánicos persistentes (POPs por sus siglas en inglés), representa actualmente un desafío ambiental trasfronterizo que se propaga por medio de la transferencia trófica, la escorrentía urbana y agrícola y a través de las corrientes atmosféricas/oceánicas (Yaghmour *et al.*, 2020). Estos compuestos vulneran la salud de las tortugas y merma sus poblaciones debido a su acumulación y concentración en diversos tejidos de las tortugas, ocasionando directamente una intoxicación y bioacumulación.

Diversos estudios apuntan a que la exposición de las tortugas marinas a los contaminantes químicos de origen antropogénico afecta varios procesos funcionales, y que tienen posibles etiologías sinérgicas de la fibropapilomatosis (FP) y otras enfermedades (Ley-Quiñónez *et al.*, 2017; Foley *et al.*, 2005).

La fibropapilomatosis es una enfermedad caracterizada por múltiples masas cutáneas que, dependiendo del tamaño, la especie, la ubicación y el número de tumores puede contribuir al debilitamiento del animal y su eventual muerte. Pueden ser ocasionados por una etiología infecciosa por un virus o varios virus que se propagan por vectores biológicos

o que pueden volverse tumorigénicos debido a biotoxinas presentes en el medio (Espinoza y Barrios, 2021).

La historia de vida de las tortugas está íntimamente ligada al medio ambiente, y la temperatura la afecta fundamentalmente desde la incubación hasta la edad adulta. Se ha observado que los microplásticos cambian la composición de los ambientes de costa y por tanto los sitios de anidación donde las tortugas desovan, el cambio en el contenido de la arena que usan para hacer sus nidos afecta en la temperatura y por tanto en el desarrollo de las crías (Beckwith y Fuentes, 2018). La temperatura durante la incubación determina el sexo, el éxito de eclosión y el comportamiento de emergencia y dispersión de las crías. Se ha mostrado un alto radio de sesgo en el sexo donde casi todos los juveniles son hembras en tortugas marinas (*Chelonia mydas*) al norte de la gran barrera de arrecife, pudiendo llegar a ocasionar la extinción de la especie debido a la ausencia de machos con los cuáles reproducirse (Abella *et al.*, 2016). Aunado a las dificultades para encontrar pareja (efecto Allee) y reproducirse. La temperatura esencial (cuando el 50% son hembras) de *Chelonia mydas* varía entre 20 y 30.3°C dependiendo de la costa. Una ligera variación puede ocasionar alteraciones en el radio de sexo. 1°C arriba y el 80% serán hembras. Altas temperaturas

ocasionan el incremento de la mortalidad de huevos (Blechs Schmidt *et al.*, 2020).

Pero las crías no solo se enfrentan a la variación de temperatura dentro de su nido, sino también, a diversos efectos derivados de las acciones de los humanos como son la intoxicación por plomo a través de transferencia materna (Páez *et al.*, 2010), la obstaculización de la llegada al mar por residuos plásticos, lo que además incrementa el tiempo que demoran sobre la costa, las agota y las vulnera ante depredadores (Aguilera *et al.*, 2018); la afectación de la calidad fenotípica de la descendencia y su tamaño, debido a contaminantes bifenilos policlorados (PCB) y éteres de polibromodifenilos (PBDE) (De Andrés *et al.*, 2016); la perturbación de la habilidad de las crías recién eclosionadas para encontrar el mar debido a la excesiva exposición de iluminación por parte de desarrollos tanto industriales como urbanos (Robertson *et al.*, 2016; Wilson *et al.*, 2018).

### **Acciones de conservación**

Una vez que conocemos los principales factores de vulnerabilidad para las especies, es importante pensar en qué se puede hacer para mitigar los efectos de estas actividades antrópicas. Existen comportamientos que

amortiguan los efectos como el cambio en el sitio de anidación (Hernández *et al.*, 2007; Thompson *et al.*, 2007; Carpio *et al.*, 2020). Sin embargo, indagando en las acciones que se han realizado, se ha encontrado una amplia brecha de desconocimiento en torno al tema de conservación y protección de las especies de interés, así como limitantes en los mecanismos de gobernanza para que así ocurra.

