



Impacto en la biodiversidad marina del Golfo de México por la elevación del mar

RESUMEN

En el presente artículo, la autora analizará el impacto en la biodiversidad marina del Golfo de México, por la elevación del mar, este último factor como una de las graves consecuencias que trae consigo el cambio climático, revisando, específicamente las zonas costeras de la región arriba mencionada y sus posibles consecuencias para los intereses nacionales del país. Para ello, en primer lugar, efectuará una exploración sobre los aspectos científicos relacionados con la realidad, causas y tendencias del cambio climático; posteriormente, abordará las causas que han generado el aumento del nivel del mar en el mundo y en México. A continuación, hará hincapié en la cantidad, tipo y riqueza de la biodiversidad marina del Golfo de México, así como los efectos y amenazas a que están expuestos debido al mencionado incremento en los niveles de los mares. Finalmente, apoyada en los datos científicos, efectuará su análisis y conclusiones al respecto.

Palabras clave: Cambio climático, biodiversidad marina, Golfo de México, elevación del mar.

ABSTRACT

In this article, the author will analyze the impact on the marine biodiversity of the Gulf of Mexico, due to the rise of the sea, this last factor as one of the serious consequences that climate change brings, specifically reviewing the coastal areas of the region. mentioned above and its possible consequences for the country's national interests. To do this, first, it will explore the scientific aspects related to the reality, causes and trends of climate change; Subsequently, she will address the causes that have generated the rise in sea level in the world and in Mexico. Next, she will emphasize the quantity, type and richness of marine biodiversity in the Gulf of Mexico, as well as the effects and threats to which they are exposed due to the aforementioned increase in sea levels. Finally, supported by scientific data, she will carry out her analysis and conclusions in this regard.

¹ Candidata a Doctora en Estudios en Ciencias Políticas y Sociales con orientación en Relaciones Internacionales; maestra y licenciada en Relaciones Internacionales por la FCPyS-UNAM, perteneciente al padrón de CONACYT, obteniendo el grado en ambas con mención honorífica. Candidata a la Medalla Pablo González Casanova por su desempeño como docente.



Keywords: Climate change, marine biodiversity, Gulf of Mexico, sea rise.

INTRODUCCIÓN

Nuestro país cuenta con una ubicación y extensión geográfica privilegiadas, además de un amplio y variado territorio terrestre, cuenta con un aún mayor territorio marítimo. Ambos igualmente ricos y con vastos recursos biológicos, que han servido como base para el desarrollo de sus habitantes y que todavía no se han explotado adecuadamente en todas sus capacidades, en especial los relacionados con el mar. Específicamente, en nuestras zonas costeras los ecosistemas y especies que ahí conviven están amenazados por diferentes factores, humanos y naturales, lo que podría derivar en cambios drásticos en esas zonas con un alto impacto en la biodiversidad, áreas geográficas y recursos vitales para nuestro desarrollo.

Una de esas amenazas la representa el incremento del nivel del mar asociado con el cambio climático, que ocasionaría una serie de efectos negativos sobre la geografía y ecosistemas costeros. Para el caso de este artículo se analizarán los impactos que se podrían presentar en la región del Golfo de México, tomando como base algunos datos científicos sobre el cambio climático y su efecto sobre la diversidad biológica, integridad territorial y pérdida de recursos vitales para el desarrollo de la población que, en el caso de México, afectarían directamente a los intereses nacionales del país.

DESARROLLO

El cambio climático y sus efectos en el mundo

Para abordar los grandes cambios que ha estado generando la elevación del mar en la biodiversidad marina del Golfo de México y las grandes consecuencias que esto puede acarrear a futuro para nuestro país, es preciso especificar algunas de las causas que han provocado dicha elevación, al mismo tiempo que debemos relacionar este problema con el cambio climático². En este artículo se analizarán algunas causas que llevan al cambio climático, así como sus consecuencias a nivel mundial y, particularmente, el impacto que ha generado este fenómeno en México, concretamente en los espacios marinos del lugar arriba mencionado. En este sentido, debo señalar que los factores que impactan nuestro hogar: “la tierra”, la cual ha sido afectada en sus tres cuartas partes debido al uso humano, se deben a la forma en que la hemos aprovechado, lo que ha repercutido en los ecosistemas naturales (Connors et al, 2021).

² “El cambio climático se manifiesta en aumentos en la temperatura atmosférica y oceánica, cambios en los patrones de precipitaciones, decrecimiento de los volúmenes de hielo y nieve, en un incremento del nivel del mar y modificaciones en los patrones de eventos climáticos extremos [...] Persiste un nivel de confianza bajo sobre la tendencia global de sequías y la actividad ciclónica, aunque con diferencias entre regiones [...] Existe también una disminución de la masa de los mantos de hielo en Groenlandia y la Antártida, un retroceso en los glaciares y una reducción relevante del hielo del Ártico [...] Las proyecciones climáticas sugieren aumentos de temperatura promedio de entre 1°C y 2°C para mediados del siglo XXI (con respecto a la temperatura promedio observada durante 1850-1900)” (Galindo et al, 2015, pp. 9-11).



Ahora bien, es preciso especificar los siguientes datos importantes para tener en cuenta la magnitud del daño que le hemos generado con el cambio climático. La tierra está formada por 71% de océano, equivalente a 361 millones de km², y 29% de superficie terrestre, que corresponde a 149 millones de km². De ese espacio terrestre el 71% es tierra habitable, 10% pertenece a glaciares y 19% es tierra estéril. A su vez, en la tierra que se puede morar el 50% está destinado a la agricultura, el 37% son bosques, 11% equivale a arbustos y pastizales, el 1% es agua dulce y el otro 1% son tierras urbanas y edificadas. Mientras tanto, las tierras agrícolas se dividen de la siguiente manera: 77% son destinadas para la ganadería y el 23% para los cultivos (Connors et al, 2021, p. 7).

En este mismo tenor, ya que he mencionado los datos relevantes sobre nuestro espacio, también es importante señalar las causas generales que han originado el cambio climático, así como las consecuencias de dicho fenómeno, entre las que se encuentra el tema que aquí me ocupa. Al respecto, Connors et al (2021) argumenta que:

A través de mecanismos humanos y naturales, la tierra intercambia energía, agua, aerosoles y gases de efecto invernadero (GEI) con la atmósfera y el océano. Por esta razón, tiene un papel muy importante en el sistema climático. Desde la Revolución Industrial, el ser humano ha alterado el intercambio equilibrado de GEI entre estas interfaces al emitir enormes cantidades de estos gases a la atmósfera y causar con ello el calentamiento global [...] Las actividades humanas son la causa del calentamiento global [...] (p. 8).

