



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

## DIAGNÓSTICO DE LAS ACTIVIDADES PETROLERAS SOBRE EL ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA SISTEMA ARRECIFAL LOBOS-TUXPAN, MÉXICO

SEMINARIO DE TITULACIÓN  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
B I Ó L O G A

P R E S E N T A  
EMIRETH AITANA MELLADO LIRA



DIRECTOR DEL SEMINARIO  
DR. ALEJANDRO ESTRADAS ROMERO

CD. UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, 03 DE MAYO DE 2023



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.



## **HOJA DE DATOS DEL JURADO**

### **1. Datos del alumno.**

Mellado

Lira

Emireth Aitana

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

312229177

### **2. Datos del Asesor.**

Dr.

Alejandro

Estradas

Romero

### **3. Presidenta**

Dra.

María de la Luz

Espinosa

Fuentes

### **4. Vocal**

Mtra.

Martha Concepción

Marín

Contreras

### **5. Suplente 1**

Dra.

Ana Margarita

Hermoso

Salazar

### **6. Suplente 2**

Mtro.

Daniel Alejandro

Olvera

Sule

### **7. Datos de la tesis.**

Diagnóstico de las actividades petroleras sobre el Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, México

Número de páginas: 62

2023

**8. Palabras clave:** Actividad petrolera, arrecife de coral, hidrocarburos, área natural protegida



## **DEDICATORIA**

A mi abuelita Dalila Lira Vázquez

1937-2017

Le dedico este trabajo, que es la culminación de una etapa muy importante de mi vida y que me costó superar muchos obstáculos para llegar aquí. Me da mucha tristeza que ella no pueda estar conmigo ahora y disfrutar este logro, pero me quedo con sus enseñanzas, sus cuidados, su amor y con lo orgullosa que yo sé que estaba de mí. Las bases de mis logros y éxitos presentes y venideros se los debo a ella.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme ser universitaria, y enseñarme otra forma de ser y de vivir.

A la Facultad de Ciencia por brindarme los espacios para continuar aprendiendo, creciendo y superándome.

A mi director de seminario, Dr. Alejandro Estradas Romero por creer en mí, por darme la oportunidad de trabajar con él, por sus consejos, por sus enseñanzas, por su apoyo incondicional, por su confianza, por su infinita paciencia.

A los miembros del jurado por su tiempo en la revisión de mi escrito, sus correcciones, consejos y su apoyo.

A mis profesores de carrera, por sus consejos, por sus enseñanzas en lo académico y en lo personal, por su apoyo académico y moral.

A la Dra. Luz Saldaña por revisar mi trabajo desde el inicio, por sus correcciones y sus comentarios.

A mis abuelitos Héctor Javier Mellado Gutiérrez y Dalila Lira Vázquez por criarme con buenos valores, por sus cuidados y preocupaciones, por creer en mí siempre y apoyarme incondicionalmente.

A mi madre, Rocío Elizabeth Mellado Lira por ser mi ejemplo de fortaleza y superación, por aceptar mi decisión de querer ser bióloga, por tu apoyo a lo largo de mi carrera, tanto emocional y económico, por tu preocupación cada vez que salía de práctica de campo, y por financiar cada una de ellas, por tu paciencia en todo el tiempo que me llevó llegar hasta aquí, este logro también es tuyo, ¡DISFRUTALO!

A Alfredo Vera Martínez por ser un gran apoyo para mi mamá y para mí, por sus consejos, por su paciencia en los días no tan buenos, por estar presente en mis logros y alegrarse por ellos.

A mis tíos Héctor, Edgar y Erik por ser mis consejeros, cada uno en un área diferente de mi vida, deportiva, académica, personal, emocional, por su paciencia, por su apoyo.

A mis tías Miriam y Gaby por aportar alegría y risas a mi vida, también por sus consejos, su motivación y apoyo a la manera de casa una.

A mis primas Miryto y Moncho por siempre estar para mi cuando las necesito, por su motivación cuando siento que ya no puedo más, por seguir unidas a pesar de las adversidades.

A Humberto Martínez Huerta por elegirme como su compañera de vida, por apoyarme en este largo y cansado proceso y transmitirme la paciencia que muy seguido se me acaba, por inspirarme, por motivarme cada día en todo sentido. Gracias por confiar en mí, por ser mi apoyo, por tenerme paciencia,

A mis amigos:

- Emiliano Fragoso por su apoyo académico.
- Emilio Hernández por sus consejos, por escucharme en mis tiempos difíciles, por los años de amistad.
- Alejandro Nieto por su apoyo moral, motivación y consejos durante todo mi proceso de titulación y por ser incondicional en mi vida.
- Oscar Vázquez por los años de amistad, por los reencuentros, el apoyo y por compartir nuestras metas y sueños desde que éramos niños.

A mis amigas:

- Carla Gutiérrez por la admiración que me tiene, es entre otras cosas lo que me hace no rendirme.
- Blanca Hernández, Adriana Balderas, Helena Gallegos, Alondra Reséndiz, Mariana Campos por ser el mejor grupo de amigas que he tenido, por hacer mis días en UNIVERSUM muy felices y llevaderos, por seguir unidas y por su apoyo incondicional.
- Ana Berta Pérez por apoyarme con material para este trabajo, por nuestra amistad a lo largo del tiempo y la distancia.
- María Fernanda Quezada Arana Contreras por estar en mis mejores y peores momentos, por su motivación académica y personal, por sus consejos, por escucharme siempre que lo necesito, por ser mi mejor amiga.

**¡Con cariño GRACIAS!**

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
ARRECIFES	4
Distribución	5
Tipos de arrecifes	5
Arrecifes Coralinos	6
PETRÓLEO	8
Zona petrolera	8
¿Qué es el petróleo?	8
Química del petróleo	9
MÉXICO Y LOS HIDROCARBUROS A NIVEL MUNDIAL	10
Exportaciones e importaciones	10
Contaminación petrolera a los arrecifes de coral	10
¿Cómo dañan los derrames a los arrecifes?	11
Amenazas de los arrecifes	12
Conservación de los arrecifes	13
Áreas Naturales Protegidas	13
Normativa y gestión	14
<i>Leyes</i>	15
<i>Normas</i>	15
<b>ANTECEDENTES</b>	<b>17</b>
DERRAMES Y FUGAS IMPORTANTES EN EL GOLFO DE MÉXICO	17
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>20</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>21</b>
GENERAL	21
PARTICULARES	21
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>22</b>
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>23</b>
GOLFO DE MÉXICO	23
VERACRUZ, MÉXICO	24
TUXPAN VERACRUZ, MÉXICO	24
HIDROGRAFÍA Y CLIMA	24
ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA SISTEMA ARRECIFAL LOBOS-TUXPAN (APFFSALT)	25
Ubicación geográfica	25
Descripción	26
<i>Arrecife Lobos</i>	26
<i>Arrecife Medio</i>	26
<i>Arrecife Blanquilla</i>	27

<i>Arrecife Tuxpan</i>	27
<i>Arrecife En medio</i>	27
<i>Arrecife Tanhuijo</i>	27
<i>Arrecife Pantepec</i>	28
Vegetación	28
Fauna	29
Geología	30
Fisiografía	31
Temperatura	31
Huracanes	31
Corrientes marinas	32
Importancia económica	32
Importancia biológica	32
Problemas socioambientales del SALT	33
Protección y gestión ambiental	33
<b>RESULTADOS</b>	<b>35</b>
MIRADA INTERNACIONAL	37
MIRADA LOCAL	37
<b>DISCUSIÓN</b>	<b>42</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>45</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>47</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Principales zonas arrecifales del Golfo de México ( <a href="#">Granados-Barba et al., 2019. Pag 8</a> )	4
<b>Figura 2.</b> Distribución mundial de los arrecifes de coral ( <a href="#">Astorga-Moar, 2017</a> )	5
<b>Figura 3.</b> Tipos de corales. a) <i>Acropora palmata</i> ( <a href="#">CONAMP, 2023</a> ). b) <i>Plexaura flexuosa</i> ( <a href="#">Enciclovida, 2023</a> )	7
<b>Figura 4.</b> Arrecifes de tipo costero ( <a href="#">Coral Reef Alliance, 2023b</a> )	7
<b>Figura 5.</b> Arrecifes de tipo barrera ( <a href="#">National Geographic España, 2016</a> )	7
<b>Figura 6.</b> Atolónes ( <a href="#">National Geographic España, 2022</a> )	8
<b>Figura 7.</b> Fórmula semidesarrollada del hexano (hidrocarburo saturado) ( <a href="#">Toppr, 2023</a> )	9
<b>Figura 8.</b> Ubicación del estado de Veracruz en México ( <a href="#">Estado de Veracruz 2023</a> )	24
<b>Figura 9.</b> Localización de la Huasteca Baja Veracruzana ( <a href="#">GEVIL, 2015</a> )	24
<b>Figura 10.</b> Ubicación del SALT ( <a href="#">Granados-Barba et al., 2019. Pag. 10</a> )	25

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tipos de arrecifes (Elaborada a partir de <a href="#">CONABIO, 2022a</a> )	5
<b>Tabla 2:</b> Fuentes de contaminación por presión antropogénica de petróleo en arrecifes (Modificada de <a href="#">Turner y Renegar, 2017</a> )	11
<b>Tabla 3.</b> Categorías de las Áreas Naturales Protegidas (Elaborada a partir de <a href="#">CONANP, 2022</a> )	14
<b>Tabla 4.</b> Normas Oficiales Mexicanas aplicables al ANPSALT. (Elaborada a partir de <a href="#">SEMARNAT, 2016</a> )	34
<b>Tabla 5.</b> Tipos de crudo y sus consecuencias (Elaborada a partir de <a href="#">García-Cuéllar et al., 2004</a> )	35
<b>Tabla 6.</b> Análisis de las características de los derrames petroleros (Elaborado a partir de <a href="#">Alvarez-Filip et al., 2021</a> )	40
<b>Tabla 7.</b> Factores de presión presentes en el SALT (Elaborado a partir de <a href="#">Ortiz-Lozano et al., 2021</a> )	41

## RESUMEN

La zona marino-costera mexicana del Golfo de México es de suma importancia nacional, debido a que proporciona al país riqueza económica y biológica, alimentación, servicios ambientales, turismo, cultura y recursos energéticos como el petróleo. Está dividida en cinco regiones; la región centro comprende al estado de Veracruz, la de interés en este estudio, que a su vez alberga dos áreas naturales protegidas: el Parque Nacional del Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) y, el Área de Protección de Flora y Fauna, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (APFFSALT), esta última ubicada frente a las costas de los municipios de Tamiahua y Tuxpan que está formada por siete comunidades coralinas. La presente investigación de tipo longitudinal, explicativa y de tipo no experimental, intenta identificar los riesgos de la actividad petrolera en el APFFSALT, mediante una revisión bibliográfica para evaluar su situación ambiental. Dependiendo del tipo de hidrocarburo que se derrame en la zona de estudio será el efecto que tendrá en los distintos grupos biológicos y el nivel de integración al ambiente, dando como resultado alteraciones en la estructura y dinámica del ecosistema. Lamentablemente no se cuenta con información suficiente sobre las afectaciones producidas por los derrames de hidrocarburos a los arrecifes del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), debido a la falta de monitoreo constante y evaluaciones ambientales previas a los derrames. Por lo tanto, es de necesidad urgente la actualización del marco regulatorio mexicano en materia de legislación ambiental, así como la implementación de programas locales de educación ambiental para el reforzar el cumplimiento de las normas y leyes establecidas, y al mismo tiempo fomentar la participación ciudadana. El conocimiento, la investigación y divulgación científica, la aplicación correcta e íntegra de la legislación, la educación ambiental y la colaboración conjunta entre gobierno, sociedad, ONGs y científicos son y serán siempre el punto de partida para prevenir, afrontar, resarcir y desagraviar los daños a los arrecifes de coral.

**Palabras clave:** Actividades petroleras, arrecifes de coral, hidrocarburos, área natural protegida, APFFSALT.

## ABSTRACT

The Mexican marine-coastal zone of the Gulf of Mexico is of great national importance because it provides the country with economic and biological wealth, food, environmental services, tourism, culture, and energy resources such as oil. It is divided into five regions; The central region comprises the state of Veracruz, the state of interest in this study, which in turn houses two protected natural areas: the Veracruz Reef System National Park (PNSAV for its acronym in Spanish) and the Flora and Fauna Protection Area Lobos-Tuxpan Reef System (APFFSALT for its acronym in Spanish), the latter located off the coast of the municipalities of Tamiahua and Tuxpan, which is made up of seven coral communities. This longitudinal, explanatory, and non-experimental type of research tries to identify the oil risks activity in the APFFSALT, through a bibliographic review to assess its environmental situation. Depending on the type of hydrocarbon spilled in the study area, the effect it will have on the different biological groups and the level of integration into the environment resulting in alterations in the structure and dynamics of the ecosystem. Unfortunately, there is not enough information on the effects caused by hydrocarbon spills on the reefs of the Lobos-Tuxpan Reef System (SALT), due to the lack of constant monitoring and environmental evaluations prior to the spills. Therefore, it is urgently necessary to update the Mexican regulatory framework in terms of environmental legislation and the implementation of local environmental education programs to reinforce compliance with established norms and laws and simultaneously encourage citizen participation. Knowledge, research and scientific dissemination, the correct and comprehensive application of legislation, environmental education, and collaboration between government, society, NGOs, and scientists are and will always be the starting point to prevent, to confront, compensate and make amends for damage to coral reefs.