En el caso de las tortugas, como ya se ha comentado, son numerosas las razones por la que se puede justificar el retraso en su estudio, considerando que son animales que pasan prácticamente toda su vida en el mar, lo que dificulta su observación (Camiñas, 2002). Sin embargo, dado que se trata de animales que se mueven a través de hábitats acuáticos y terrestres, se alimentan en el agua y anidan en las playas bajo la jurisdicción de múltiples países, las hace embajadoras ideales para alcanzar el apoyo público para colaboraciones internacionales (Yeh *et al.*, 2020). Definitivamente comenzar por la protección de las zonas de puesta, los pasillos migratorios, áreas de forrajeo, zonas de invernada, zonas de encuentro para la cópula, tanto de áreas próximas a la costa como en mar abierto, son fundamentalmente los mejores sitios para la implementación de medidas de recuperación de las poblaciones en peligro, aún con las dificultades de control que eso demuestra (Camiñas *et al.*, 2021).

Un adecuado programa de conservación para las tortugas debe de incluir una visión multidisciplinar y una aplicación efectiva desde distintos puntos de vista. De a poco van cobrando fuerza los conceptos de conservación de la naturaleza y sostenibilidad en el común imaginario de las personas como una práctica holística de la reconexión del hombre con la naturaleza (Camiñas, 2002). Así como también ha cobrado fuerza, posicionándose dentro de diversas agendas internacionales como la convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES) y la convención sobre la Conservación de Especies Migratorias de Animales Silvestres (CMS) quienes prohíben el comercio internacional de tortugas marinas y aseguran la protección de estos organismos y sus hábitats; o como el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales no hacen referencia directa a las tortugas ni cocodrilos, pero sus disposiciones sobre los mecanismos de conservación de la diversidad biológica tanto a nivel internacional como regional se relacionan con la protección de los hábitats de las tortugas (MEDASSET, s.a.). Estas iniciativas internacionales sirven como un ejemplo de caso, en el que las disputas políticas actuales pueden dejarse de lado para preparar a nuestra población actual y futura para la amenaza existencial de la pérdida de biodiversidad y el cambio climático, al tiempo que aumenta

la paz, la estabilidad y las tortugas en la región (Yeh *et al.*, 2020).

La participación democrática es imprescindible para alcanzar el consenso que permita la gestión racional de cualquier especie porque la conservación de las especies debe basarse en la sociedad y en sus complejas relaciones de intereses (Camiñas, 2002). El empoderamiento de comunidades locales, es un elemento clave para proteger los océanos a través del rescate de las tortugas marinas, educación pública y proyectos de investigación científica (Yeh *et al.*, 2020; Aparecido *et al.*, 2020). Además, se recomienda emplear estrategias de gestión integrales, en el que se incorporen factores socioeconómicos dentro de los planes de conservación, potenciando la cooperación multisectorial regional para ampliar las escalas tanto espaciales como temporales en las estrategias de mitigación del cambio climático y las planeaciones de ordenamiento territorial (Abella *et al.*, 2016). Una vez definido el plan en cada región, es fundamental la movilización de voluntarios en las acciones de conservación planeadas. Por ejemplo, en el manejo de residuos en costas Aguilera y colaboradores (2018) recomienda involucrar a la ciudadanía en general en la limpieza de playas para ayudar a eliminar los desechos acumulados en las playas durante las temporadas de anidación, acompañadas de campañas de educación

ambiental, para el empoderamiento de las comunidades y promoción de políticas públicas (Xanthos y Walker, 2017).