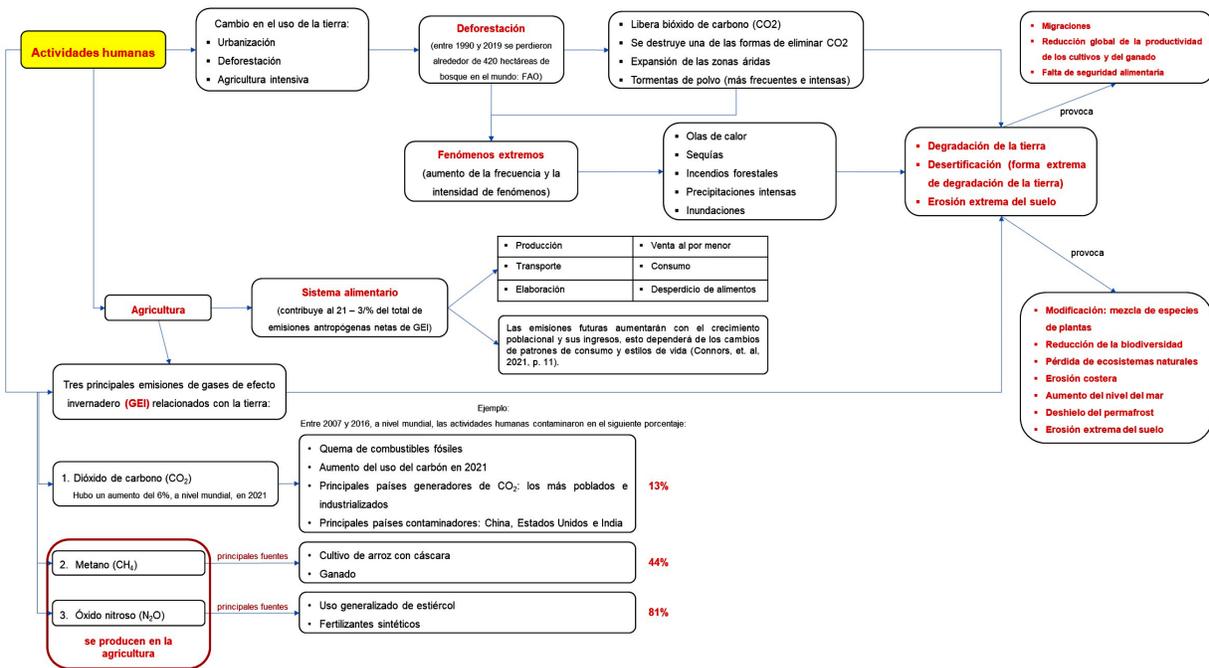
Cabe señalar que, de acuerdo con el Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2023), el calentamiento global se incrementó en los siglos XX y lo que va del XXI, pues la tierra enfrentó un calentamiento en el período de 1880 a 2012 que fue de 0,85 [0,65 a 1,06] °C, reflejando sus consecuencias en los océanos. De acuerdo con las investigaciones de este Panel Intergubernamental, se indica que:

El aumento total entre el promedio del período 1850-1900 y el período 2003-2012 es de 0,78 [0,72 a 0,85] °C [...] Durante el período más largo en el que el cálculo de las tendencias regionales es suficientemente completo (1901 a 2012), casi todo el planeta ha experimentado un calentamiento de la superficie [...] A escala global, el calentamiento de los océanos es mayor cerca de la superficie, y los 75 m superiores se calentaron 0,11 [0,09 a 0,13] °C por década durante el período 1971 a 2010 [...] Desde el comienzo de la era industrial, la absorción oceánica del CO₂ ha provocado la acidificación del océano; el pH del agua superficial del océano ha disminuido en 0,1 [...], lo que corresponde a un aumento del 26% en la acidez, medida como concentración de iones de hidrógeno” (párrs. 5, 9, 11).



Después de haber especificado la causa general del calentamiento global: las actividades humanas, así como el período y los grados alcanzados de dicho fenómeno, en el esquema 1 se concretan algunas de las causas relacionadas a dichas actividades humanas, entre las que sobresalen la deforestación, la agricultura, el sistema alimentario, el desarrollo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), producto del crecimiento económico y demográfico, la agricultura, etc., que traen varios efectos negativos al sistema climático, provocando con ello la degradación, desertificación y erosión extrema de la tierra, lo que provoca, entre muchas otras consecuencias, la reducción de la biodiversidad, la pérdida de ecosistemas naturales y el aumento del nivel del mar que se tocará como parte nodal de este artículo.

Esquema 1 Causas y consecuencias del cambio climático



Fuente: Elaborado con información de Connors et. al (2021), Garret (2022) e IPCC (2023)

A continuación, enfocaré la atención en lo relativo a la cuestión del aumento del nivel del mar para relacionarlo con lo expuesto anteriormente.

Aumento del nivel del mar

Como ya se ha analizado, el fenómeno del cambio climático afecta de diferentes maneras a todos los ecosistemas terrestres. En específico, para las aguas de los mares, la Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2017) ha detectado las siguientes alteraciones en los océanos vinculadas con el cambio climático:

- Elevación de la temperatura del mar
- Aumento del nivel promedio del mar
- Acidificación de los océanos



- Variaciones en la salinidad de los mares
- Estratificación de las aguas marinas
- Reducción de la concentración de oxígeno disuelto en aguas oceánicas
- Cambios en la intensidad y cantidad de fenómenos meteorológicos, como las tormentas y ciclones
- Reducción en la producción primaria de fitoplancton ocasionada por la radiación ultravioleta de efectos biológicos (pp. 3-6).

Todas estas alteraciones están interrelacionadas con los factores causantes y aceleradores del cambio climático, en general, que ya se han mencionado, y están teniendo diferentes consecuencias sobre los ecosistemas marinos y todas sus especies de flora y fauna. Ellos se acumulan con los efectos, también negativos, ocasionados por “las prácticas de pesca insostenibles, la contaminación causada por el transporte marítimo, la explotación minera y la extracción de hidrocarburos de los fondos marinos, el ruido antropógeno y el desarrollo de las zonas costeras” (ONU, 2017, p. 9).