**Keywords:** Petroleum activities, coral reefs, hydrocarbons, protected natural area, APFFSALT.

## INTRODUCCIÓN

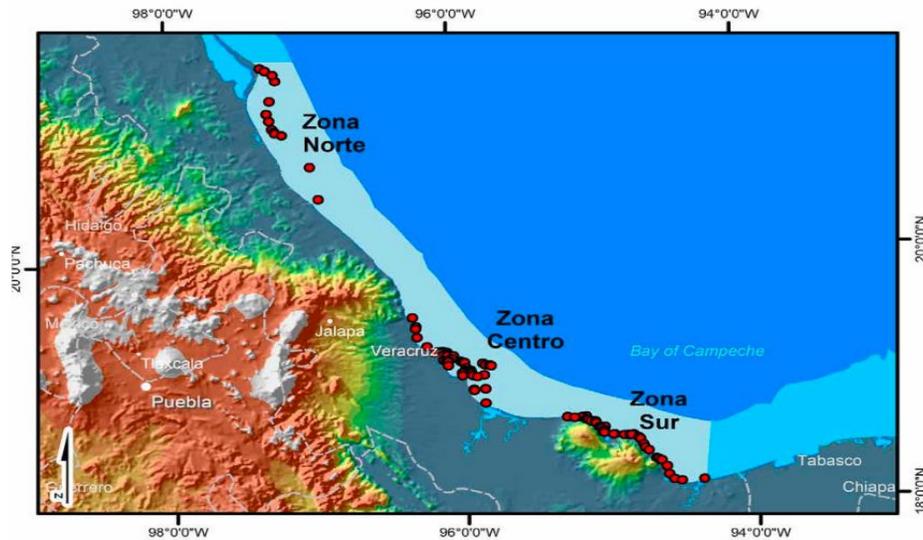
El Golfo de México (GoM) es considerado la cuenca de aguas protegidas más extensa del océano Atlántico, compartido por México, Estados Unidos y Cuba (INECC, 2018a). Es también conocido como una ecorregión de productividad moderada debido a que cuenta con importantes aportes de nutrientes provenientes de descargas de ríos (Uribe-Martínez *et al.*, 2019). Además, al estar altamente interconectado, los impactos de las actividades antropogénicas y los procesos naturales se reflejan en todo el ecosistema (INECC, 2018a).

La productividad natural del Golfo de México depende de las interacciones entre los procesos terrestres y marinos que se enlazan en las zonas marino-costeras, lo cual condiciona los procesos climáticos meteorológicos e hidrológicos (Caso *et al.*, 2004).

El Golfo de México es de suma importancia nacional, debido a que proporciona al país riqueza económica y biológica, alimentación, servicios ambientales, turismo, cultura y recursos energéticos como el petróleo (INECC, 2018b).

La plataforma continental del suroeste del Golfo de México es una zona de heterogeneidad ambiental compuesta por más de cien diferentes estructuras arrecifales, a lo largo de aproximadamente 500 km (Fig. 1). El Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM) es portador de diversos paisajes submarinos que involucran arrecifes coralinos emergidos, bordeantes y sumergidos, así como zonas de arrecifes rocosos, dunas sumergidas y arrecifes no coralinos. Cada uno de estos ecosistemas cuentan con historia geológica y ambiental que ha proporcionado la complejidad biológica característica de dicho lugar, donde la interacción con ecosistemas como ríos, manglares, pastos marinos y lagunas costeras es fundamental (Granados-Barba *et al.*, 2019).

El Corredor Arrecifal presenta una fuerte presión antropogénica debido al desarrollo humano en todos sus ejes, siendo el más perjudicial la industria de los hidrocarburos que favorece al incremento de la temperatura, la acidificación de los océanos y el cambio climático (Granados-Barba *et al.*, 2019).



**Figura 1.** Principales zonas arrecifales del Golfo de México (Tomado de Granados-Barba *et al.*, 2019 pág. 8).

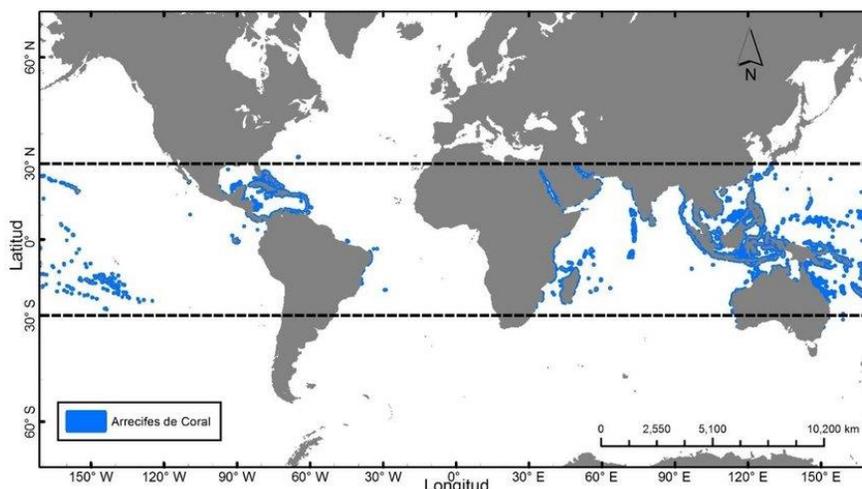
Por su parte, el estado de Veracruz cuenta con ocho cuencas hidrográficas que desembocan en el GoM, y alberga al Parque Nacional del Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) y el Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (APFFSALT) (Narciso-Ortiz *et al.*, 2001). Esta última localizada en el municipio de Tuxpan Veracruz, México, considerado el puerto del valle de México, por su ubicación estratégica a 270 km. de la Ciudad de México y zona del bajío (SEMAR, 2022).

## ARRECIFES

Son comunidades marinas diversas y complejas esenciales para el balance de la masa geoquímica de los océanos en relación con los flujos de magnesio, calcio, estroncio y carbonato (Turner y Renegar, 2017), así como un importante refugio de especies marinas de vertebrados tales como: mamíferos marinos, reptiles y peces (Martínez, 2021) e invertebrados como son: esponjas, cnidarios, moluscos, artrópodos y equinodermos (Reef Resilience, 2022). Por dichas razones y por ser la base de la cadena trófica marina, son conocidos científicamente como “las selvas tropicales marinas” (Fonseca-Aldana, 2020).

## Distribución

Los arrecifes coralinos en el mundo se distribuyen entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio mayormente en la parte oriental de los continentes (Fig. 2) con temperaturas entre los 22 y los 28 °C, alta intensidad luminosa y baja concentración de nutrientes (CONABIO, 2022a).



**Figura 2.** Distribución mundial de los arrecifes de coral (Astorga-Moar, 2017).

## Tipos de arrecifes

Existen dos principales tipos de arrecifes, los naturales y los artificiales los cuales se describen en la Tabla 1 (CONABIO, 2022a).

**Tabla 1.** Tipos de arrecifes (Elaborada a partir de CONABIO, 2022a).

Naturales	Coralinos	Los pólipos de coral son los encargados de proporcionarles su estructura básica, los cuales son animales pertenecientes al Phylum Cnidaria, Subphylum Anthozoa. Ubicados en el Golfo de México y Mar Caribe.
	Rocosos	Formados por rocas de diferentes tamaños distribuidos en el fondo que sirven de sustrato. Ubicados en el Golfo de California y en sus islas y en las costas de Sonora y Sinaloa.
Artificiales		Creados por el ser humano formados por bloques de roca, estructuras de barcos hundidos y pilotes de cemento. Con la finalidad de ejercer las mismas funciones ambientales que los naturales. En México se localizan en: Golfo de California, Tamaulipas, Veracruz, Guerrero, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

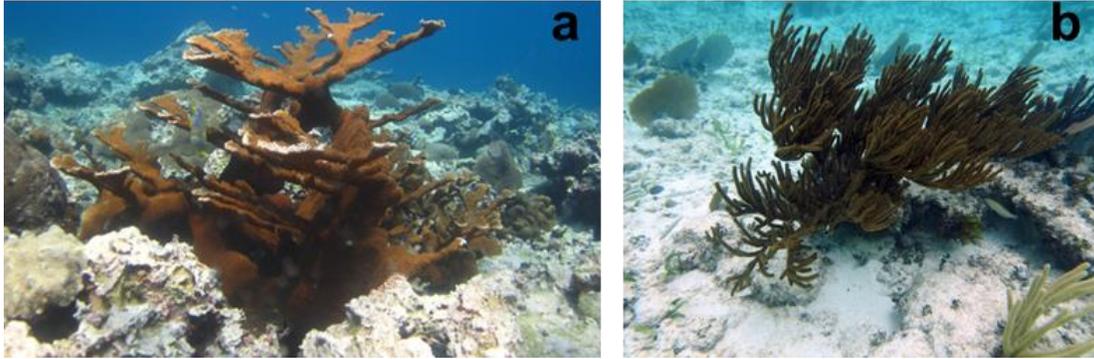
## Arrecifes Coralinos

La unidad viviente del coral es el pólipo, el cual es un animal perteneciente al Phylum Cnidaria que generalmente se agrupa en colonias de miles de individuos, al conjunto de colonias de diferentes especies de corales se denominan arrecifes de coral, siendo estos las comunidades vitales más prósperas y de mayor riqueza y biodiversidad ([Coral Reefs Alliance, 2023a](#)).

Los corales son longevos y de lento crecimiento, si se perturban pueden tardar décadas en recuperarse de las perturbaciones, esto depende de la persistencia del problema, de las sustancias tóxicas derramadas y de las perturbaciones antropogénicas, cualquiera que sea el tipo de afectación afectará a las comunidades y ecosistemas asociados ([Turner y Renegar, 2017](#)).

Actualmente los arrecifes de coral cubren menos del 1% de los océanos y albergan aproximadamente el 25% de todas las especies marinas conocidas, incluidas 800 especies de corales ([Martínez, 2021](#)). Sin embargo, no todos los corales forman arrecifes, esto debido a su anatomía y relaciones simbióticas, por lo cual los corales se clasifican en dos tipos ([CONABIO, 2022a](#)):

- **Hermatípicos.** También conocidos como corales duros (Fig. 3a), son los corales formadores de arrecifes debido a que son los únicos que tienen relación simbiótica con las zooxantelas y presentan un exoesqueleto formado por carbonato de calcio
- **Ahermatípicos.** Son corales blandos (Fig. 3b), carentes de relaciones simbióticas y con esqueleto interno. Los cuales en México suman aproximadamente 50 especies



**Figura 3.** Tipos de corales. a) *Acropora palmata* (CONAMP, 2023). b) *Plexaura flexuosa* (Enciclovida, 2023)

México alberga aproximadamente 60 especies de corales hermatípicos, lo cual representa entre el 8 y 10% de todas las especies mundiales conocidas, siendo el Mar Caribe y el Golfo de México las zonas de mayor abundancia de corales duros con alrededor de 45 a 60 especies. Dependiendo de su origen, configuración y ubicación con respecto a tierra firme se clasifican de la siguiente manera (Figs. 4, 5, 6): (CONABIO, 2022a).

- **Arrecifes costeros**

Bordean las costas, de aguas someras.



**Figura 4.** Arrecifes de tipo costero (Coral Reef Alliance, 2023b)

- **Arrecifes de barrera**

Están ubicados paralelamente a la costa, pero alejados de ella y separados por un canal de hasta 100 m de profundidad. Son de mayor tamaño que los costeros.



**Figura 5.** Arrecifes de tipo barrera (National Geographic España, 2016)

- **Atolones**

Son anillos de islas de coral asociados a conos volcánicos, que se localizan en mar abierto.



**Figura 6.** Atolones ([National Geographic España, 2022](#))

## **PETRÓLEO**

### **Zona petrolera**

El Golfo de México constituye una de las regiones petroleras más grandes del mundo y donde la contaminación marina por petróleo y sus derivados, es uno de los problemas de mayor relevancia ecológica ([Botello, 2005](#)).

México es sin lugar a duda un país petrolero, cuya macroeconomía y desarrollo dependen en gran medida de la producción de hidrocarburos. La mayoría de la producción nacional de petróleo se lleva a cabo en el Golfo de México. Sin embargo, dicha actividad representa también alto riesgo de derrames de hidrocarburos con consecuencias devastadoras para el ecosistema marino ([Árcega y Dótor 2021](#)).

### **¿Qué es el petróleo?**

La palabra petróleo proviene del griego πετρέλαιον, “aceite de roca” ([Ortuño, 2021](#)). Es un líquido natural oleaginoso e inflamable considerado como un recurso no renovable el cual es más liviano que el agua cuyo peso específico varía entre 0.75-0.95 Kg/Lt, dicha variación está influenciada principalmente por factores físicos y químicos. Presentan una coloración que va del amarillo al rojo pardo y negro, sin embargo, el crudo usualmente se ve de color verde, debido a la

fluorescencia producida por los rayos infrarrojos reflejados, mientras más alto sea su peso específico más oscuro se vuelve. Su volatilidad depende de los puntos de ebullición de los diversos componentes (SGM, 2017).