Algunas otras estrategias empleadas incluyen el mapeo de sitios con mayores riesgos para las tortugas para la mejor toma de decisiones y concentración de esfuerzos efectivos (Martín *et al.*, 2019); el suministro de suelo dragado no contaminado como sustrato de anidación en las playas para que las tortugas recuperen sitios donde desovar (Wnek *et al.*, 2013); incluso el desarrollo de software para la recopilación de información y monitoreo de los residuos, que permita la generación de una base de datos para apoyar en la formulación de políticas (Aguilera *et al.*, 2018).

En el caso de los cocodrilos, la literatura refiere aún a la escasez de información disponible sobre estos emblemáticos reptiles y recomiendan ahondar en el monitoreo (Quintela *et al.*, 2020; du Preez *et al.*, 2018; Champion y Downs, 2017). Este entendimiento permitirá conocer mejor las interacciones de estos reptiles con su ambiente, cómo utiliza el hábitat y la relación que guarda con las actividades realizadas por los humanos para la elaboración de estrategias efectivas e incluyentes de conservación (López *et al.*, 2011).

En cualquier caso, se considera un elemento clave el empleo de nuevas tecnologías, así como las tecnologías de

la comunicación digital o redes sociales y el marketing social, el cual ofrece un marco para diseñar programas de cambio de comportamiento lo suficientemente flexible como para aplicarse a una variedad de problemas socioambientales (Eagle *et al.*, 2016). Las otras herramientas clave disponibles para cambiar los comportamientos son la legislación, que no siempre es practicable, y la educación, que es necesaria, pero rara vez suficiente por sí misma para cambiar el comportamiento. El vínculo entre el turismo de vida silvestre y el mercadeo social para lograr un cambio de comportamiento sostenido que está poco investigado, pero ofrece un potencial considerable para reducir los impactos de la contaminación plástica en las especies y sus hábitats (Mendes *et al.*, 2019).

## **Conclusiones**

Las tortugas y los cocodrilos de todo el mundo se encuentran vulnerables ante los efectos de las actividades antrópicas desde todos los ángulos, que merman sus poblaciones e incluso afectan indirectamente al mismo ser humano mediante contaminantes biomagnificados a lo largo de la cadena alimenticia o a través de la pérdida de los ecosistemas.

El COVID-19 obligó a todos los gobiernos del mundo a implementar medidas de confinamiento y distanciamiento

social, lo que por consecuencia redujo las actividades de ocio y negocios en playas o puertos y junto con ellas la contaminación por plástico, el derrame de combustibles, los niveles de ruido y cargas microbiológicas. Esto condujo a una temporal mejora de condiciones ambientales, con la disminución de plásticos y basura, observación de más peces y organismos marinos de tallas grandes como las tortugas en las playas Galápagos (Ormaza, 2021). Sin embargo, no es necesario esperar a que una emergencia clínica mundial nos obligue a tomar acción.

La contaminación acuática, el desecho de residuos sólidos como los plásticos, el desecho de aguas residuales o escurrimientos de fuentes industriales, agrícolas y urbanas, son algunas de las principales actividades que amenazan a los cocodrilos y tortugas de todo el mundo. Éstas ocasionan intoxicación, bioacumulación de metales pesados y por consecuencia enfermedades y efectos negativos en su salud, que terminan por afectar el desarrollo de los individuos, merman sus poblaciones y conllevan a la extinción de las especies o a un desequilibrio ecosistémico. Es urgente la toma de acción en torno a una emergencia mundial que es la pérdida de la biodiversidad ocasionada directa e indirectamente por actividades humanas

Pese a la gravedad de la situación y los amplios esfuerzos de conservación, poco se puede avanzar si los distintos sectores de la población no trabajan en conjunto para el impulso de políticas públicas que apunten a un desarrollo sostenible y una armoniosa convivencia con nuestro entorno para frenar la pérdida de ecosistemas y la biodiversidad de reptiles que alberga. Aunque hay una creciente cantidad de artículos que hablan sobre los impactos ambientales, sociales y económicos de la contaminación específicamente por plásticos, muy pocos examinan las herramientas políticas y legislativas para la reducción de estos residuos, en particular los plásticos de un solo uso como bolsas y microplásticos (Xanthos y Walker, 2017). Se deben promover leyes y regulaciones más estrictas y tomar acción para ayudar a mitigar su impacto.