En los estudios que ha desarrollado la IPCC (2023) también se resaltan algunos factores que han contribuido al aumento del nivel del mar, en estos dos últimos siglos, específicamente en el período entre 1901 y 2010, en el que “el nivel medio global del mar aumentó 0,19 [0,17 a 0,21] m” (párr. 16), entre los que se especifican los siguientes:

- Reducción y/o pérdida de masa de los glaciares en casi todo el mundo
- Pérdida de masa en las capas de hielo en Groenlandia y la Antártida
- Disminución de la capa de nieve primaveral del hemisferio norte
- Disminución de la extensión media anual del hielo marino del Ártico
- Aumento de las temperaturas del permafrost³ en la mayoría de las regiones del hemisferio norte
- Reducción en el espesor y la extensión superficial en algunas regiones
- Expansión térmica de los océanos⁴
- Cambios en la evaporación y la precipitación sobre los océanos, [es decir,] cambios en el ciclo global del agua
- Disminución de las concentraciones de oxígeno en las aguas costeras y en la termoclina⁵ del océano abierto (últimos 60 años)
- Aumento global del nivel del mar

³ Es una “condición térmica del suelo o el sustrato donde las temperaturas bajo 0°C persisten al menos dos años consecutivos y posibilita la existencia de depósitos superficiales congelados, es un elemento fundamental de los sistemas morfológicos de la alta montaña” (Serrano et al, 2009, p. 46).

⁴ Se refiere al fenómeno de que al incrementarse la temperatura del agua en los océanos también se incrementa su volumen.

⁵ Es la capa de agua que cambia de temperatura drásticamente. El mar se encuentra dividido por varias capas con diferentes temperaturas.



- Expansión térmica de los océanos, cambios en los glaciares, la capa de hielo de Groenlandia y la Antártida y almacenamiento de agua terrestre (s.f.).

Tomando en cuenta algunos de los factores antes mencionados, IPCC (2023) argumenta que “desde principios de la década de 1970, la pérdida de masa de los glaciares y la expansión térmica de los océanos debido al calentamiento explican en conjunto alrededor del 75% del aumento medio global observado del nivel del mar” (s.f.). En este sentido, es necesario considerar, también, la información publicada por Oppenheimer et al (2019), como parte del IPCC, acerca de los cálculos del incremento en el nivel de los mares donde se ha visto un aceleramiento notable pasando de un promedio de 1 a 2 mm⁻¹ año durante el siglo pasado a uno de 3 a 4 mm año⁻¹ en la actualidad y con perspectivas de estar entre 10 a 20 mm año⁻¹ para finales del presente siglo (p. 327).

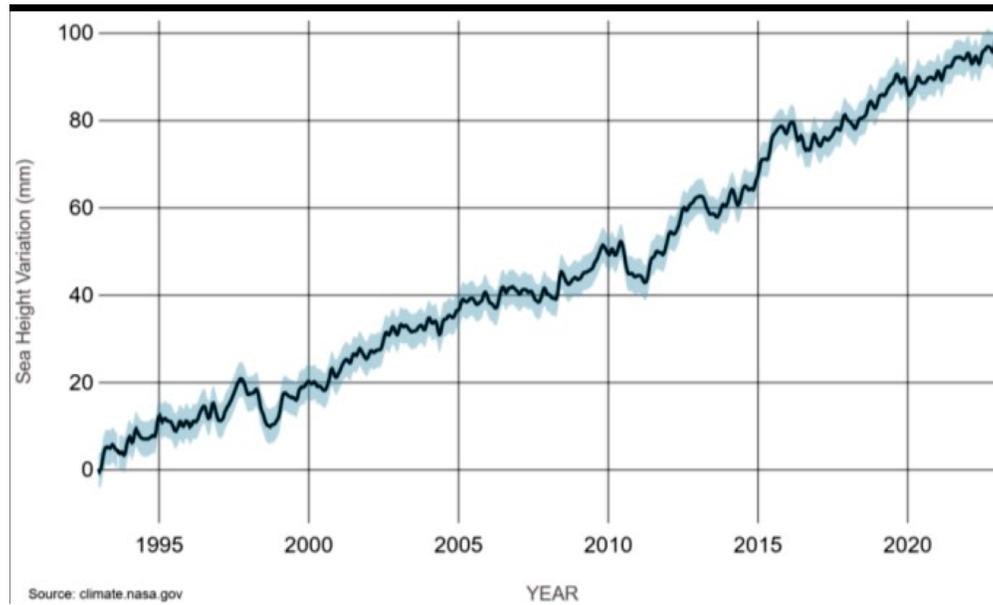
En México, de acuerdo con Zavala-Hidalgo et al (2010), las tendencias de incremento del nivel medio del mar son semejantes a las mundiales (p. 250) y, al igual que en muchas otras regiones del mundo, en cada localidad costera varían, tanto en el lado del Pacífico como del Atlántico. En su estudio, que incluyó a siete lugares diferentes de las costas del Golfo de México, encontró que en todas hubo una tendencia en aumento, aunque de diferentes magnitudes (p. 265), pero que en promedio coinciden con lo estimado por el IPCC.

Para una mejor comprensión, se agrega la gráfica 1 donde se reflejan las mediciones hechas con satélites por la National Aeronautics and Space Administration [NASA] (2023) que señalan que de 1993 a 2023 la variación del nivel del mar, mundialmente, ha sido de 98 mm, con un crecimiento sostenido año con año. Relacionando lo anterior con lo que pudiera suceder en nuestro país, se muestra el mapa 1 donde la Semarnat (2016, p. 44) representó las zonas de México que serían afectadas si el nivel del mar se elevará en dos metros (un posible escenario), en el cual se han resaltado en una elipse las correspondientes al Golfo de México.

El incremento en el mencionado nivel de las aguas oceánicas tardaría más de sesenta años en darse en la realidad, de acuerdo con las proyecciones del IPCC y de los pocos estudios que se tienen al respecto, hechos en nuestro país. Sin embargo, es de vital importancia considerarlo dentro las estrategias y planeaciones políticas de mediano y largo plazo, porque dicho incremento ya está generando afectaciones en las regiones señaladas en el mapa 1 que son las más vulnerables por sus características geográficas.