Este se origina a partir de materia orgánica que ha sido transformada durante millones de años, debido al aumento de temperatura y la hipertensión derivada del acumulamiento de sedimentos en el interior de la corteza terrestre (Ortuño, 2021).

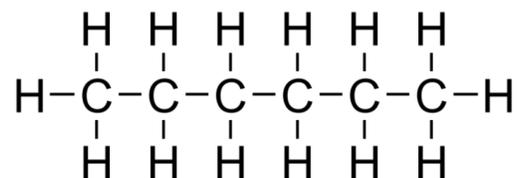
### Química del petróleo

El petróleo está conformado en su mayoría por hidrocarburos, estos a su vez se constituyen por átomos de carbono e hidrógeno (Fig. 7), su composición varía de 83 a 87% de carbono y de 11 a 16% de hidrógeno y 4% de azufre (Iglesias, 2003).

Químicamente los hidrocarburos se dividen en tres grupos:

- Hidrocarburos saturados (alcanos o parafina).
- Hidrocarburos no saturados (alquenos, nafteno-aromáticos y aromáticos).
- Resinas y asfáltenos.

Y pueden presentarse en estado gaseoso, líquido, semisólido y sólido, de los cuales los hidrocarburos saturados representan de 50 a 60% del conjunto de componentes del petróleo (Ortuño, 2021), siendo los que contienen de 5 a 20 átomos de carbono los más abundantes, los cuales consisten en cadenas lineales de átomos de carbono rodeadas por átomos de hidrógeno (Iglesias, 2003).



**Figura 7.** Fórmula semidesarrollada del hexano (hidrocarburo saturado) (Toppr, 2023).

Los hidrocarburos se encuentran en regiones específicas llamadas cuencas sedimentarias. Dichas cuencas poseen series de rocas y sedimentos que son susceptibles de contener materiales orgánicos y, en consecuencia, yacimientos de hidrocarburos ([Ortuño, 2021](#)).

## **MÉXICO Y LOS HIDROCARBUROS A NIVEL MUNDIAL**

### **Exportaciones e importaciones**

De acuerdo con el Observatorio de Complejidad Económica, en 2020 México exportó \$17.8 MM en Petróleo crudo, convirtiéndolo en el exportador número 12 de Petróleo crudo en el mundo , siendo este el quinto producto más exportado por México en ese mismo año. Por otra parte, se importaron \$54.6 k en Petróleo crudo, convirtiéndolo en el importador número 105 de Petróleo crudo en el mundo y el producto número 1,184 más importado en México ([OEC, 2023](#)).

### **Contaminación petrolera a los arrecifes de coral**

Los corales presentan alta propensión a la contaminación por petróleo mediante múltiples fuentes debido a su cercanía a las áreas urbanas-costeras y a las rutas de navegación. Las principales fuentes de contaminación por hidrocarburos de petróleo son por extracción, transporte, consumo y presión antropogénica (Tabla 2).

Los corales están expuestos a dichos hidrocarburos de dos formas:

- **Aguda**

Son el resultado de derrames catastróficos con efectos inmediatos a corto plazo, y están relacionados con la proximidad a los derrames ocasionados en refinerías, actividades de producción, instalaciones de almacenamiento y plataformas marinas. Y son generalmente de corta duración, pero con

potencial de causar impactos a largo plazo, dependiendo de la cantidad y la ubicación (Turner y Renegar, 2017).

- **Crónica**

Surge de la exposición continua a pequeñas cantidades de petróleo por tiempo prolongado. Ocurren cerca de filtraciones naturales y de fuentes antropogénicas (Turner y Renegar, 2017).

Anualmente más de  $1.3 \times 10^6$  toneladas métricas de crudo y refinado de petróleo ingresa al ambiente marino sin importar la fuente de contaminación, es de gran preocupación ambiental debido a que dichos derrames no se informan adecuadamente (Turner y Renegar, 2017).

**Tabla 2:** Fuentes de contaminación por presión antropogénica de petróleo en arrecifes (Modificada de Turner y Renegar, 2017).

Fuente	%	Razón
Extracción	Del 100% de extracción se libera al ambiente 3%	Por emisiones de plataformas y oleoductos, descargas y operaciones de limpieza.
Transporte	Del 100% de transporte se libera al ambiente el 12%	Debido a accidentes por operaciones de buques tanque, terminal marítimo y derrames de refinерías.
Consumo	Del 100% de consumo se libera al ambiente el 37% que es 92% de contaminación por presión antropogénica	Para satisfacer la necesidad de movilidad y energía.

### ¿Cómo dañan los derrames a los arrecifes?

Sea cual sea el tipo y el origen de la contaminación por petróleo en el mar es de gran preocupación ambiental (Turner y Renegar, 2017), debido a que al afectarse uno de los eslabones principales de la cadena alimenticia marina se va generando una reacción en cadena de afectaciones a otros ecosistemas y a otros eslabones. Plitt (2010) menciona que al producirse un derrame de manera inmediata, se produce una capa sobre la superficie marina que obstruye el paso

de la luz a través de la columna de agua, sin luz las algas simbióticas de los corales no pueden realizar la fotosíntesis y mueren, dejando al coral desprotegido y que, a mediano plazo, tiene lugar una contaminación aguda, conforme el crudo baja a través de la columna de agua y va cambiando su composición química provocando la muerte de otros organismos debido a que los contaminantes que componen el crudo son altamente tóxicos. Finalmente, a largo plazo se producen daños en el sistema reproductivo y alimenticio de diversos organismos de los ecosistemas marino-costeros, en su mayoría dependientes de los arrecifes ([Plitt, 2010](#)).

Dependiendo de la cantidad de hidrocarburo derramado, si ocurre en mar abierto o cerca de la costa y si el tipo de ecosistema es dinámico y resiliente o no, la recuperación puede durar de 10 a 20 años o hasta un siglo ([Plitt, 2010](#)). Las características de los derrames de petróleo pueden ser diversas. Pueden ocasionar la muerte de corales dependiendo de la especie y el tiempo de exposición y sus afectaciones biológicas, pueden extenderse de 10 a 100 km con una duración de meses a años y frecuencias de años a décadas ([Alvarez-Filip et al., 2021](#)).

### **Amenazas de los arrecifes**

[Manfrino \(2017\)](#) menciona que la degradación de los arrecifes de coral resulta altamente preocupante, ya que el 40% de la población mundial vive a menos de 100 kilómetros del océano. Por lo tanto, además de un problema ambiental resulta también en un problema económico y social. Sus principales amenazas son las siguientes ([Coral Reef Alliance, 2022](#)):

- Derrames petroleros
- Blanqueamiento del coral
- Aumento del nivel del mar
- Tormentas más fuertes
- Acidificación de los océanos
- Pesca insostenible

- Contaminación agrícola
- Destrucción del hábitat
- Calentamiento global

### **Conservación de los arrecifes**

En 2016 las Naciones Unidas informaron que el 70% de los arrecifes de coral están amenazados, de los cuales el 20% ya está destruido sin esperanza de recuperación, el 24% se encuentra en riesgo inminente de colapso y el 26% restante están en riesgo por amenaza a largo plazo ([Manfrino, 2017](#)).

Desde 1994 se propuso la Iniciativa de Carácter Nacional de Arrecifes (ICRI) apoyada por diferentes gobiernos y organizaciones cuyo propósito es implementar programas a nivel local, nacional e internacional en materia de conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los arrecifes ([CONABIO, 2022a](#)).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030, promulgada por la ONU en 2015 denotan los problemas económicos sociales y culturales del deterioro mundial del medio ambiente, de los cuales el objetivo 14 se enfoca en la vida submarina, contemplando a los arrecifes de coral, así como la deficiente gestión actual mundial y en conjunto con los demás objetivos ponen de manifiesto las necesidades y metas a cumplir para restablecer, conservar, restaurar y preservar estos ecosistemas, así como sus ecosistemas aledaños.

### **Áreas Naturales Protegidas**

Las Áreas Naturales Protegidas son el instrumento de política ambiental con mayor definición jurídica para la conservación de la biodiversidad creadas con la finalidad de asegurar la protección del patrimonio natural de México, cuyas características ambientales no han sido relevantemente alteradas por la actividad humana ([INECOL, 2017](#)).

El órgano de gobierno encargado de la administración, conservación y sustentabilidad de ecosistemas y ambientes naturales representativos de la diversidad biológica de México es la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), y administra y gestiona actualmente 185 Áreas Naturales Protegidas (ANP) de carácter federal (CONANP, 2022), divididas en seis categorías (Tabla 3) de acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) distribuidas en nueve regiones del país (CONANP, 2015). Dentro de las cuales la Región Planicie Costera y Golfo de México está conformada por 13 Áreas Naturales Protegidas reconocidas a nivel mundial por su alto valor ambiental, de las cuales nueve se localizan en el Golfo de México y Mar Caribe que incluyen zonas con arrecifes (CONAP, 2018), dentro de la cual se encuentra el Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan decretada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de junio de 2009 (SIMEC, 2022).

**Tabla 3.** Categorías de las Áreas Naturales Protegidas (Elaborada a partir de CONANP, 2022).

Categoría	Cantidad
Reserva de la Biosfera	44
Parques Nacionales	67
Áreas de Protección de Flora y Fauna	42
Áreas de Protección de Recursos Naturales	9
Santuarios	18
Monumentos Naturales	5

Entre los múltiples beneficios de las ANPs destacan (CONABIO, 2022b).

- Mantienen la flora y fauna silvestre
- Mantiene paisajes naturales
- Mantienen procesos ecológicos

- Sirven de referencia ante los cambios
- Proporcionan oportunidades de recreación
- Representan posibilidades de educación
- Son áreas de investigación científica

## **Normativa y gestión**

La gestión ambiental del Golfo de México de acuerdo con el Sistema Jurídico Mexicano se basa en: reglamentos, dispositivos administrativos, leyes de carácter federal y las normas oficiales mexicanas, de las cuales las principales que se deben aplicar en el Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan destacan las siguientes:

### *Leyes*

- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)
- Ley de Aguas Nacionales
- Ley General de Vida Silvestre
- Ley de Pesca
- Ley General de Bienes Nacionales
- Ley de Desarrollo Forestal Sustentable
- Ley General de Responsabilidad Ambiental

### *Normas*

- **NOM-001-SEMARNAT-1996.** Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales.
- **NOM-05-TUR-2003** . Requisitos mínimos de seguridad que deben sujetarse las operadoras de buceo para garantizar la prestación del servicio.
- **NOM-06-TUR-2009** . Requisitos mínimos de información, higiene y seguridad que deben cumplir los prestadores de servicios turísticos de campamentos.

- **NOM-09-TUR-2001.** Que establece los elementos a que deben sujetarse los guías especializados en actividades específicas.
- **NOM-011-TUR-2001.** Requisitos de seguridad, información y operación que deben cumplir los prestadores de servicios turísticos de Turismo de Aventura.
- **NOM-022-SEMARNAT-2003.** Establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.
- **Nom-034-SCT4-2009.** Equipo mínimo de seguridad, comunicación y navegación para embarcaciones nacionales, de hasta 15 metros de eslora.
- **NOM-036-SCT4-2007.** Administración de la seguridad operacional y prevención de la contaminación por las embarcaciones y artefactos navales.
- **NOM-059-Semarnat-2010.** Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio de lista de especies en riesgo.
- **NOM-061-PESC-2006.** Especificaciones técnicas de los excluidores de tortugas marinas utilizados por la flota de arrastre camaronera en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.
- **NOM-126-SEMARNAT-2000.** Establece las especificaciones para la realización de actividades de colecta científica de material biológico de especies de flora y fauna silvestres y otros recursos biológicos en el territorio nacional.
- **NOM-146-SEMARNAT-2005.** Establece la metodología para la elaboración de planos que permitan la ubicación cartográfica de la Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar que se soliciten en concesión.
- **NOM-149-Semarnat-2006.** Establece las especificaciones de protección ambiental que deben observarse en las actividades de perforación, mantenimiento y abandono de pozos petroleros en las zonas marinas mexicanas.

Toda ANP debe ser respaldada con un decreto y un programa de manejo el cual es el instrumento más importante de planeación y regulación que establece los lineamientos básicos y las acciones para el correcto manejo y administración de la ANP bajo la supervisión de la LGEEPA y para que sea un documento legal debe estar publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) ([Pérez-Cervantes et al., 2017](#)).

## ANTECEDENTES

La zona marino-costera mexicana del Golfo de México es una de las mayores cuencas con producción de hidrocarburos que supera las 400,000 toneladas métricas por día. Además, existe un intenso tráfico de buques petroleros, que mueven diariamente más de 5 millones de barriles diarios, de los cuales, 7 millones de barriles al año son vertidos al mar debido al lavado de tanques, ejerciendo así una gran presión ambiental en ríos, lagunas costeras, manglares y estuarios de dicha zona. Por lo que se ha registrado una tendencia al alza en los niveles de contaminación por agentes petroquímicos desde el año 1987 en dichas zonas ([Botello, 2005](#)).

Como parte de la contaminación, azolves, la modificación de los patrones hidrológicos y la pérdida de la biodiversidad; muchos arrecifes, esteros y lagunas costeras han sido alterados o destruidos físicamente, mermando de esa manera su potencial como hábitat ([Botello, 2005](#)).