## **Bibliografía**

- Andrade, H.M. (2011). Evaluación del efecto de la contaminación atmosférica en dos especies del género *Peromyscus* (Rodentia:Muridae) que cohabitan en el parque nacional desierto de los leones. Tesis para obtener el grado de Maestro en Biología. UAM Iztapalapa, México.

- Blechschmidt, J., Wittmann, M. y Blüml, C. (2020). Climate Change and Green Sea Turtle Sex Ratio – Preventing Possible Extinction. *Genes* 11, 588.
- Camiñas, J. A. (2002). Estatus y conservación de las tortugas marinas en España. En Pleguezuelos J. M., R. Marquez y M. Lizana (Ed.) *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Asociación Herpetológica Española (2ª impresión), Madrid, 347-380 pp.
- Häder, D.-P., Banaszak, A. T., Villafañe, V. E., Narvarte, M. A., González, R. A., & Helbling, E. W. (2020). Anthropogenic pollution of aquatic ecosystems: Emerging problems with global implications. *Science of The Total Environment*, 713, 136586.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136586>
- Casas, G. y Aguilar, X. (2013). Algunos problemas que afectan la sobrevivencia de los cocodrilos mexicanos. Congreso Mesoamericano de Investigación UNACH, pp21.
- Cedillo, C., Cienfuegos, E. y Escobedo, A. (2016). Metales pesados en ecosistemas costeros y cocodrilos. Universidad de Guadalajara Centro Universitario de la Cosa. 183pp.

- Charruau, (2011). Estimación de edad de los cocodrilos (*Crocodylus acutus*) de Banco Chinchorro, Quinta Roo, México. Quehacer científico en chiapas 1(11) 36-43.
- Chavarría, R. (2020). Hábitat potencial y uso de hábitat del cocodrilo americano (*Cocodrillus acututs*) y su relación con la vulnerabilidad de cinco poblados del Pacífico Central de Costa Rica ante posibles incidentes humano-cocodrilos. (tesis inédita de licenciatura). Universidad Nacional. Costa Rica. BioScience, 5(55), 399-407.
- Escobedo, A.H. (2012). Efecto del clima sobre la proporción de sexos del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) y cocodrilo de pantano (*C. moreletii*) y posibles implicaciones ante el cambio climático. Tesis de Doctorado en Ciencias. UNAM. Instituto de Ecología. México, DF. 60 pp
- Faeth, S., Warren, P., Shochat, E. y Marussich, W. (2005). Trophic Dynamics in Urban Communities.
- Flores, O. y García, U. (2014). Biodiversidad de reptiles. Revista Mexicana de Biodiversidad. Supl. 85: S467-S475.
- Galván, V., Hernández, S. y Aguilar, B. (2015). Biodiversidad e impacto humano en un humedal del Pacífico mexicano. Elementos 99. 41-46.

- García, J. (2013). El conflicto hombre-cocodrilo en México: causas e implicaciones. *Interciencia*, 38(12),881-884. [fecha de Consulta 4 de mayo de 2021]. ISSN: 0378-1844. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33929617010>.
- Gibbons, J., Scott, D., Ryan, T., Buhlmann, K., Tuberville, T., Metts, B., Greene, J., Mills, T., Leiden, Y., Poppy, S. y Winne, C. (2000). The global decline of reptiles, déjà vu amphibians. *BioScience*, 50(8): 653-666.
- Hernández, D. (2019). Bioacumulación de metales en el cocodrilo de pantano *Crocodylus moreletii* (Crocodylia: Crocodylidae). Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. México.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: the physical basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment. Report of the intergovernmental panel on climate change.* Cambridge University Press, Cambridge. Obtenido de: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4\\_wg1\\_full\\_report-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf).
- Martins, M., I. Álvarez y A. Marco. (2012). Impacto del cambio climático en la incubación de *Caretta caretta*

en Cabo verde: estimaciones actuales y proyecciones futuras. ACT 3, 75-94.