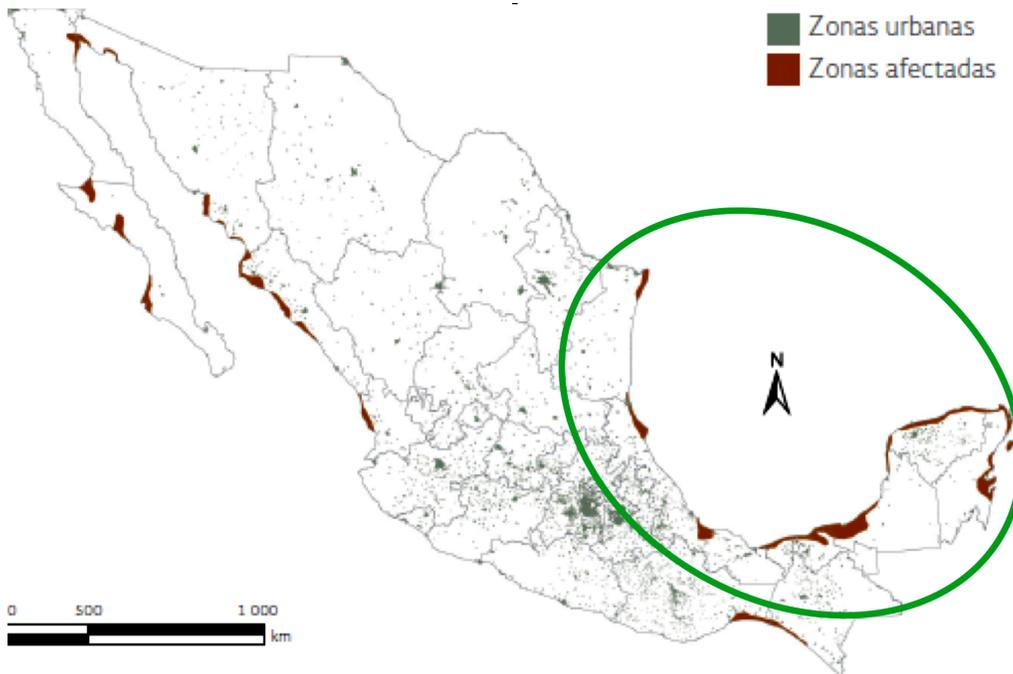


Gráfica 1 Variación de la altura del mar a nivel global (mm)
Data source: Satellite sea level observations. Credit: NASA's Goddard Space Flight Center



Fuente: Elaborado con información tomada de *Sea Level* (Gráfica), por National Aeronautics and Space Administration, abril 2023, NASA Global Climate Change (<https://normas-apa.org/estructura/figuras/>)

Mapa 1 Escenario de incremento del nivel del mar de dos metros para México



Fuente: Elaborado con información tomada de *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015* (p. 44), Semarnat, 2016. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf



También es importante mencionar la proyección que se ha hecho sobre los efectos del incremento del nivel del mar en elementos insulares de México, realizado por Aguirre Muñoz (2016), donde a través de simulaciones con escenarios de 1, 3 y 6 metros de aumento del nivel del mar, en 35 islas seleccionadas de ambas costas del país, identifica que las que más sufrirían pérdidas de superficie insular y línea de costa serían las ubicadas en el Golfo de México, entre ellas el Arrecife Alacranes, Banco Chinchorro e Isla Del Carmen. Desafortunadamente, el Golfo de México cuenta con 1,954 elementos insulares de los cuales, en la gran mayoría, independientemente de su tamaño, no hay estudios como el mencionado para dimensionar su grado de vulnerabilidad.

Ante lo expuesto, es necesario hacer hincapié en que hacen falta estudios más profundos, con el uso de instrumentos adecuados para obtener datos confiables y actuales, de ambas costas del país que analicen sus elementos insulares, para saber el real comportamiento que presentan los mares en cada localidad, lo cual es una de las debilidades fuertes en la planeación estratégica de México. No obstante, ante los datos expuestos en párrafos anteriores, es fundamental entender los posibles efectos sobre la diversidad biológica en las zonas costeras mexicanas y, para el caso del presente trabajo, en el Golfo de México.

La biodiversidad marina del Golfo de México

Para continuar con este análisis, es importante considerar que “el Golfo de México es un mar marginal interior parcialmente conectado con el océano Atlántico a través del estrecho de Florida y con el mar Caribe a través del canal de Yucatán” (Árcega, Dótor y Herguera, 2021, p. 49). La parte que pertenece a la Zona Económica Exclusiva de México (ZEE) colinda con litorales de Estados Unidos, Cuba, Belice y Guatemala. Las entidades del país que tienen costas en el Golfo de México son Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz de Ignacio de la Llave y Yucatán.

Por otro lado, de acuerdo con Biodiversidad Mexicana (2022a), “La biodiversidad o diversidad biológica es la variedad de la vida. Abarca a la diversidad de especies de plantas, animales, hongos y microorganismos que viven en un espacio determinado, a su variabilidad genética, a los ecosistemas de los cuales forman parte estas especies y a los paisajes o regiones en donde se ubican los ecosistemas” (párr. 1). Además, los tres elementos centrales de la biodiversidad son los ecosistemas, las especies y su variabilidad genética. Es importante mencionar que, debido a la enorme riqueza y variedad de la diversidad de flora y fauna que posee México es considerado como uno de los 17 países del mundo con megadiversidad (Mittermeier et al, 1997, como se citó en Bertzky et al, 2013).

Una buena parte de la biodiversidad de México se encuentra en las zonas costeras y aguas del Golfo de México, incluyendo toda la ZEE de la región y la parte de la península de Yucatán en el Mar Caribe. En la tabla 1 se presenta un concentrado de los ecosistemas y la biodiversidad presentes en las zonas marinas de



la mencionada región, con algunas de sus características principales, importancia y especies que se encuentran en ellos.