La industria petrolera en México representa una fuente económica importante, respaldada por la reciente Reforma Energética promovida por el Gobierno Federal en el periodo 2012-2018 provocando el incremento de la exploración en áreas someras de la plataforma continental a lo largo del Golfo de México veracruzano con excepción de las ANP con las que cuenta el estado. Sin embargo, la cercanía de las exploraciones a dichas ANP provoca inevitablemente afectaciones a las mismas a pesar de las evaluaciones de impacto ambiental que solicita la Secretaría de Energía del Gobierno Federal, esto debido a la falta de información científica de las zonas en exploración ([Ortiz-Lozano et al., 2019](#)).

## DERRAMES Y FUGAS IMPORTANTES EN EL GOLFO DE MÉXICO

El 3 de junio de 1979 ocurrió en México el derrame petrolero más importante de la historia en nuestro país, provocado por la perforación del pozo Ixtoc-1 ubicado en el suroeste del Golfo de México a 3,627 metros de profundidad. El problema se debió a una falla en la circulación del fluido de perforación acumulando petróleo y gas en la tubería, que provocó una explosión dando como

resultado el colapso de la plataforma, un gran derrame de petróleo y un incendio que duró 280 días, derramándose un volumen aproximado de 560 millones de litros de crudo. De esta cantidad, se quemó el 50 %, el 16 % se evaporó, el 5.4 % fue recolectado y el 28 % se dispersó, de acuerdo con los informes de PEMEX. Las corrientes y mareas llevaron el petróleo a las zonas costeras de Campeche, Tabasco, Veracruz, Tamaulipas, y zonas de Texas que también resultaron contaminadas ([CENAPRED, 2019](#)).

Ocho años después, el 10 de octubre de 1987 la plataforma YUM II/Zapoteca explotó y se incendió, dicha plataforma llevaba a cabo perforaciones exploratorias, por lo que la explosión provocó un derrame de petróleo con una estimación de 30 millones de barriles por día en las costas de Ciudad del Carmen, Campeche ([Roux y Flores, 2015](#)).

A finales del 2004 se reportó un incendio en el cuarto de control de la estación Mazumiapan, municipio de Catemaco, Veracruz teniendo como consecuencia un derramamiento de 5,013 barriles de petróleo crudo en el Río Coatzacoalcos reportado por PEMEX en su boletín oficial del 16 de febrero del 2005 ([Bozada-Robles y Namihira-Santillán, 2005](#)).

En octubre de 2007, se reportaron dos derrames en el pozo Kab-121, el primero provocado por el derrumbe de la plataforma Usumacinta debido a un frente frío que azotó fuertemente en la zona y el segundo generado a partir del primero debido a daños colaterales en las válvulas del pozo, presentando dos puntos de fuga que dieron como resultado el vertimiento de 422 barriles diarios de crudo durante mes y medio ([Roux y Flores-Torres, 2015](#)).

En abril de 2010, ocurrió la explosión e incendio de la plataforma petrolera *Deepwater Horizon*, localizada a 70 kilómetros al sureste del delta del río Mississippi, en el norte del Golfo de México, ocasionando un derrame de 4,9 millones de barriles de crudo, que tardó en contenerse 87 días e inició una catástrofe ambiental en las costas de los Estado Unidos de América ([BBC Mundo, 2014](#)).

La plataforma petrolera Abkatun de PEMEX, ubicada en la Sonda de Campeche en el Golfo de México, se incendió el 1 de abril de 2015 debido a fallas en el área de deshidratación y bombeo y, de acuerdo con las declaraciones de Carlos de Regules Ruiz-Funes director ejecutivo de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y Protección al Medio Ambiente del Sector de Hidrocarburos (ASEA), reconoció la existencia de una mancha de hidrocarburos de por lo menos cuatro kilómetros de extensión y de algunos milímetros de espesor ([Rodríguez, 2015](#)).

Por su parte, los arrecifes de Polígono Tuxpan que se localizan a ocho kilómetros del canal de acceso, navegación fondeadero, área de maniobra y operación de los buques tanques que operan en las monoboyas, el abastecimiento de estos productos representan un riesgo para los arrecifes, debido al derrame de los mismos al mar, prueba de ello son los accidentes ocurridos en las monoboyas del Complejo Termoeléctrico “Adolfo López Mateos”, el primero ocurrido en 1991 y el segundo en 1999 ambos ocasionaron el derrame 550 litros de combustible, el cual fue recuperado. Por otra parte, en la Terminal Marítima de Petróleos Mexicanos también se registraron dos incidentes, en 1996 y en 1998 que derramaron al mar 50 barriles de gasolina ([SEMARNAT, 2016](#)).

A nivel nacional de 2018 a 2021, PEMEX declaró ante el Centro de Coordinación y Apoyo a Emergencias (CCAEE) 176 derrames y fugas únicamente en escala moderada y grave, durante 2018 se registró un total de 34 derrames y fugas, en 2019 aumentó a 50, para 2020 decayó a 35 y en 2021 se disparó hasta 57 ([Ramírez, 2021](#)).

## JUSTIFICACIÓN

El Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) está expuesto a diferentes y constantes presiones ambientales tanto de origen natural como humano, destacando este último como la principal causa de dichas presiones, particularmente por la actividad petrolera de Petróleos Mexicanos en su proximidad.

La Terminal Marítima Tuxpan de Petróleos Mexicanos cuenta con dos monoboyas en la zona de afluencia del Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. Los arrecifes se localizan aproximadamente a ocho kilómetros del canal de acceso, navegación, fondeadero, área de maniobra y operación de los buques tanque que operan en las monoboyas, donde son recibidos y almacenados en 23 tanques verticales, con una capacidad que oscila entre 55,000 y 200,000 barriles de hidrocarburos.

El abastecimiento de combustible se hace por vía marítima, realizando las descargas de buques de Petróleos Mexicanos mediante un sistema de mangueras que se conectan a una monoboja y de ésta a los tanques de almacenamiento del complejo, por lo tanto, el abastecimiento de estos productos petrolíferos representa un riesgo para los arrecifes debido al derrame inevitable que se produce en las maniobras.

Además, la generación de energía eléctrica en el Complejo Termoeléctrico "Presidente Adolfo López Mateos", que se ubica en el kilómetro seis al norte de la desembocadura del Río Tuxpan, utiliza combustóleo como combustible en los generadores de vapor para la producción de energía eléctrica y que al final de los procesos generan desechos que son liberados al mar.

Por tal motivo, el objetivo de esta investigación es realizar un análisis bibliográfico relacionado con el Área de Protección de Flora y Fauna Arrecifal Lobos-Tuxpan y las actividades petroleras en la zona, con el fin de examinar su situación ambiental (biológica y ecológica), ya que dichas actividades están provocando la pérdida de algunos de los organismos que habitan en el arrecife y originan un deterioro irreversible.



## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Identificar los riesgos de las actividades petroleras realizadas en el Área Natural Protegida Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan mediante una revisión bibliográfica para evaluar su situación ambiental.

### **PARTICULARES**

- Evaluar la situación ambiental (biológica y ecológica) del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan mediante los datos obtenidos en la investigación para dar a conocer las afectaciones por hidrocarburos de dicha área.
- Realizar una revisión bibliográfica relacionada con el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan y las actividades de Petróleos Mexicanos en la zona de estudio.

## METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo longitudinal, explicativa y de tipo no experimental, en la cual se identifican los riesgos de la actividad petrolera en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), así como los programas de manejo y protección a los que está sometida dicha área. Los datos presentados fueron obtenidos únicamente por recopilación de fuentes bibliográficas mediante una búsqueda exhaustiva de información en artículos científicos, libros y portales electrónicos.

**Literatura.** De la literatura consultada se obtuvieron las características de los corales, de la flora y fauna asociada, así como los datos referentes a los accidentes petroleros que se han suscitado en el Golfo de México y en la región, los cuales fueron obtenidos de artículos y libros especializados de la zona.

**Documentos oficiales.** Se recabó información del Diario Oficial de la Federación y del Programa de manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan particularmente lo referente a las particularidades de cada uno de los arrecifes que conforman el Sistema, así como la protección a la que está sometida.

**Portales electrónicos.** Se consultaron las páginas electrónicas oficiales de las diferentes instituciones gubernamentales y educativas del país, así como de instituciones internacionales para la obtención de datos geográficos y conocer la situación de los arrecifes en otras partes del mundo.

## ÁREA DE ESTUDIO

### GOLFO DE MÉXICO

El Golfo de México (GoM) es una cuenca semicerrada con una dinámica oceanográfica que recibe gran influencia de las aguas que ingresan del Mar Caribe por el canal de Yucatán, así como la salida del interior hacia el océano Atlántico mediante el canal de Florida para formar sus características oceanográficas. Una de estas características importantes es la corriente de Lazo ([Uribe-Martínez et al., 2019](#)). Dicha corriente domina la circulación del GoM (Golfo de México) y se caracteriza por variar su extensión al norte del golfo ([Beltrán-Barrón, 2018](#)).

El GoM cuenta con una superficie aproximada de 1, 507, 639 km<sup>2</sup>, una profundidad media de ca. 1,615 m y un volumen de agua de 23,000 km<sup>3</sup> aproximadamente ([Caso et al, 2004](#)).

De acuerdo con [Ortiz-Pérez y de la Lanza \(2006\)](#), el Golfo de México se encuentra dividido en cinco regiones para la parte de los Estados Unidos Mexicanos, las cuales son:

1. Región Nororiental
2. Región centro
3. Región Sur Oriental
4. Región occidental y Norte de la península de Yucatán
5. Región del Mar Caribe

La región centro comprende el estado de Veracruz con una longitud de aproximadamente 609 km, caracterizada por ser de origen acumulativo, con playas rocosas, arenosas o mixtas. Además, cuenta con 22 ríos de gran importancia, de los cuales destacan: Pánuco, Tecolutla, Tuxpan y Papaloapan ([de la Lanza Espino et al, 2013](#)).

## VERACRUZ, MÉXICO

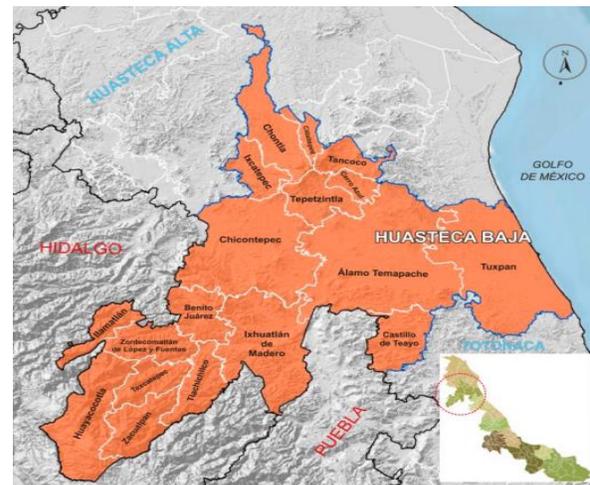
Se localiza en la costa del Atlántico, en el Golfo de México (Fig. 8). Al norte colinda con el estado de Tamaulipas, al sur con los estados de Oaxaca y Chiapas, al poniente con San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla y al sureste con el estado de Tabasco y cuenta con una superficie de 71,699 km cuadrados (SECTUR, Veracruz,2018). Representa el 3.7 % del territorio nacional (INEGI, Veracruz,2022).



**Figura 8.** Ubicación del estado de Veracruz en México (Estado de Veracruz.2023).

## TUXPAN VERACRUZ, MÉXICO

Ubicado en la zona norte de la Huasteca Baja Veracruzana del estado, a los 20° 57' latitud Norte y 97° 24' longitud Oeste a una altura de 10 metros sobre el nivel del mar (Fig. 9). Con una superficie de 966.18 Km<sup>2</sup>, cifra que representa un 1.35% del total del Estado (INAFED). Limita al norte con Tamiagua y Naranjos, al oeste con Temapache, al sur Tihuatlán y Poza Rica (INAFED, 2022).



**Figura 9.** Localización de la Huasteca Baja Veracruzana (GEVIL, 2015)

## HIDROGRAFÍA Y CLIMA

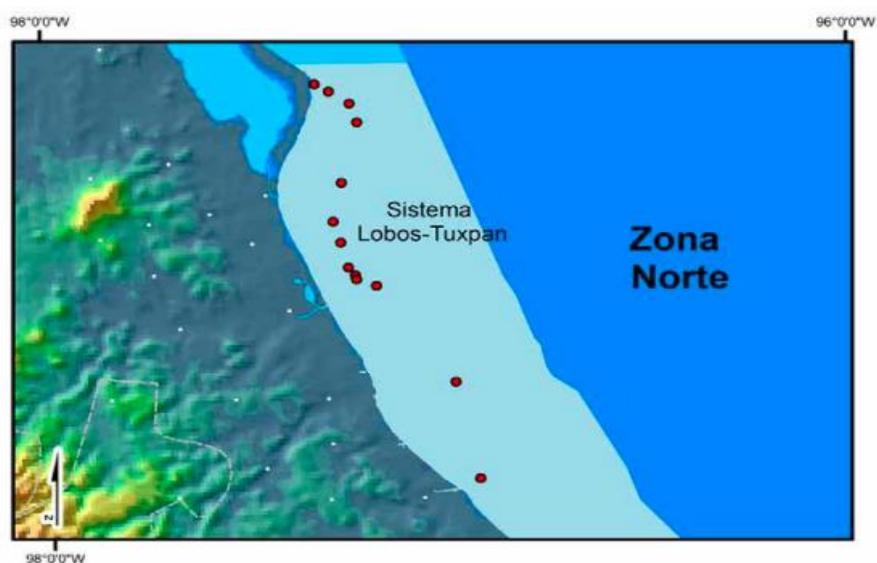
Su principal afluente es el río Tuxpan con desembocadura en el Golfo de México (INAFED, 2022). Además, cuenta con el estero de Tumilco y Jácome y la laguna de Tampamachoco (Lara-Domínguez *et al.*, 2009), que en conjunto forman parte del sistema hidrológico que influyen en la conformación de las características

fisicoquímicas del SALT (SEMARNAT, 2016). Su clima es tropical, con una temperatura media anual de 24.1 °C; con una precipitación pluvial media anual de 1,241 milímetros (INAFED, 2022).

## ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA SISTEMA ARRECIFAL LOBOS-TUXPAN (APFFSALT)

### Ubicación geográfica

El Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), se localiza al noroeste del Golfo de México frente a las costas de los municipios de Tamiahua y Tuxpan, pertenecientes al Estado de Veracruz (Fig. 10). Dicho sistema está formado por siete arrecifes tipo plataforma, los cuales presentan profundidades de hasta 30 metros y sus llanuras arrecifales se caracterizan por ser someras, entre uno y dos metros de profundidad, con una superficie total de 30,571.15 Hectáreas que a su vez se agrupan en dos polígonos arrecifales, el Polígono Lobos que se dividen en Lobos, Medio y Blanquilla abarcando una superficie total de 12,586.45 Hectáreas y el Polígono Tuxpan constituido por las formaciones arrecifales Tuxpan, Enmedio, Tanhujio y Pantepec con una superficie de 17,984.69 Hectáreas (DOF, 2014).



**Figura 10.** Ubicación del SALT (Granados-Barba *et al.*, 2019. Pag. 10).

Presentan dos canales importantes, uno de origen natural localizado en el arrecife Tanhuijo en la parte media de sotavento hacia barlovento. Dicho canal presenta una boca de 10 metros de profundidad con una longitud de tan solo 2 metros, y el otro es un canal artificial en el arrecife Lobos, construido en la década de los setenta con la finalidad de proporcionar acceso al personal y equipo de Petróleos Mexicanos, el cual tiene una profundidad de tres metros y una longitud de 1.5 kilómetros ([SEMARNAT, 2016](#)).

## **Descripción**

El SALT está formado por comunidades coralinas variadas que forman ensamblajes complejos entre diferentes organismos. Lo anterior da pie a la presencia de una elevada cobertura coralina que supera el 65% en sectores específicos de sotavento, (eso es más que los corales ubicados en Cancún) y una baja presencia de corales blandos, esponjas y organismos bentónicos ([SEMARNAT, 2016](#)).

### *Arrecife Lobos*

Este arrecife es el de mayor tamaño de todo el sistema arrecifal, siendo el único que presenta un cayo arenoso. Y está localizado a 58 kilómetros al norte de la desembocadura del Río Tuxpan. La isla consta de una superficie de 600 por 500 metros y una elevación que alcanza los 2.5 metros ([SEMARNAT, 2016](#)).

### *Arrecife Medio*

Es un sistema de forma ovalada de 1.29 kilómetros de longitud y 0.5 metros de ancho. Una característica significativa de este arrecife es la presencia de una plataforma artificial en la parte norte construida por Petróleos Mexicanos, cerca de la cual existen poblaciones de octocorales. Su profundidad es variable, de 20 metros aproximadamente. El bentos está formado por roca coralina y colonias de corales incrustantes ([SEMARNAT, 2016](#)).

### *Arrecife Blanquilla*

Dicho arrecife es el más cercano a la costa, está ubicado a 5.36 kilómetros de Cabo Rojo y mide 1.23 kilómetros de largo y 0.6 kilómetros de ancho, presenta una pendiente de barlovento con una profundidad de 20 metros y la de sotavento con 15 metros ([SEMARNAT, 2016](#)).

### *Arrecife Tuxpan*

Se ubica a 12.34 kilómetros de la desembocadura del Río Tuxpan, siendo éste el arrecife con la localización más al sur de todo el SALT. Con forma elipsoide, mide 500 metros de longitud norte-sur y 1200 metros este-oeste. Se encuentra dominado por corales escleratíneos ([SEMARNAT, 2016](#))

### *Arrecife Enmedio*

Es uno de los arrecifes más pequeños dentro del SALT, con una longitud de 1.06 kilómetros y 0.48 kilómetros de ancho, se encuentra localizado a 14 kilómetros de la desembocadura del Río Tuxpan. Las llanuras de este arrecife están dominadas por diferentes especies de corales como *Acropora palmata* ([SEMARNAT, 2016](#)).

### *Arrecife Tanhuijo*

Con una longitud de 1.85 kilómetros y 1.02 kilómetros de ancho, a 18 kilómetros de la desembocadura del Río Tuxpan. La característica principal de este arrecife es que posee un canal natural que va de oeste a este con una profundidad máxima de 11 metros. Mientras que en el sur su profundidad máxima es de 15 metros con relieve variado y una meseta que lo diferencia de los demás arrecifes ([SEMARNAT, 2016](#)).

### *Arrecife Pantepec*

Es el arrecife más recientemente descubierto, de tipo no emergente localizado en el límite oriente del polígono Tuxpan. Cuenta con una elevación a 15 metros de la superficie y una profundidad máxima con desarrollo coralino de 25 metros. Además, se tienen registradas seis especies de corales pertenecientes a seis familias y ocho géneros ([SEMARNAT, 2016](#)).

En todos los arrecifes que conforman el SALT se observa la presencia predominante de roca coralina, la cual es considerada como el atributo con mayor morfofuncionalidad en cuanto a cobertura con un 54%, seguido por los corales escleractinios ([SEMARNAT, 2016](#)).

## **Vegetación**

Como se mencionó anteriormente, el arrecife Lobos es el único que cuenta con un área insular (Isla Lobos) con la cual mantiene relación estrecha, y que está compuesta por 78 especies, pertenecientes a 66 géneros y 37 familias, de las cuales la mayoría son especies introducidas, tales como: Palma de coco (*Cocos nucifera*), Casuarinas (*Casuarina equisetifolia*), Manglar (*Rhizophora mangle*), Acahual (*Ficus obtusifolia*), Carrizal (*Arundo donax*), este último es un indicador de zonas perturbadas se localiza junto a las instalaciones de PEMEX lo cual nos lleva a indagar en el potencial daño que las instalaciones de dicha institución le están ocasionando al SALT ([SEMARNAT, 2016](#)).

En cuanto a la vegetación acuática resaltan las macroalgas presentes en los diferentes arrecifes del Sistema Lobos-Tuxpan, representadas por 126 especies, agrupadas en cuatro grupos (Cyanophyta, Rodhophytas, Chlorophytas y Heterokontophyta). De las cuales es importante destacar a *Halimeda opuntia* (del orden Bryopsidales), debido a que es un importante cementador y fijador de carbonatos para los arrecifes de coral. Y los pastos marinos dentro de los que destacan esta zona *Thalassia testudinum* (del orden Alismatales) por su parte ayudan a la consolidación del sustrato y su mayor importancia radica en ser el refugio de larvas juveniles de la depredación de peces, crustáceos, etc.

Dichos pastos marinos están cubiertos por bacterias, algas microbénticas, endoproctos, ectoproctos, etc. ([SEMARNAT, 2016](#)).

## Fauna

La base de la fauna marina del talud de los arrecifes Lobos-Tuxpan son los corales pétreos contando con 31 especies de escleractinios y 2 de hidrocorales (SEMARNAT, 2016).

Al ser una zona de gran riqueza biológica, también destacan por su presencia en el área los equinodermos, los cuales desde hace miles de años se encuentran asociados con los corales, de los cuales es importante mencionar a las estrellas *Linckia guildingii* y *Copidaster liman*, erizos de mar entre los que destacan *Diadema antillarum* y *Astropyga magnifica* y es posible observar pepinos de mar. Solo en el arrecife de Isla Lobos se tiene registradas 18 especies de equinodermos (SEMARNAT, 2016).

Las esponjas marinas también son comunes en el Sistema Arrecifal, tan solo en el Arrecife Tuxpan se tiene el mejor registro de estas contando con 18 especies que pertenecen a 13 géneros y 13 familias (SEMARNAT, 2016).

Así mismo, los anélidos, moluscos, gasterópodos y artrópodos también están presentes en el SALT y forman parte importante de dicho sistema. Los anélidos por su parte se encuentran en los cabezos de coral y se tienen reportadas 30 especies en el área. Dentro de los moluscos destacan los pulpos encabezados por *Octopus vulgaris* distribuido en todos los arrecifes del sistema y caracoles dentro de los cuales destacan los *Xanus annulatus* (SEMARNAT, 2016).

Al igual que los peces los crustáceos se encuentran entre los organismos más variados y abundantes, dentro de este grupo el más importante en la zona es la langosta espinosa *Panulirus argus*. Por su parte la ictiofauna del Sistema Arrecifal se caracteriza por su variedad y cantidad de especies, está formada por 281 especies, que a su vez pertenecen a 153 géneros incluidos en 75 familias. La distribución de las especies se encuentra influenciada en gran medida por el oleaje, la profundidad y la disponibilidad de alimento y refugio (SEMARNAT, 2016).

El Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan es el hogar de cuatro de las siete especies de tortugas que habitan en nuestro país, siendo estas los reptiles más

abundantes de la zona, las cuales son: la caguama (*Caretta caretta*), tortuga verde (*Chelonia mydas*), tortuga lora (*Lepidochelys kempii*) y tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) (SEMARNAT, 2016).

En cuanto a la ornitofauna, en el Sistema Arrecifal se tienen registradas 36 especies de aves observadas en las porciones emergentes de los arrecifes, dentro de las cuales destacan el charrán mínimo (*Sternula antillarum*), el pelícano pardo (*Pelecanus occidentlis*), el cormorán orejudo (*Nannopterum auritum*), el chorlo semipalmeado (*Charadrius semipalmatus*), la gaviota de pico anillado (*Larus delawarensis*), entre otros (SEMARNAT, 2016).

También habitan diversos tipos de mamíferos marinos, representados por diversas especies de delfines dentro de los que destacan los pertenecientes al género *Tursiops* y anteriormente la foca monje del Caribe (*Monachus tropicalis*) también conocidas como lobos marinos, razón por la cual se le dio el nombre a Isla Lobos, sin embargo, esta especie fue declarada extinta en los años 50 debido a la caza furtiva (SEMARNAT, 2016).

## **Geología**

De acuerdo con Inman y Nordstrom (1971), el SALT pertenece a la Unidad Morfotectónica I, la cual parte desde el Río Bravo, Tamaulipas, hasta Punta Delgada, Veracruz. La composición geológica de esta región data de la Era Cenozoica, particularmente de los periodos Paleógeno, Neógeno y Cuaternario. (SEMARNAT, 2016).

Los arrecifes del SALT datan de hace 9 mil a 10 mil años, por lo tanto, su formación corresponde a la época del Holoceno perteneciente al período Cuaternario. Y se encuentran geológicamente estructurada, presentando las zonas geomorfológicas características de los arrecifes de tipo es de tipo arenosa. Los movimientos del nivel del mar jugaron un papel importante en la formación y evolución de los arrecifes debido a que se estima que estos se originaron sobre dunas consolidadas (SEMARNAT, 2016).

## **Fisiografía**

Regularmente en las llanuras de los arrecifes del SALT no es común observar rasgos fisiográficos, sin embargo, en el arrecife Lobos se observa la presencia de un cayo arenoso de 600 x 500 metros y una elevación máxima 2.5 metros, el cual es conocido como Isla Lobos ([SEMARNAT, 2016](#)).

## **Temperatura**

La temperatura del SALT varía de los 30 °C en verano y puede llegar hasta los 17 °C en invierno, lo cual ha generado que el ambiente vaya adquiriendo características particulares que ha ido seleccionando a las especies que se relacionan entre sí para generar el vasto y diverso ecosistema coralino ([SIMEC, 2022](#)).

## **Huracanes**

Debido a su ubicación geográfica el SALT presenta vulnerabilidad ante fenómenos meteorológicos de gran impacto como los Nortes y huracanes. Los Nortes son originados por la diferencia de presión atmosférica con las masas de aire polar, cuyos vientos alcanzan los 120 kilómetros por hora, y la región soplan de este a oeste. La temporada de Nortes comienza en el mes de septiembre y tiende a extenderse hasta el mes de mayo ([SEMARNAT, 2016](#)).

Por su parte los huracanes son tormentas tropicales con vientos de más de 120 kilómetros por hora acompañados por intensas lluvias, que ayudan a la regulación térmica de las aguas, debido a que reducen la temperatura, promueven el incremento del oleaje y modifican las corrientes marinas ([SEMARNAT, 2016](#)).