- Mediterranean Association to Save de Sea Turtles. (s.f.). Protección internacioal de las tortugas marinas. Obtenido el 16 de agosto de 2023 de: <https://medasset.org/international-protection/#:~:text=The%20CITES%20Convention%20prohibits%20the,sea%20turtles%20and%20their%20habitats.>
- Merriam-Webster. (n.d.). Pollution. In *Merriam-Webster.com dictionary*. Consultado el 11 de mayo de 2021, en <https://www.merriam-webster.com/dictionary/pollution>.
- Molina, M., Sarukhán, J. y Carabias, J. (2017). El cambio climático. Causas efectos y soluciones. Fondo de Cultura Económica. Ciudad de México. México.
- Pough, F. H., R. Andrews, J. E. Cadle, M. L. Crump, A. H. Savitzki y K. D. Wells. (2004). *Herpetology*. Third Ed., Prentice Hall, New Jersey. 726 p.
- Schneider, L., Maher, W., Green, A. y Vogt, R. (2013). Cap. 9 Mercury contamination in reptiles: An emerging problem with consequences for wild life and human health. En: K. Ki-Hyun y R. Brown (Eds.). *Mercury:sources, applications and health impacts* (pp.

173-232). Nova Science Publishers, Inc. Chemistry Research and Applications.

- Seijas, Andrés E. (2007). Heridas y parásitos en cocodrilos del orinoco (*Crocodylus intermedius*) en un río altamente impactado por actividades humanas. *Interciencia*, 32(1), 56-60. Recuperado en 04 de mayo de 2021, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442007000100011&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000100011&lng=es&tlng=es).
- Sigler, L. y Gallegos, J. (2017). El conocimiento sobre el cocodrilo de Morelet *Crocodylus moreletii* (Duméril y Duméril 1851) en México, Belice y Guatemala. México, D.F. 216pp.
- Soledad, B. (2009). Contaminación y sus consecuencias toxicológicas. ResearchGate.
- Sousa, M., I. Álvarez y A. Marco. (2012). Impacto del Cambio Climático en la Incubación de *Caretta caretta* en Cabo Verde: estimaciones actuales y proyecciones futuras. ACT 3, 75-94.
- Verutes, G. M., Huang, C., Rodriguez Estrella, R., & Loyd, K. (2014). Exploring scenarios of light pollution from coastal development reaching sea turtle nesting beaches near Cabo Pulmo, Mexico. *Global Ecology and Conservation*, 2, 170-180. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2014.09.001>

- Villasante, J. (2000). Tipos de contaminación, sus fuentes y efectos en el estuario de la bahía de Santoña. Ayuntamiento de Santoña. Monte Buciero 5. 212-221 pp. Obtenido el 12 de marzo de 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=206316>
- Weir, S. M., Suski, J. G., & Salice, C. J. (2010). Ecological risk of anthropogenic pollutants to reptiles: Evaluating assumptions of sensitivity and exposure. *Environmental Pollution*, 158(12), 3596-3606.
- WWF, 2023. 7 datos interesantes sobre las tortugas marinas. Recuperado el 8 de junio de 2023 de: <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/7-datos-interesantes-sobre-las-tortugas-marinas#:~:text=Lo%20que%20s%C3%AD%20sabemos%20es,reproductivas%20durante%20otros%2010%20a%C3%B1os>.
- Xanthos, D., & Walker, T. R. (2017). International policies to reduce plastic marine pollution from single-use plastics (plastic bags and microbeads): A review. *Marine Pollution Bulletin*, 118(1-2), 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.02.048>