Tabla 1 Escenario de incremento del nivel del mar de dos metros para México

Ecosistemas	Importancia / Especies
<p>Elementos insulares: Superficies naturales de tierra o roca, rodeadas de agua y a nivel del mar. En el Golfo de México hay:</p>	<p>Islas: 1,068 (33.3% del total nacional)</p> <p>Arrecifes: 582 (97.5% del total nacional)</p> <p>Cayos: 304 (100 % del total nacional)</p> <p>En ellas conviven ecosistemas costeros, marinos y terrestres. Cuentan con gran cantidad de especies y endemismos. Contribuyen para extender la ZEE del país (P. ej. Arrecife Alacrán y Cayo Centro)</p>
<p>Playas: Líneas de costa o franja intermareal. Sometidas al efecto de las mareas. Pueden ser rocosas o arenosas.</p>	<p>En ellas habitan formas de vida con distintos grados de tolerancia a la desecación. Zona de alta productividad de fitoplancton. Dan cobijo a líquenes, algas, moluscos, crustáceos, equinodermos, gusanos anillados, caracoles. Las tortugas y otras especies las ocupan para desovar.</p>
<p>Dunas costeras: Montículos de granos de arena o de origen biológico (desintegración de conchas y arrecifes), distribuidas en la parte trasera de las playas de arena.</p>	<p>Funcionan como obstáculos a las corrientes de viento e impiden que la salinidad y arena se internen tierra adentro. Zonas de filtración de agua. En ellas habitan entre otros: flora halófila, diferentes insectos, ranas, tortugas, aves como garzas, halcones, zopilotes y pequeños mamíferos. Presentes en las costas arenosas de Tamaulipas, Veracruz, Quintana Roo, Yucatán y Campeche.</p>
<p>Humedales: Zonas de transición entre los ecosistemas terrestres y los acuáticos de poca profundidad. El suelo está cubierto de agua, por lo menos una parte del año. Pueden ser de agua dulce o salada.</p>	<p>Aquí se incluyen pantanos, selvas inundables, cenotes, lagunas costeras y marismas, presentes a lo largo de las costas y desembocaduras de ríos del Golfo de México. Son reguladores atmosféricos, climáticos e hidrológicos. Actúan como barreras frente a inundaciones. Controlan la erosión. Gran presencia de especies de aves, peces, reptiles, anfibios e insectos y amplia diversidad de flora.</p>
<p>Manglares: Formación vegetal leñosa, arbórea o arbustiva, compuesta de una o varias especies de mangle.</p>	<p>Funcionan como zonas de alimentación de crustáceos y alevines y refugio de flora y fauna; sistemas naturales de control de inundaciones y barreras contra huracanes e intrusión salina. Controlan la erosión y protegen las costas. Funcionan como filtro biológico del agua. Presentes en la mayoría de las costas del Golfo de México, con mayor abundancia en Campeche y Quintana Roo.</p>
<p>Pastos marinos: Plantas angiospermas sumergidas bajo el agua. Crecen fijándose en lodo, arena, arcilla o rocas.</p>	<p>Aumentan el sustrato de fijación de otros organismos y crean una elevada concentración de oxígeno disuelto. Son sitios de crianza, refugio y alimentación de peces e invertebrados. Presentes en la mayoría de las costas del Golfo de México.</p>
<p>Arrecifes: Comunidad marina de aguas poco profundas. Estructuras geológicas sólidas y masivas, creadas por organismos sésiles con la habilidad de formar esqueletos pétreos de carbonato de calcio.</p>	<p>Pueden ser coralinos, rocosos, mixtos o artificiales. Estrechamente ligados con otros ecosistemas como manglares y pastos marinos. Gran cantidad de peces e invertebrados se reproducen y viven en ellos. En el Golfo, se encuentran en las costas de Veracruz, Campeche y la costa oriental de Quintana Roo (donde forman el arrecife mesoamericano). Son hábitats críticos por su diversidad de funciones. Evitan la erosión y disminuyen la fuerza del oleaje.</p>
<p>Bosques de macroalgas: Conocidos como bosques de Kelp, sargazo o laminariales. Formados por distintos tipos de algas.</p>	<p>Mantos que pueden medir desde unos metros hasta hectáreas. Requieren un sustrato rocoso. Ecosistema altamente productivo y gran fuente de alimento para invertebrados y peces, brindándoles hábitat y refugio. Contribuyen a la fijación de carbono, mantienen la calidad del agua y estabilizan el sustrato marino.</p>
<p>Ambiente pelágico: Se refiere al ecosistema presente en la columna de agua sobre el fondo marino, incluyendo la plataforma continental y el mar abierto.</p>	<p>La mayor biodiversidad y producción de fotosíntesis se dan hasta los 200 metros de profundidad. Las especies en esta zona limitan su contacto con el fondo marino y la costa. En ella abunda el plancton. La flora está representada por el fitoplancton (hasta los 80 metros de profundidad). En ella habitan grandes cantidades de peces, mamíferos marinos, calamares, pulpos y tortugas. Aquí se encuentran las especies en peligro de extinción.</p>

Fuente: Elaborado con información tomada de : 1. Instiuto Nacional de Estadística y Geografía (2015), 2. Biodiversidad Mexicana (2022 b) y 3. Sistema de información y Análisis Marino Costero [SIMAR] (2023)

Asimismo, en la tabla se puede observar que en el Golfo de México se encuentran nueve ecosistemas, todos interrelacionados estrechamente, los cuales deben mantenerse saludables y funcionando adecuadamente para que la gran amplitud de especies animales y vegetales que viven en ellos puedan seguir existiendo. En sus aguas se encuentran 1,954 elementos insulares en total, sumando islas, arrecifes y cayos (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INE], 2015), que combinan, en su parte terrestre y marina, varios ecosistemas que proporcionan abrigo y protecciones a múltiples especies marinas y terrestres. Por tanto, es fundamental tener presente la relevancia que esta zona representa para nuestro país, por su enorme biodiversidad.

Además, es imposible pasar por alto su significado estratégico y geopolítico para el país, pues son consideradas al momento de establecer la extensión del Mar Territorial, Zona Contigua y ZEE, por lo que



ésta última se extiende notablemente brindándonos un importante patrimonio territorial que debe ser resguardado de igual manera que su biodiversidad. Por otro lado, las playas de México, en su mayoría, son arenosas y en el Golfo de México representan el 92.4% del total de la costa frontal (Silva Cazarín et al, 2014, p. 56), debido a ello este ecosistema junto con el de dunas costeras son bastante extensos en toda la región y, por tanto, hay una importante presencia de especies como las mencionadas en la tabla, además de su innegable valor turístico.

Por otra parte, los humedales costeros presentes en la zona del Golfo de México son significativos, pues “se consideran de suma importancia globalmente por su potencial para almacenar carbono. Dicha capacidad se debe a la alta productividad de la vegetación de los humedales, que captura el bióxido de carbono CO₂ atmosférico y lo convierte en carbono orgánico mediante la fotosíntesis” (Hernández Alarcón, 2021), por tal motivo se conocen como sumideros de carbono, pero la mayoría de ellos no están protegidos.