## **Corrientes marinas**

La principal corriente que pasa por el Golfo de México es la corriente de Lazo, la cual proviene del Mar Caribe y penetra a esta región por el canal de Yucatán. Las velocidades máximas se alcanzan en los meses de julio a septiembre y las mínimas de enero a febrero. Las corrientes corren en paralelo a la línea de costa; el sentido está determinado de acuerdo con la época del año, en el invierno bajan hacia el sur del Golfo de México, mientras que durante el verano se dirigen al norte. En la costa de Tuxpan, particularmente las corrientes transitan por la parte exterior de los arrecifes, es decir, en mar abierto, y por la parte interior hacia el continente ([SEMARNAT, 2016](#)).

## **Importancia económica**

La pesca es una de las actividades económicas más importantes para el estado de Veracruz y los arrecifes de coral son los principales ecosistemas en dónde se encuentra la mayor diversidad de peces y mariscos, por lo que su preservación y mantenimiento deberían ser de alta prioridad.

## **Importancia biológica**

El SALT es considerado como un sitio de gran importancia biológica debido a que proporciona refugio, alimentación, reproducción y anidación, desarrollo y crecimiento de diversas especies de mamíferos, reptiles, peces, algas y bacterias ([CONABIO, 2022](#)).

Sin embargo, el ser humano no le ha dado la debida importancia a su protección y preservación, pero no todo está perdido, es importante señalar que su integridad ecológica se encuentra en un estado de salud intermedia entre los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y los de Campeche y Yucatán. Por lo tanto, aún es posible evitar, mitigar y reparar los daños que presenta ([CONABIO,2022](#)).

## Problemas socioambientales del SALT

Como se mencionó anteriormente el SALT es un ecosistema marino de alta importancia en diversos aspectos, sin embargo, existen actividades de alto impacto que amenazan la salud e integridad de este, entre las más importantes destacan ([CONABIO, 2022](#)):

- El vertimiento de hidrocarburos por parte de la estación petrolera de PEMEX y de la Central Termoeléctrica Adolfo López Mateos.
- Daño por embarcaciones: petroleras y pesqueras.
- Impacto de actividades pesquera, turística.
- Contaminación: descarga de sedimentos, materia orgánica, plaguicidas, así como descargas urbanas e industriales.

## Protección y gestión ambiental

Debido a las actividades económicas, culturales y recreativas que se realizan en los alrededores de dichas áreas, existen especies clave en peligro de extinción documentada en el libro rojo de la IUCN (*World Conservation Monitoring Centre*) y actualmente protegida por las Normas Oficiales Mexicanas NOM-059-SEMARNAT-2019 y NOM-022-SEMARNAT-2003, las cuales establecen la preservación, conservación y restauración de ambientes marino costero ([CONABIO, 2022](#)).

Por ser un complejo arrecifal con gran potencial biológico, científico, económico, cultural, educativo, histórico y turístico, el 5 de junio de 2009 fue decretada como Área de Protección de Flora y Fauna por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), en términos de lo dispuesto en el artículo 66 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) ([DOF, 2014](#)).

El sistema arrecifal es propiedad de la nación de carácter federal, lo que indica que está estrictamente prohibida la propiedad privada. Sin embargo, la Administración Portuaria Integral de Tuxpan es poseedora de una concesión de la

Zona Federal Marítimo Terrestre en Isla Lobos de 37 hectáreas ([SEMARNAT, 2016](#)).

Además, dicha área natural protegida está sujeta a diversas Normas Oficiales Mexicanas (Tabla 4), las cuales son las regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las dependencias competentes, conforme a lo establecido en el artículo 40 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización a nivel nacional ([PROFECO,2015](#)).

**Tabla 4.** Normas Oficiales Mexicanas aplicables al ANPSALT. (Elaborada a partir de [SEMARNAT, 2016](#))

<b>Norma</b>	<b>Dependencia</b>
NOM-034-SCT4-2009	Secretaria de Comunicaciones y Transportes
NOM-036-SCT-4-2007	Secretaria de Comunicaciones y Transportes
NOM-059-SEMARNAT-2010	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
NOM-061-PESC-2006	Secretaria de agricultura, ganadería desarrollo rural, pesca y alimentación
NOM-001-SEMARNAT-1996	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
NOM-05-TUR-2003	Secretaria de Turismo
NOM-06-TUR-2009	Secretaria de Turismo
NOM-09-TUR-2001	Secretaria de Turismo
NOM-022-SEMARNAT-2003	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
NOM-126-SEMARNAT-2000	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
NOM-16-SEMARNAT-2005	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
NOM-149-SEMARNAT-2006	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales

## RESULTADOS

Extensas y detalladas investigaciones de estudios post derrame en aguas del Golfo de México han mostrado que varios componentes del medio marino son altamente resilientes a cambios adversos en el corto plazo. Aunque, por otra parte, son menos conocidos los posibles efectos a largo plazo (subletal) sobre las poblaciones, así como los efectos variables debidos a las particularidades de los ambientes impactados. Además, los impactos varían entre regiones con relación al tipo de crudo derramado ([García-Cuéllar et al.,2004](#)).

Dependiendo del tipo de hidrocarburo que se derrame en la zona de estudio será el efecto que tendrá en los distintos grupos biológicos y el nivel de integración al ambiente (Tabla 5). Las respuestas pueden manifestarse al nivel bioquímico y celular, así como a nivel de organismo, que incluiría la integración de respuestas fisiológicas, bioquímicas y conductuales; a nivel poblacional, incluyendo alteración en la dinámica poblacional y a nivel de comunidad, resultando en alteraciones en la estructura y dinámica del ecosistema ([García-Cuéllar et al.,2004](#)).

**Tabla 5.** Tipos de crudo y sus consecuencias (Elaborada a partir de [García-Cuéllar et al.,2004](#)).

Tipo de hidrocarburo	Consecuencias
Crudo Pesado	Los efectos generales son de baja toxicidad, esto debido a que está mayormente compuesto por ceras, asfaltenos y compuestos polares. Su presencia en el sedimento es de largo plazo debido a sus lentas tasas de degradación.
Crudo ligero	Sus efectos esperables son de alta toxicidad en corto plazo por contener hidrocarburos monoaromáticos (benceno, tolueno, xileno). Dichos hidrocarburos son tóxicos y solubles en agua, lo que incrementa su potencial de bioacumularse rápidamente.

Entre los contaminantes con mayor potencial de impacto en el Golfo de México se encuentran los siguientes ([Espina y Vanegas, 1996](#); [Environment Canadá, 2003](#); [NOAA, 1992b](#); [IPIECA, 1997](#); [García-Cuéllar et al., 2004](#)):

- **Hidrocarburos aromáticos policíclicos** (HAP). Alto potencial carcinogénico, mutagénico y teratogénico en organismos acuáticos.
- **Compuestos orgánicos volátiles** (COV). Contribuyen al efecto invernadero, y están involucrados en la formación directa de ozono sobre el nivel del suelo e indirectamente de la lluvia ácida.
- **Hidrocarburos totales del petróleo** (HTP). Presentan diversos efectos sobre flora y fauna.

Los derrames de petróleo afectan temporalmente la tasa fotosintética y como consecuencia la productividad primaria indispensable para el desarrollo de los arrecifes de coral, pero desafortunadamente los efectos *in situ* son difíciles de evaluar por las fluctuaciones naturales y los posibles efectos indirectos de los hidrocarburos derivados de la disminución de los productores primarios durante un derrame y la consecuente alteración de la cadena trófica ([García-Cuéllar et al., 2004](#)).

Investigaciones extensivas y detalladas de estudios post derrame han mostrado que varios componentes del medio marino son altamente resilientes a cambios adversos en el corto plazo en el medio en el cual viven y como consecuencia, un derrame mayor raramente causará efectos permanentes ([Dicks, 1999](#); [García-Cuéllar et al., 2004](#)).

Menos conocidos son los posibles efectos de largo plazo (subletal) sobre las poblaciones, así como los efectos variables debidos a las particularidades de los ambientes impactados. Para cada zona de estudio, los impactos varían entre regiones con relación al tipo de crudo derramado, el grupo biológico y el nivel de integración considerado ([García-Cuéllar et al., 2004](#)).

Los daños y el impacto de los hidrocarburos derramados, independientemente del tipo, cantidad y duración pueden manifestarse a nivel bioquímico y celular, así como a nivel de organismo, que incluiría la integración de respuestas fisiológicas, bioquímicas y conductuales; a nivel poblacional, incluyendo alteración en la dinámica poblacional y a nivel de comunidad,

resultando en alteraciones en la estructura y dinámica del ecosistema ([Kennish, 1997](#); [NAS, 2003](#); [García-Cuéllar \*et al.\*, 2004](#)).

## **MIRADA INTERNACIONAL**

De acuerdo con el reporte del proyecto Arrecifes en Peligro en el Caribe ([Burke y Maidens, 2005](#)), el petróleo provoca en los corales los siguientes efectos:

- Daña los tejidos reproductores de los corales y de la zooxantelas
- Inhibe el reclutamiento de juveniles
- Reduce la resiliencia de estos ante otras situaciones adversas que les generan estrés.

Lo anterior debido a que las mareas y corrientes marinas dispersan en tiempo y espacio los productos petroquímicos que en la mayoría de los casos se almacena en aguas tranquilas, con poca circulación como es el caso de las aguas en dónde se desarrollan los arrecifes de coral ([Burke y Maidens, 2005](#)).

Con base en el análisis comparativo de riesgos que enfrentan los corales en el mundo realizado por [Álvarez-Filip \*et al.\* \(2021\)](#), describieron las características de los derrames de petróleo más estudiadas hasta ahora (Tabla 6).

## **MIRADA LOCAL**

A nivel local y de acuerdo con una nota periodística publicada en el diario “La Opinión de Poza Rica” en diciembre de 2018, los daños ambientales a Isla Lobos iniciaron desde 1963, cuando PEMEX perforó su primer pozo petrolero y amplió sus operaciones al arrecife Medio, ahí se alcanzó una producción de 39,000 barriles por día solo en 1970, que provenían de 12 campos descubiertos. Para principios del 2000 se retomó la perforación cerca de Isla Lobos.

De las afectaciones en Isla Lobos por actividades petroleras destacan las siguientes ([La opinión de Poza Rica, 2018](#)).

- Dos plataformas petroleras
- Una pista de helicóptero
- Barracas de marinos
- Estación meteorológica
- Baños
- Bodegas
- Casa de Petróleos Mexicanos
- Planta de Luz
- Palapa

Sumado a lo anterior PEMEX construyó un canal de navegación para permitir el acceso a embarcaciones que daban mantenimiento a los pozos petroleros dañando una superficie de 7,371,961 hectáreas. En la Tabla 7 se muestran los factores de presión presentes en el SALT ([Ortíz-Lozano et al., 2021](#)).

El manejo y mitigación de problemáticas debe partir de la identificación de actores que inciden en las fuentes. Por lo anterior, a continuación, se enlistan los actores que inciden en las problemáticas detectadas en los arrecifes.

- Petróleos Mexicanos (PEMEX)
- Comisión Federal de Electricidad (CFE)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
- Secretaría de Medio Ambiente Estatal (SEDEMA)
- Secretaría de Marina (SEMAR)
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)
- Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA)

Si bien el APFFSALT cuenta con un programa de manejo expedido por la CONANP, en el cual se describen las características del área, la normativa y gestión, manejo, riesgos, entre otros temas de interés sigue siendo insuficiente para proteger, preservar y restaurar adecuadamente dicha área, desafortunadamente no se han realizado las investigaciones pertinentes, ni los monitoreos constantes para tener información sobre el estado ecológico de los corales del sistema antes de algún derrame, para poder compararlo con los

estudios post-derrame y tampoco se ha tratado de remediar los daños causados previos a la declaración de Área Natural Protegida.

**Tabla 6.** Análisis de las características de los derrames petroleros (Elaborado a partir de [Alvarez-Filip et al., 2021](#)).

Riesgo	Descripción	Tipo de efecto	Extensión	Duración	Frecuencia
Derrame de petróleo	Estos eventos pueden matar al coral dependiendo de la especie y exposición, ya que el petróleo pesado se mezcla con arena o sedimentar y puede volverse lo suficientemente denso como para hundirse debajo de la superficie del océano y sofocar los corales debajo. La toxicidad crónica del petróleo también impide la reproducción de los corales, crecimiento, comportamiento y desarrollo ( <a href="#">Turner y Renegar, 2017</a> ).	Biológico	10-100 km	Semanas - meses	Décadas - años

- El tipo de efecto hace referencia al tipo de impacto que provoca dicha perturbación en los arrecifes de coral, en el caso de las perturbaciones biológicas el tejido resulta dañado, pero no la estructura.
- Por su parte, la extensión de riesgo es la medida de impacto que tiene la perturbación y varía de metros hasta miles de kilómetros.
- La duración es el tiempo de afectación de la perturbación en los arrecifes de corales.
- La frecuencia del riesgo se refiere a la frecuencia con la que ocurre la perturbación, sin embargo, hay que tomar en cuenta otros factores como la ubicación del arrecife y de otras actividades que realizan a su alrededor.