Los manglares, considerados como parte de los humedales costeros, están bastante difundidos en las zonas costeras de todo el país, y como se menciona en la tabla 1, son muy abundantes en Quintana Roo y Campeche. Son extensamente usados para la pesca local y fuente de leña por las comunidades cercanas a ellos. No debemos olvidar que son una excelente barrera protectora contra la erosión de vientos, marea y ciclones (Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2008, pp. 10-11).

Por lo que respecta a los pastos marinos que se encuentran en el Golfo de México, debido a la extensión de la plataforma marina, estos se pueden encontrar en la mayoría de las costas, con la presencia de 5 de las 9 especies que existen en el país (Biodiversidad Mexicana, 2022a). Están estrechamente interrelacionados con los manglares y arrecifes, pues son fuente de alimento para muchas especies que, de acuerdo con las etapas de su vida, migran de uno a otro. Al igual que los humedales, son importantes resumideros de carbono por lo que contribuyen al control del cambio climático.

Otro de los ecosistemas de amplia extensión, en el Golfo de México, son los arrecifes, que como se menciona en la tabla 1, son hábitats críticos por sus múltiples funciones, además de tener una estrecha interrelación con los demás ecosistemas, especialmente manglares y pastos. El arrecife mesoamericano, ubicado frente a Quintana Roo, es la segunda barrera arrecifal más grande del mundo y tienen una estrecha convivencia con algunos tipos de algas (Biodiversidad Mexicana, 2022a).

Para puntualizar la relevancia que tiene la biodiversidad del Golfo de México, retomo el texto de Vilchis et al (2017) en el que se identificaron un total de 118 especies de macroalgas presentes en las aguas de la zona, y prácticamente en los seis Estados que tienen costas en esta, pero localizaron áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad al norte del sistema arrecifal veracruzano, en el arrecife alacranes, Yucatán y Quintana Roo (pp. 185-192). Su importancia se puede apreciar claramente en la tabla 1.



Finalmente, el ecosistema pelágico es el resultado de la interrelación entre todos los sistemas mencionados que funcionan como base fundamental de crianza, desarrollo y alimentación de las especies que existen en él. Como lo describe Sosa Nishizaki (2021), en el Golfo de México habitan 1,500 especies de peces, los cuales pueden ser óseos o cartilagosos. Los que miden más de un metro de longitud se les conoce como pelágicos mayores, de los cuales habitan ahí 44 especies: 14 peces óseos, 26 tiburones y 4 mantarrayas. Son muy importantes pues ayudan a controlar la masa de especies menores y a mantener su equilibrio. Además, el nivel de población de estas especies es fundamental porque gran parte de la pesca artesanal, comercial y deportiva se enfoca en ellas (p. 9).

Con la somera revisión que se ha hecho es posible entender que la riqueza en ecosistemas y especies que conviven en las zonas costeras y marinas del Golfo de México es muy amplia, rica y variada. También hemos visto como esa riqueza está sustentada en ecosistemas interdependientes que son productores de sustratos básicos o de especies vegetales y animales primarias y que se ven reflejados en recursos naturales, alimenticios y pesqueros que debemos explotar y conservar adecuadamente.

Impactos en el Golfo de México por la elevación del nivel del mar

Después de la revisión, en los párrafos anteriores, de la biodiversidad que tenemos en el Golfo de México, es importante analizar los impactos que se han generado en la zona como consecuencia de la elevación del nivel del mar. En este tenor, el primer efecto del paulatino incremento de éste en las costas es la invasión de la línea de playa que se va dando poco a poco, y a la que se denomina como retroceso de línea de playa. Así, de manera lógica, cualquier zona terrestre o insular de baja altitud y con pendiente suave con respecto al nivel del mar se verá afectada (Reyes-Bonilla, Díaz-Castro y González Baheza, 2020, p. 10).

De esa forma, muchas zonas costeras podrían inundarse de manera definitiva y permitirían que el oleaje se adentre y cause mayores daños (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2020, p. 16), sobre todo si dicha inundación provoca degradación o desaparición de los ecosistemas protectores de oleaje como los arrecifes, pastos marinos, manglares, dunas de arena y humedales. Este avance del mar sobre las zonas terrestres tiene un efecto directo sobre los ecosistemas y biodiversidad marinos, puesto que se incrementan la erosión costera, que significa la pérdida de sedimentos, arena o rocas de la zona intermareal y el aumento de salinidad en fuentes de agua dulce, como humedales y bahías costeras, que afectan los procesos químicos y nutricionales en los sistemas biológicos.

Actualmente, hay especies en las zonas marinas y costeras que están en peligro de extinción, o están amenazadas, a causa de factores como la excesiva explotación, la pesca o cacería ilegal, la contaminación o los asentamientos humanos e infraestructura construidas en esas áreas. Sin embargo, no hay todavía



estudios a profundidad que midan, en específico, el impacto que se está presentando sobre la biodiversidad a causa del incremento del nivel del mar en la región del Golfo de México.

Luego entonces, los efectos por el incremento del nivel del mar, de acuerdo con las proyecciones ya comentadas, en algunos años se resentirán con intensidad en las playas y dunas de arena, terrestres e insulares que, además, afectarían a la generación de fitoplancton y a las pequeñas especies que ahí habitan, interfiriendo con las que se sirven de ellas como zonas de anidamiento (por ejemplo: las tortugas). Para los pequeños elementos insulares que fueran inundados en su totalidad, significaría un obligado desplazamiento de especies terrestres, voladoras, insectos y anfibios que las habitan, la desaparición de las endémicas y afectaciones a la flora y fauna marinas en interacción con ellos.

Por otro lado, como el agua salada de mar ya está comenzando a inundar zonas de humedales costeros, como lagunas y estuarios, se ha iniciado un proceso de intrusión salina en ellos, y también en los mantos acuíferos cercanos a los litorales (Reyes-Bonilla, Díaz-Castro y González Baheza, 2020, p. 23). Gran cantidad de especies marinas y terrestres que habitan en ellos, o consumen agua dulce, se podrían ver afectadas. Por ello es primordial realizar estudios específicos por regiones en el Golfo de México para evaluar el impacto que el cambio climático y, en particular, la elevación del nivel del mar tendrá en la región.

Los dos casos mencionados, la pérdida de sedimentos y la intrusión salina, también tienen un impacto negativo en la presencia y calidad de nutrientes y materia orgánica, presentes en los mencionados ecosistemas, que en caso de ser de magnitud considerable se extendería hacia los otros, recordando que todos ellos son interdependientes y que los comparten. Se presentaría un efecto dominó que dañaría la biodiversidad en general de pastos marinos, arrecifes y especies pelágicas que dependen de ellos para sus ciclos biológicos.

De esta manera, el impacto sobre los ecosistemas y biodiversidad marina y terrestre en las zonas costeras del Golfo de México, en caso de continuar la tendencia en el incremento del nivel del mar, se sumaría, de forma alarmante, a los otros relacionados con el cambio climático (como los ya señalados de incremento de temperatura, acidificación, variación de salinidad y estratificación de las aguas oceánicas, entre otros) y con los atribuibles a las actividades humanas, de los cuales ya tenemos un efecto negativo remarcado en afectaciones a los ecosistemas y amenaza o extinción de especies, significando una grave ultimátum para el valioso patrimonio que tenemos.



CONCLUSIONES

Es muy importante fomentar acciones en el país, a todos los niveles, que ayuden a mitigar el cambio climático. Para ello, es fundamental conocer, en primera instancia, las principales causas y consecuencias del fenómeno. También debemos estar conscientes que, probablemente, los países que más contribuyen con sus actividades industriales al cambio climático, como Estados Unidos, China e India, no elaborarán, en la medida que se requiere, estrategias que lleven al amortiguamiento del fenómeno debido, en gran medida, a los intereses de sus grandes empresas multinacionales y de los propios Estados.

Sin embargo, para nosotros como mexicanos es preciso conocer nuestros espacios marinos y la gran biodiversidad presente en ellos, con la finalidad de apreciar nuestra inmensa riqueza, valorándola, aprovechándola y explotándola con las medidas adecuadas para su cuidado y protección. Por tanto, es prioritario considerar en el modelo educativo de México el estudio de las zonas marinas y la extraordinaria biodiversidad presente en ellas, desde el nivel primaria hasta la universidad, como parte nodal en la formación del mexicano, haciéndolo consciente de la relevancia que tiene México como país bioceánico. Al mismo tiempo, se le debe sensibilizar desde niño sobre el fenómeno del cambio climático, con el objetivo de que genere hábitos y formas de vida que contribuyan al cuidado del ambiente, para que sus acciones impacten en menor medida los espacios terrestres y marítimos.

La realidad nos indica que las acciones encaminadas a la reducción, eliminación o transformación de las actividades humanas, que contribuyen a acelerar el cambio climático, deben efectuarse de manera enfocada, decisiva y acompañadas de estrategias para minimizar los efectos que éstas traen al medio ambiente, contando con la inclusión de sectores científicos, técnicos y académicos en el estudio profundo del uso racional y conservación de los ecosistemas y biodiversidad con la que contamos.

En ese mismo tenor, organismos como la ONU y la IPCC han hecho hincapié al mencionar que los problemas mundiales deben ser atendidos específicamente a nivel local. Nadie hará por nosotros lo que nos corresponde hacer para proteger nuestro patrimonio. Por ello, es muy importante incluir los aspectos relacionados con el cambio climático, sus consecuencias o impactos y amenazas en las planeaciones gubernamentales, como parte de los objetivos nacionales, con estrategias claras de acción, tratando el fenómeno como asunto de alta prioridad para los intereses del país, y que ello conduzca a la implementación de políticas públicas enfocadas sino a eliminarlos si a mitigarlos y contrarrestarlos.

Como se revisó, a lo largo del presente texto, el incremento en el nivel del mar en las costas del Golfo de México es una situación que ya está teniendo efectos negativos, que contribuye en la época actual, en una media menor y poco cuantificada, a la degradación y destrucción de nuestros ecosistemas y biodiversidad marinas, sin embargo, a mediano y largo plazo podría causar afectaciones muy graves que se encadenarían



con las otras ya mencionadas y que nos colocarían en una situación muy compleja e incontrolable, si no se toman las acciones pertinentes.

Desafortunadamente, en México no se ha documentado con precisión la pérdida de biodiversidad, ocasionada específicamente, por la invasión de aguas marinas en ecosistemas costeros como los humedales, manglares, playas y dunas. Es posible que en la actualidad sea menor en comparación con otros factores, pero no se debe dejar de lado esta cuestión porque puede ocasionar un efecto acumulativo que con el tiempo aumente su contribución negativa.

Están en juego valiosos recursos biológicos, además de los territoriales, que son un capital natural que no estamos empleando con inteligencia y que podríamos perder. Si estamos desaprovechando los recursos alimenticios que nos ofrece el mar, y que nos ayudarían a superar la grave situación nutricional de una buena parte de nuestra población, trabajemos para que, en el futuro cercano, el cambio climático y otras causas no comprometan las fuentes alimenticias terrestres y marinas, pues las segundas son la solución a la seguridad alimentaria de México. Eso sin mencionar el valor económico de los recursos pesqueros y los ingresos turísticos que representan, y que podrán reducirse de manera drástica si no fraguamos acciones para mitigar el cambio climático y la elevación del nivel del mar.

En el caso específico del aumento del nivel de los mares, es fundamental que contemos con los elementos científicos, tecnológicos, humanos y económicos en cada uno de los municipios costeros del país, para conocer de primera mano, en tiempo real, los datos que nos ayuden a saber en qué lugares es prioritario establecer planes de acción inmediatos y en cuales se requieren de mediano y largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Muñoz, A. (2016). *Impacto de la elevación del nivel del mar en la superficie y línea de costa de 35 islas pobladas y prioritarias de México. Informe Final.* PNUD-INECC. https://datos.abiertos.inecc.gob.mx/Datos_abiertos_INECC/CGACC/DocumentosRIslasMarias/Eje3_ImpactosDelCambioClimaticoEnTerritorioInsularMexicano/EstudiosAguirreEtAl/IslasMarLineaDeCosta.pdf
- Árcega Cabrera, F., Dótor Almazán, A. y Herguera García, J. C. (2021). Descripción del golfo de México. En Peters, E. M., Zaragoza Álvarez, R. A., Herzka, Sharon Z., y Herguera García, J. C. (Eds.). Introducción. En S. Z. Herzka, R. A. Zaragoza Álvarez, E. M. Peters y G. Hernández Cárdenas. (Coord. Gral.). *Atlas de línea base ambiental del golfo de México, México.* Consorcio de Investigación del Golfo de México. <https://atlasigom.cicese.mx/es/dataset/libro-atlas-tomo-0>
- Bertzky, B., Shi, Y., Hughes, A., Engels, B., Ali, M.K. and Badman, T. (2013) *Terrestrial Biodiversity and the World Heritage List: Identifying broad gaps and potential candidate sites for inclusion in the natural*