**Tabla 7.** Factores de presión presentes en el SALT (Elaborado a partir de [Ortiz-Lozano et al., 2021](#)).

<b>Categoría</b>	<b>Problemática ambiental</b>	<b>Fuentes</b>	<b>Interna Externa</b>	<b>Natural Antropogénica</b>	<b>Fuentes de contaminación</b>
Procesos de contaminación.	Contaminación por petróleo y sus derivados.	Petróleo y subproductos transportados por corrientes marinas.	Externa	Antropogénica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explotación de hidrocarburos dentro del SALT.</li> <li>• Derrames accidentales de hidrocarburos en el área de influencia del sistema arrecifal.</li> <li>• Derrame de hidrocarburos por boyas de la termoeléctrica cercana al SALT.</li> <li>• Petróleo y subproductos transportados por corrientes marinas.</li> <li>• Derrame accidental de combustible por pequeñas embarcaciones.</li> <li>• Derrames accidentales de combustible de los botes.</li> </ul>
		Derrame accidental de combustibles por pequeñas embarcaciones	Interna	Antropogénica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descarga de aguas de sentina por las embarcaciones.</li> </ul>

## DISCUSIÓN

De acuerdo con el Dr. Adrián Fernández, expresidente del Instituto Nacional de Ecología, lograr el desarrollo sustentable del Golfo de México es uno de los mayores retos de México, debido a que implica conservar la riqueza de su biodiversidad y de sus ecosistemas en regiones donde se presentan actividad pesquera, industrial, comercial, agricultura extensiva y explotación de hidrocarburos ([Botello, 2005](#)).

Es de necesidad urgente la actualización del marco regulatorio mexicano en materia de legislación ambiental para incorporar nuevos convenios, normas y sanciones, así como la implementación de programas locales de educación ambiental para reforzar el cumplimiento de las normas y leyes establecidas, y al mismo tiempo fomentar la participación ciudadana ([Botello, 2005](#)).

Incrementar la extensión de las áreas naturales protegidas, hacia zonas aledañas con las cuales tengan estrecha relación ecológica, o que se encuentren gravemente afectadas para implementar un plan de restauración, así como contrarrestar y mitigar los múltiples efectos nocivos que afectan la degradación y pérdida de hábitat de los arrecifes de coral, replantear y formular nuevas leyes y programas gubernamentales es de necesidad urgente para salvaguardar y garantizar la permanencia en óptimas condiciones de los arrecifes de coral y sus relaciones simbióticas.

A pesar de que el derrame del Ixtoc-I ha sido el mayor accidente de derrame de hidrocarburos en el golfo de México, ayudó a generar conciencia sobre el riesgo de la industria petrolera que ocasiona a las comunidades y ecosistemas marino-costeros y propició la creación del primer programa de contingencia ante accidentes petroleros por parte de la NOAA ([NOAA, 1992a](#)).

En cuanto al derrame ocurrido en 1979 a consecuencia de la perforación del pozo en la Ixtoc-I, se han realizado exhaustivos estudios biológicos en la zona afectada a largo plazo, aunque lamentablemente los resultados de dichos estudios no han sido concluyentes. Por lo que solamente nos podemos basar en efectos teóricos y en las consecuencias observadas a corto plazo de acuerdo con [Jernelöv y Lindén \(2014\)](#).

Por su parte, investigadores del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) están trabajando para esclarecer el grado de vulnerabilidad ecológica de algunas regiones del Golfo de México, con el propósito de conocer cómo reaccionar ante un derrame de hidrocarburos, esto debido al derrame de la plataforma *Deep Water Horizon* ocurrido en 2010. Sin embargo, la Dra. Luz Erandi Saldaña Ruiz considera que evaluar el riesgo ecológico y la vulnerabilidad de la parte mexicana del Golfo de México es un gran reto debido a la alta diversidad de ecosistemas y especies que lo habitan ([García, 2020](#)).

Por otra parte, se sabe que los hidrocarburos derramados en el mar pasan por una serie de procesos conocidos como meteorización, los cuales modificarán sus características y su comportamiento. El conocer estos procesos y cómo interactúan para transformar a los hidrocarburos tiene un gran impacto en la prevención y tratamiento de los derrames. Estos procesos son los siguientes ([MITECO, 2022](#)):

- Propagación
- Deriva
- Evaporación
- Dispersión natural
- Emulsificación
- Otros procesos (disolución, oxidación, biodegradación, sedimentación)

Sin embargo, conocer con exactitud dichos procesos requiere de arduos estudios científicos para lo cual son necesarios infraestructura y materiales especiales y personal capacitado, así como recursos económicos que nuestro país no destina para tales fines.

Lo que hace falta en el SALT es un monitoreo ambiental por lo menos una vez al año mediante la realización de estudios de relaciones entre actividad industrial, fuentes de contaminación, contaminantes e impactos de acuerdo con los siguientes criterios: tipo de actividad industrial específica; zona de riesgo, instalación de impacto identificada y operación causante del impacto, operación específica de la instalación contaminante, contaminantes vertidos, medio receptor dentro del ecosistema, grupo biológico impactado, efectos del contaminante e intensidad de impacto sobre el grupo

biológico. Lo anterior con la finalidad de construir tablas informativas de impacto para cada actividad realizada en el área de estudio y llevar un registro del estado de salud del ecosistema y de esa manera poder tener un referente ante algún accidente por hidrocarburos. Tal como el estudio realizado en la Sonda de Campeche, México. ([García-Cuéllar et al., 2004](#)).

Finalmente, el difícil y costoso acceso a energías no contaminantes, asequibles y fiables son una limitante para el desarrollo social, económico y ambiental de México. Una solución adecuada y a largo plazo debería basarse en un modelo económico, político y sociocultural menos consumista y agresivo con el medio ambiente que favorezca la reducción del consumo de combustibles fósiles ([Blázquez, 2013](#)).

## CONCLUSIONES

El monitoreo constante mediante censos de distribución, abundancia, diversidad y salud en el Sistema Arrecifal Isla Lobos-Tuxpan (SALT), así como el mejoramiento de planes de contingencia, para que sean más adecuados y sofisticados para actuar en caso de un vertimiento de hidrocarburos ya sea por accidente o intencional debe ser el primer paso por seguir para proteger y actuar de manera inmediata ante una catástrofe de esta índole.

Para la conservación y el manejo sustentable de los recursos marinos y costeros del SALT es necesario aumentar la extensión de dicha Área Natural Protegida hacia el Sitio Ramsar 1602 Manglares y humedales de Tuxpan que bordean la región incluyendo a la laguna de Tamiahua.

De igual manera, para contrarrestar y mitigar los múltiples efectos nocivos que afectan la degradación y pérdida de hábitat de los arrecifes de coral ajenos a los derrames, se deben de replantear y formular nuevas leyes y programas gubernamentales y proyectos de educación ambiental tanto de iniciativa pública como privada, incluyendo la creación de una ONG para la protección de los arrecifes de coral incluyendo perspectivas humanas, socioeconómicas y socioculturales de la región.

Es complicado determinar un diagnóstico sobre el impacto ambiental que provoca la industria petrolera en el SALT y distinguirlos de los causados por factores naturales u otros impactos antropogénicos, debido a la falta de estudios y monitoreos constantes en donde se reporte su estado antes y después de un derrame o alguna otra afectación.

La deficiencia de la legislación mexicana en materia ambiental y la aplicación de esta, así como el escaso monitoreo constante de la zona es una limitante para conocer a ciencia cierta el impacto de los derrames petroleros, prevenirlos y resarcir el daño.

Para cualquier estudio de impacto ambiental es importante tener en cuenta la interdisciplinariedad de la ecología, la legislación ambiental, la química y la oceanografía física, química, biológica y geológica.

El conocimiento, la investigación y divulgación científica, la aplicación correcta e íntegra de la legislación, la reestructuración a la política ambiental en la cual se incluyan leyes específicas para la protección, restauración y sanciones específicas para salvaguardar a los arrecifes de coral del Golfo de México, la educación ambiental y la colaboración conjunta entre gobierno, sociedad, ONGs y científicos son y serán siempre el punto de partida para prevenir, afrontar, resarcir y desagaviar los daños a los arrecifes de coral, y en cualquiera de los casos anteriores en cooperación con una buena estrategia de gobernanza.

## REFERENCIAS

- Alvarez-Filip, L., Estrada-Saldívar, N., Pérez-Cervantes, E., González-Barrios, F. J., Secaira Fajardo, F. (2021). Comparative analysis of risks faced by the world's coral reefs. UNAM-The Nature Conservancy. Recuperado de: <https://reefresilience.org/wp-content/uploads/Comparative-analysis-of-risks-faced-by-the-worlds-coral-reefs.pdf> Consultado agosto 2022.
- Árcega Cabrera, F., y Dótor Almazán, A. (Eds.) (2021). Hidrocarburos. 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 IV), México: Consorcio de Investigación del Golfo de México. Recuperado de: [https://atlasdigom.cicese.mx/map\\_data/T004/ATLAS-TOMO-04.pdf](https://atlasdigom.cicese.mx/map_data/T004/ATLAS-TOMO-04.pdf) Consultado agosto 2022.
- Astorga Moar, Alejandro. (2017). Variación en la dinámica litoral bajo escenarios predictivos de degradación de arrecifes. Tesis de Maestría, Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. 95 pp. [file:///C:/Users/Alejandro/Downloads/Variacion en la dinamica litoral bajo escenarios p.pdf](file:///C:/Users/Alejandro/Downloads/Variacion%20en%20la%20dinamica%20litoral%20bajo%20escenarios%20p.pdf)
- BBC mundo. (2014). El derrame de Golfo de México en cifras. Recuperado de: [https://www.bbc.com/mundo/internacional/2010/06/100602\\_derrame\\_petroleo\\_b\\_p\\_cifras\\_golfo\\_mexico\\_amab](https://www.bbc.com/mundo/internacional/2010/06/100602_derrame_petroleo_b_p_cifras_golfo_mexico_amab). Consultado octubre 2022.
- Beltrán Barrón, N.D. (2018). Identificación de señales atrapadas al talud en el Golfo de México relacionadas con la Corriente de Lazo y sus remolinos a partir de simulaciones numéricas. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 34 pp. Recuperado de: <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/2434>
- Blázquez-Sainz, A. C. (2013). Administración de recursos energéticos derivados de combustibles fósiles en México. Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16898/25-1-16547.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Consultado septiembre 2022.
- Botello, A. V. (Ed.). (2005). Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. Univ. J. Autónoma de Tabasco.
- Bozada-Robles, L. M., & Namihira-Santillán, P. E. (2005). El derrame de petróleo del 22 de diciembre de 2004 en la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos: estudio de caso. Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 681-695. Recuperado de: <https://epomex.uacam.mx/view/download?file=14/Golfo%20de%20Me%CC%81xico%20Contaminacio%CC%81n%20e%20Impacto%20Ambiental%20Diagno%CC%81stico%20y%20Tendencias%20.pdf&tipo=paginas> Consultado noviembre 2022.
- Burke, L., & Maidens, J. (2005). Arrecifes en peligro. Recuperado de [http://pdf.wri.org/arrecifesen\\_peligro.pdf](http://pdf.wri.org/arrecifesen_peligro.pdf) Consultado noviembre 2022.

- Caso, M., Pisantry, I., & Ezcurra, E. (Eds.). (2004). Diagnóstico ambiental del Golfo de México (Vol. 1). Instituto Nacional de Ecología.
- CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres). (2019). Pozo Ixtoc-1, el mayor derrame de petróleo en el mar ocurrido en México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/pozo-ixtoc-i-el-mayor-derrame-de-petroleo-en-el-mar-ocurrido-en-mexico> Consultado septiembre 2022.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2022a). Arrecifes. Recuperado de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/arrecifes> Consultado agosto 2022.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2022b). Biodiversidad Mexicana. Áreas Protegidas. Recuperado de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/region/areasprot>. Consultado septiembre 2022.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2015) Recuperado de: <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/areas-naturales-protegidas-51333> Consultado septiembre 2022.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2018). Recuperado de: <https://www.gob.mx/conanp/documentos/region-planicie-costera-y-golfo-de-mexico?state=published> Consultado: septiembre 2022.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2022). Recuperado de: <https://www.gob.mx/conanp/que-hacemos> Consultado septiembre 2022.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2022). Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, ficha técnica Recuperado de: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=132> Consultado marzo 2023.
- Coral Reef Alliance. (2022). Coral Reef 101, Global Threats. Recuperado de: <https://coral.org/es/coral-reefs-101/global-threats/> Consultado agosto 2022.
- Coral Reef Alliance. (2023a). Pólipos de Coral. Recuperado de <https://coral.org/es/coral-reefs-101/coral-polyyps/#:~:text=Los%20p%C3%B3lipos%20de%20coral%20son,conforman%20un%20arrecife%20de%20coral>. Consultado febrero 2023.
- Coral Reef Alliance. (2023b). Tipos de formaciones de arrecifes de coral. Recuperado de: <https://coral.org/es/coral-reefs-101/types-of-coral-reef-formations/> Consultado febrero 2023.
- De la Lanza Espino, G., Pérez, M. A. O., & Pérez, J. L. C. (2013). Diferenciación hidrogeomorfológica de los ambientes costeros del Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, 2013(81), 33-50.
- Dicks B (1999) The Environmental Impact of Marine Oil Spills. Effects, Recovery and Compensation. International Seminar on Tanker Safety, Pollution Prevention, Spill Response and Compensation. Rio de Janeiro, Brazil. pp. 1-8.

- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2014). Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan., SEGOB, CDMX, DOF, 06/01/2014. Recuperado de: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5328873&fecha=06/01/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5328873&fecha=06/01/2014) Consultado agosto 2022.
- Encilovida. (2023). Coral blando *Plexaura flexuosa*. Recuperado de <https://encilovida.mx/especies/45557> Consultado en marzo 2023.
- Environment Canada (2003) An alternate approach to VOC speciation reporting. Recuperado de: [www.ec.gc.ca/pdb](http://www.ec.gc.ca/pdb)
- Estado de Veracruz. (2023). Recuperado de: <https://mapas.org.mx/estado-de-veracruz/>
- Espina S, Vanegas C (1996) Ecofisiología y contaminación. En Botello AV, Rojas-Galaviz JL, Benítez JA, Zárata Lomelí D (Eds.) Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. EPOMEX. Serie Científica N°5. Universidad Autónoma de Campeche. México. pp. 45-68.
- Fonseca Aldana, M. L. (2020). Un mundo sin corales. Consultado sept 2022. Recuperado de: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/51621/23106.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Consultado septiembre 2022.
- García, J. (2020) Analizan vulnerabilidad del Golfo de México ante un derrame de petróleo. El imparcial. Recuperado de: <https://www.elimparcial.com/tijuana/ensenada/Analizan-vulnerabilidad-del-Golfo-de-Mexico-ante-un-derrame-de-petroleo-20200619-0020.html> Consultado octubre 2022.
- García-Cuéllar, J. Á., Arreguín-Sánchez, F., Hernández Vázquez, S., & Lluch-Cota, D. B. (2004). Impacto ecológico de la industria petrolera en la Sonda de Campeche, México, tras tres décadas de actividad: una revisión. *Interciencia*, 29(6), 311-319.
- García-Cuéllar, J. Á., Arreguín-Sánchez, F., Hernández Vázquez, S., & Lluch-Cota, D. B. (2004). Impacto ecológico de la industria petrolera en la Sonda de Campeche, México, tras tres décadas de actividad: una revisión. *Interciencia*, 29(6), 311-319. Recuperado de: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442004000600006](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442004000600006)
- Granados-Barba, A., Ortiz-Lozano, L., González-Gándara, C., & Salas-Monreal, D. (2019). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Recuperado de: <https://epomex.uacam.mx/view/download?file=14/CASGM2019.pdf&tipo=paginas> Consultado agosto 2022.
- GEVIL (Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave). (2015). Secretaria de Finanzas y Planeación. Estudios regionales para la huasteca baja. Región huasteca baja. Recuperado de: <http://www.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/2/2015/12/PR-Huasteca-Baja-2015.pdf> Consultado marzo 2023.

- Iglesias, E. P. (2003). Petróleo y gas natural (Vol. 5). Ediciones Akal.
- INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal). (2022). Estado de Veracruz. Recuperado de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM30veracruz/municipios/30189a.html#:~:text=Se%20encuentra%20ubicado%20en%20la,sur%20Tihuatlan%20y%20Poza%20Rica> Consultado en junio 2022.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) (2018a). El Golfo de México. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/448/8.pdf> Consultado agosto 2022.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). (2018b). Monitoreo Ambiental de Golfo de México 2010-2017. Recuperado de: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/monitoreo-ambiental-del-golfo-de-mexico-2010-2017> Consultado junio 2022.
- INECOL. (2017). Áreas Naturales Protegidas, un reto mundial. Recuperado de: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2017-06-26-16-35-48/17-ciencia-hoy/398-areas-naturales-protegidas-un-reto-mundial> Consultado septiembre 2022.
- INECOL (Instituto Nacional de Ecología). (2018). Monitoreo ambiental del Golfo de México 2010-2017. Recuperado de: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/monitoreo-ambiental-del-golfo-de-mexico-2010-2017>. Consultado agosto 2022.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2022) Veracruz de Ignacio de la Llave. INEGI. Recuperado de: <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/> Consultado en junio 2022.
- Inman, D. L., & Nordstrom, C. E. (1971). On the tectonic and morphologic classification of coasts. *The Journal of Geology*, 79(1), 1-21. Recuperado de <https://doi.org/10.1086/627583> Consultado
- Instituto Oceanográfico. Fundación Alberto I príncipe de Mónaco. ¿Hay coral en el mediterráneo? Recuperado de: <https://www.oceano.org/es/oceano-en-cuestion/hay-coral-en-el-mediterraneo/> Consultado marzo 2023.
- IPIECA (1997) Biological impacts of oil pollution: fisheries. Report Series, Vol. 8. International Petroleum Industry Environmental Conservation Association. 28 pp
- Jernelöv, A., & Lindén, O. (1981) (2014). Ixtoc I: a case study of the world's largest oil spill. *Ambio*, 299-306. Consultado octubre 2022.
- Kennish MJ (1997) Practical Handbook of Estuarine and Marine Pollution. CRC. Nueva York, EEUU. 315 pp.
- La opinión de Poza Rica. (2018). Legado de daños en Isla de Lobos. Recuperado de: <https://www.laopinion.net/legado-de-danos-en-isla-de-lobos/> Consultado octubre 2022.

- Lara-Domínguez, A. L.; J. López-Portillo; A. Ávila-Ángeles y A. D. Vázquez-Lule. Caracterización del sitio de manglar Tuxpan, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), 2009. Recuperado de: [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/caracterizacion/GM5\\_6\\_Tuxpan\\_caracterizacion.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/caracterizacion/GM5_6_Tuxpan_caracterizacion.pdf)
- Lemus, J. L. C., Torres-García, P., & Frías, M. (1987). El océano y sus recursos: Bentos y necton. SEP.
- Manfrino, C. (2017). Can we save coral reefs? United Nations <https://www.un.org/es/chronicle/article/podemos-salvar-los-arrecifes-de-coral#:~:text=Los%20arrecifes%20del%20futuro%20ser%C3%A1n,de%20los%20arrecifes%20est%C3%A1%20amenazado> Consultado agosto 2022
- Martínez, E. (2021). ¿Qué son los arrecifes y para qué sirven? OCEANA. Recuperado de: <https://mx.oceana.org/blog/que-son-los-arrecifes-y-para-que-sirven/> Consultado agosto 2022
- MITECO (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico). (2022). Recuperado de: [https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/plan-ribera/contaminacion-marina-accidental/petroleo\\_y\\_comportamiento.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/plan-ribera/contaminacion-marina-accidental/petroleo_y_comportamiento.aspx) Consultado noviembre 2022.
- National Geographic España (2016). La Gran Barrera de Arrecifes de Australia: maravilla en peligro. Medio Ambiente. Recuperado de: [https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/grandes-reportajes/gran-barrera-arrecifes-australia-maravilla-peligro\\_4270](https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/grandes-reportajes/gran-barrera-arrecifes-australia-maravilla-peligro_4270) Consultado marzo 2023.
- National Geographic España (2022). Esto es lo que cuesta limpiar de plástico un arrecife de coral. Medio Ambiente. Recuperado de: [https://www.nationalgeographic.com.es/medio-ambiente/esto-es-lo-que-cuesta-limpiar-de-plastico-un-arrecife-de-coral\\_15888](https://www.nationalgeographic.com.es/medio-ambiente/esto-es-lo-que-cuesta-limpiar-de-plastico-un-arrecife-de-coral_15888) Consultado marzo 2023.
- Narciso-Ortiz, L., Vargas-García, K. A., Vázquez-Larios, A. L., Quiñones-Muñoz, T. A., Hernández-Martínez, R., & Lizardi-Jiménez, M. A. Cuencas y sistemas arrecifales del Golfo de México en el estado de Veracruz: Contaminación por hidrocarburos y biorremediación. MESA DIRECTIVA, 54.
- NAS (2003) Oil in the sea III. Inputs, fates and effects. National Academy of Sciences. The National Academies Press. Washington, DC, EEUU. 265 pp
- NOAA (1992a) Oil spills, case histories 1967- 1991. Summaries of Significant US and International Spills. Hazardous Material Response and Assessment Division. National Oceanic and Atmospheric Administration. Washington, DC, EEUU. 224 pp
- NOAA (1992b) An Introduction to Coastal Habitats and Biological Resources for Oil Spill JUN 2004, VOL. 29 N° 6 319 Response. Hazardous Material Response and Assessment Division. National Oceanic and Atmospheric Administration. Washington, DC, EEUU. 401 pp.

- OEC (Observatorio de la complejidad económica). Petróleo crudo en México. Recuperado de: <https://oec.world/es/profile/bilateral-product/crude-petroleum/reporter/mex> Consultado marzo 2023.
- Ortiz Pérez, M. A. y G. de la Lanza Espino (2006). Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional, Serie Textos universitarios, Instituto de Geografía, UNAM, p. 138
- Ortiz-Lozano, L., C. Colmenares-Campos y A.L. Gutiérrez-Velázquez. (2019). Arrecifes Sumergidos y su Relevancia para el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México, p. 1-36. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319. Recuperado de: Consultado
- Ortiz-Lozano, L., Esponda, F. X. M., & Hensler, L. (2021). El Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México: retos y oportunidades para su protección y manejo. Recuperado de: <https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2021/10/El-corredor-arrecifal-del-sur-del-golf-de-mexico-retos-y-oportunidades-para-su-proteccion.pdf> Consultado julio 2022.
- Ortuño Arzata, S. (2021). El mundo del petróleo: origen, usos y escenarios. Fondo de Cultura Económica.
- Pérez-Cervantes, Esmeralda, et al. (2017). Estado de conservación de los arrecifes de coral de la Península de Yucatán. Green Peace, 24p. Recuperado de: <https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2018/11/73265866-73265866-arrecifes-reporte.pdf> Consultado septiembre 2022
- Plitt, L. (2010). ¿Cuál es el verdadero impacto de un derrame de petróleo? BBC Mundo. Recuperado de: [https://www.bbc.com/mundo/internacional/2010/04/100428\\_derrame\\_petroleo\\_claves\\_lp](https://www.bbc.com/mundo/internacional/2010/04/100428_derrame_petroleo_claves_lp) Consultado julio 2022.
- PROFECO (Procuraduría Federal del Consumidor). (2015). Normas Oficiales Mexicanas de la Procuraduría Federal del Consumidor. Recuperado de: <https://www.profeco.gob.mx/juridico/noms.asp>. Consultado agosto 2022.
- Ramírez, P. (2021). Pemex registra 176 derrames y fugas de alto impacto ambiental de 2018 a 2021, Causa Natura. Recuperado de: <https://causanatura.org/periodismo-cn/pemex-registra-176-derrames-y-fugas-de-alto-impacto-ambiental-de-2018-a-2021> Consultado octubre 2022.
- Reef Resilience (2022). Invertebrados. Recuperado de: <https://reefresilience.org/es/stressors/invasive-species/invertebrates/#:~:text=Los%20invertebrados%20marinos%20comunes%20incluyen,mar%2C%20erizos%20de%20mar>) Consultado agosto 2022
- Rodríguez I. (2015). Incendio en la plataforma Abkatun impactó la extracción de petróleo. La jornada. Economía. Recuperado de:

- <https://www.jornada.com.mx/2015/04/10/economia/029n2eco> Consultado octubre 2022.
- Roux, R., & Flores Torres, O. (2015). Los hidrocarburos en el noreste de México. Recuperado de: <http://www.coltam.edu.mx/wp-content/uploads/2016/09/2015-HIDROCARBUROS-EN-EL-NORESTE-DE-MEXICO-.pdf> Consultado agosto 2022.
- SECTUR, Veracruz. (2018). Nuestro estado, Dirección general de Innovación Tecnológica, gobierno del Estado de Veracruz. Recuperado de: <http://www.veracruz.gob.mx/turismo/nuestro-estado/> Consultado en junio 2022.
- SEMAR (Secretaria de Marina). (2022). Tuxpan, Veracruz. Recuperado de: <https://digaohm.semar.gob.mx/derrotero/cuestionarios/cnarioTuxpan.pdf> Consultado junio 2022.
- SEMARNAT, C. (2016). Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan.
- SEMARNAT (Secretaria de Medioambiente y Recursos Naturales). (2022). El medio ambiente en México 2013-2014. Conservación de la biodiversidad: áreas naturales protegidas y humedales Ramsar. Recuperado de: [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_resumen14/04\\_biodiversidad/4\\_5.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/04_biodiversidad/4_5.html) Consultado septiembre 2022.
- SGM (Servicio Geológico Mexicano). (2017). Características del Petróleo. Recuperado de: [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Caracteristicas-del-petroleo.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Caracteristicas-del-petroleo.html) Consultado agosto 2022.
- SIMEC (Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación). (2022). Ficha técnica del programa de manejo CONANP del sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Recuperado de: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=132&reg=5> Consultado septiembre 2022.
- Toppr. Chemistry Formula. Hexane formula. (2023). Recuperado de: <https://www.toppr.com/guides/chemistry-formulas/hexane-formula/>
- Turner, N. R., & Renegar, D. A. (2017). Petroleum hydrocarbon toxicity to corals: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 119(2), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.050> Consultado agosto 2022
- Uribe-Martínez, A., Aguirre-Gómez, R., Zavala-Hidalgo, J., Ressi, R., & Cuevas, E. (2019). Unidades oceanográficas del Golfo de México y áreas adyacentes: La integración mensual de las características biofísicas superficiales. *Geofísica internacional*, 58(4), 295-315. Epub 07 de octubre de 2020., Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0016-71692019000400295&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-71692019000400295&lng=es&tlng=es) . Consultado junio 2022