World Heritage network. International Union for Conservation of Nature.
<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2013-016.pdf>

Biodiversidad Mexicana (31 de julio de 2022a). *¿Qué es la biodiversidad?* Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/que_es

Biodiversidad Mexicana. (01 de febrero de 2022b). *Ecosistemas de México.* Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/ecosismex>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2018). *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe.* <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/43acc0c4-71fa-4624-b792-d8558aeb6319/content>

Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2008). *Manglares de México.* <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD002431.pdf>

Connors, S., Flores Rentería, D. Y., Klein, K., Lescarmontier, L., Nicetto, N., Pradhan, P., Pathak, M., Schlüpmann, J., Tricoire, M., Van Diemen, R. y Wilgenbus, D. (2021). *Cambio climático y la tierra. Resumen para profesores.* UNESCO. https://www.oce.global/sites/default/files/2021-10/OCE-RAP_SRCCL-ES-LIGHT%2018-10-2021.pdf

Galindo, L. M., Samaniego, J. L., Alatorre, J. E., Ferrer Carbonell, J. Reyes, O. y Sánchez, L. (2015). *Ocho tesis sobre cambio climático y el desarrollo sostenible en América Latina.* Cepal – Unión Europea. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/3c816d04-94d8-41e5-bdbf-9f3a96c8618a/content>

Garret, C. (14 de noviembre de 2022). *Países más contaminantes del mundo: ranking 2022.* Selectra Climate Consulting. <https://climate.selectra.com/es/huella-carbono/paises-contaminantes>

Hernández Alarcón, M. E. (20 de abril de 2021). *Carbono almacenado en los suelos de los humedales del Golfo de México: el oro negro desconocido y en peligro de desaparecer.* Sociedad Científica Mexicana de Ecología. <https://scme.mx/carbono-almacenado-en-los-suelos-de-los-humedales-del-golfo-de-mexico-el-oro-negro-desconocido-y-en-peligro-de-desaparecer/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). *Catálogo del Territorio Insular Mexicano.* https://datos.abiertos.inecc.gob.mx/Datos_abiertos_INECC/CGACC/DocumentosRIslasMarias/Eje2_InstrumentosDelTerritorioInsularMexicano/CatalogoInsularDelTerritorioMexicano.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2014. Synthesis Report. Fifth Assessment Report. Observed Changes.* https://ar5-syr.ipcc.ch/topic_observedchanges.php#figure_1_1



- National Aeronautics and Space Administration (Abril de 2023). *Sea Level* [Grafica]. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/>
- Oppenheimer, M., Glavovic, B. C., Hinkel, J., van de Wal, R., Magnan, A.K. , Abd-Elgawad, A., Cai, R., Cifuentes-Jara, M., DeConto, R. M., Ghosh, T., Hay, J., Isla, F., Marzeion, B., Meysignac, B. y Sebesvari, Z. (2019). *Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities*. En H.O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama y N.M. Weyer (eds.) *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* (pp. 321-345). https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2022/03/06_SROCC_Ch04_FINAL.pdf
- Organización de las Naciones Unidas. (2017). *Los efectos del cambio climático y los cambios atmosféricos conexos en los océanos. Resumen técnico de la primera evaluación integrada del medio marino e escala mundial*. https://www.un.org/regularprocess/sites/www.un.org.regularprocess/files/17-05753_s-impacts-of-climate-change.pdf
- Reyes-Bonilla, H., Díaz-Castro, S. C. y González-Baheza, A. (2020). El incremento del nivel del mar: afectación en costas mexicanas. En E. A. Marín Monroy, V. Hernández Trejo, G. Avilés Polanco y R. Valdivia Alcalá (Eds.), *Cambio Climático, adaptación y resiliencia en el noroeste de México* (pp.13-14). UABCS, UACH y CPCM. <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/2241/1/CapituloReyes-BonillaDiaz-CastroGonzalez-Baheza2020.pdf>
- Semarnat. (2016). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
- Serrano, E., Morales, C., González-Trueba, J.J. y Martín, R. (2009). Cartografía del *permafrost* de montaña en los pirineos españoles. *Finisterra*. XLIV(87), 45-54. <https://revistas.rcaap.pt/finisterra/article/view/1376/1072>
- Sociedad Científica Mexicana de Ecología. <https://scme.mx/carbono-almacenado-en-los-suelos-de-los-humedales-del-golfo-de-mexico-el-oro-negro-desconocido-y-en-peligro-de-desaparecer/>
- Silva Casarín, R., Villatoro Lacouture, M. M., Ramos Durón, F. J., Pedroza Páez, D., Ortiz Pérez, M. A., Mendoza Baldwin, E. G., Delgadillo Calzadilla, M. A., Escudero Castillo, M. C., Félix Delgado, A. y Cid Salinas, A. (2014). *Caracterización de la zona costera y planeamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable*. UNAM/SEMARNAT.



https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2015/01/caracterizacion_zona_costera_manejo_sustentable.pdf

- Sistema de Información y Análisis Marino Costero. (2023). *Ecosistemas marino costeros*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://simar.conabio.gob.mx/ecosistemas/>
- Sosa Nishizaki, O. (Ed.) (2021). Hábitat potencial de peces pelágicos mayores. En S. Z. Herzka, R. A. Zaragoza Álvarez, E. M. Peters y G. Hernández Cárdenas (Coord. Gral.). *Atlas de línea base ambiental del golfo de México (tomo IX)*. Consorcio de Investigación del Golfo de México. <https://atlasigom.cicese.mx/es/dataset/libro-atlas-tomo-9>
- Vilchis, M. I., Dreckmann, K. M., García-Trejo, E. A., Hernández, O. E. y Senties, A. (2017). Patrones de distribución de las grandes macroalgas en el golfo de México y el Caribe mexicano: una contribución a la biología de la conservación. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 89(1), 183-192. <https://revista.ib.unam.mx/index.php/bio/article/view/2226/1649>
- Zavala-Hidalgo, J., de Buen Kalman, R., Romero-Centeno, R. y Hernández Maguey, F. (2010). Tendencias del nivel del mar en las costas mexicanas. En A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático* (pp. 315-334). Semarnat-INE, UNAM-ICMyI, UAC. http://www.gppa.com.mx/books/vulnerabilidad_CCParte1.pdf