

REGIONES, ESPECIES Y ECOSISTEMAS VULNERABLES ANTE DERRAMES DE PETRÓLEO DE GRAN ESCALA EN EL GOLFO DE MÉXICO

Paula Pérez Brunius y M. Leopoldina Aguirre Macedo

(COORDINADORES GENERALES)

ANEXO AL RESUMEN EJECUTIVO

CONSORCIO DE INVESTIGACIÓN DEL GOLFO DE MÉXICO (CIGoM)

Anexo 1

Lista de especies marinas evaluadas. Se incluyen las categorías de protección de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (NOM-059) y de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). Categorías NOM-059: P = en peligro de extinción, Pr = sujeto a protección especial, A = especie amenazada. Categorías IUCN: NE = no evaluada, DD = datos deficientes, LC = preocupación menor, NT = casi amenazada, VU = vulnerable, EN = en peligro de extinción, CR = en peligro crítico de extinción.

Grupo	Nombre común	Nombre científico	NOM-059	IUCN
Invertebrados	Camarón café	<i>Farfantepenaeus aztecus</i>		NE
	Camarón blanco del golfo	<i>Penaeus setiferus</i>		NE
	Pulpo maya	<i>Octopus maya</i>		LC
	Langosta del caribe	<i>Panulirus argus</i>		DD
	Caracol rosado	<i>Strombus gigas</i>		NE
	Ostión de Virginia	<i>Crassostrea virginica</i>		NE
	Jaiba azul	<i>Callinectes sapidus</i>		NE
	Almeja gallito	<i>Rangia cuneata</i>		NE
	Caracol tomburro	<i>Turbinella angulata</i>		NE
	Almeja de fango	<i>Polymesoda caroliniana</i>	Pr	NE
	Cacerola de mar	<i>Limulus polyphemus</i>	P	VU
	Caracol blanco	<i>Lobatus costatus</i>		NE
	Pepino de mar	<i>Fasciolaria tulipa</i>		NE
	estrella de mar	<i>Oreaster reticulatus</i>		NE
	Erizo diadema	<i>Diadema antillarum</i>		NE
Aves	Pato real	<i>Cairina moschata</i>	Pr	LC
	Playero blanco	<i>Calidris alba</i>		LC
	Chorlo chiflador	<i>Charadrius melodus</i>	P	NT
	Charrán negro	<i>Chlidonias niger</i>		LC

	Bobo enmascarado	<i>Sula dactylatra</i>		LC
	Pelícano café	<i>Pelecanus occidentalis</i>		LC
	Cormorá neotropical	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>		LC
	Fragata tijereta	<i>Fregata magnificens</i>		LC
	Garza rojiza	<i>Egretta rufescens</i>	P	NT
	Vuelvepiedras rojizo	<i>Arenaria interpres</i>		LC
	Espátula rosada	<i>Platalea ajaja</i>		LC
	Cigüeña Jabirú	<i>Jabiru mycteria</i>	P	LC
	Flamenco rosado	<i>Phoenicopus ruber</i>	A	LC
	Agachona norteamericana	<i>Gallinago delicata</i>		LC
	Rascón real	<i>Rallus elegans</i>	A	NT
	Carrao	<i>Aramus guarauna</i>	A	LC
	Chorlo nevado	<i>Charadrius nivosus</i>	A	NT
	Ostrero americano	<i>Haematopus palliatus</i>		LC
	Falaropo pico largo	<i>Phalaropus tricolor</i>		LC
	Playero rojo	<i>Calidris canutus</i>		NT
	Salteador robusto	<i>Stercorarius pomarinus</i>		LC
	Gaviota reidora	<i>Leucophaeus atricilla</i>		LC
	Rayador americano	<i>Rynchops niger</i>		LC
	Charrán Albinegro	<i>Onychoprion fuscatus</i>		LC
Tortugas marinas	Tortugas caguama	<i>Caretta caretta</i>	P	VU
	Tortuga verde	<i>Chelonia mydas</i>	P	EN
	Tortuga de carey	<i>Eretmochelys imbricata</i>	P	CR
	Tortuga lora	<i>Lepidochelys kempii</i>	P	CR
Peces costeros	Peje puerco blanco	<i>Balistes capriscus</i>		VU
	Caballito de mar estriado	<i>Hippocampus erectus</i>	Pr	VU
	Xlavitia	<i>Lagodon rhomboides</i>		LC

	Huachinango del golfo	<i>Lutjanus campechanus</i>		VU
	Cazón de ley	<i>Rhizoprionodon terraenovae</i>		LC
	Tiburón aleta negra	<i>Carcharhinus brevipinna</i>		NT
	Raya mariposa	<i>Gymnura micrura</i>		DD
	Raya látigo de espina	<i>Hypanus sabinus</i>		LC
	Raya látigo americana	<i>Hypanus americanus</i>		DD
	Raya gavián	<i>Rhinoptera bonasus</i>		NT
	Manta chucho pintado	<i>Aetobatus narinari</i>		NT
	Tiburón chato	<i>Carcharhinus leucas</i>		NT
	Cornuda gigante	<i>Sphyrna mokarran</i>		CR
	Cornuda cabeza de pala	<i>Sphyrna tiburo</i>		LC
	Manta cornuda	<i>Mobula birostris</i>	Pr	VU
	Corvina roja	<i>Sciaenops ocellatus</i>		LC
	Lenguado	<i>Achirus lineatus</i>		LC
	Perca	<i>Orthopristis chrysoptera</i>		LC
	Corvina pinta	<i>Cynoscion nebulosus</i>		LC
	Curvina blanca	<i>Bairdiella chrysoura</i>		LC
	Mojarra del Golfo	<i>Eucinostomus gula</i>		LC
Peces pelágicos mayores	Peto	<i>Acanthocybium solandri</i>		LC
	Barrilete	<i>Katsuwonus pelamis</i>		LC
	Albacora	<i>Thunnus alalunga</i>		NT
	Atún aleta amarilla	<i>Thunnus albacares</i>		NT
	Atún aletas negras	<i>Thunnus atlanticus</i>		LC
	Atún ojón	<i>Thunnus obesus</i>		NT
	Aún aleta azul	<i>Thunnus thynnus</i>		EN
	Pez vela del Atlántico	<i>Istiophorus albicans</i>		LC
	Marlín azul	<i>Makaira nigricans</i>		EN
	Pez espada	<i>Xiphias gladius</i>		LC
	Tiburón zorro ojón	<i>Alopias superciliosus</i>		VU

	Tiburón zorro común	<i>Alopias vulpinus</i>		VU
	Tiburón sedoso	<i>Carcharhinus falciformis</i>		VU
	Tiburón puntas negras	<i>Carcharhinus limbatus</i>		NT
	Tiburón oceánico puntas blancas	<i>Carcharhinus longimanus</i>		CR
	Tiburón trozo	<i>Carcharhinus plumbeus</i>		VU
	Tintorera	<i>Galeocerdo cuvier</i>		NT
	Tiburón mako aletas cortas	<i>Isurus oxyrinchus</i>		EN
	Tiburón ballena	<i>Rhincodon typus</i>	A	EN
	Cornuda común	<i>Sphyrna lewini</i>		CR
Mamíferos marinos	Manatí antillano	<i>Trichechus manatus ssp. manatus</i>	P	EN
	Cachalote	<i>Physeter macrocephalus</i>	Pr	VU
	Cachalote enano	<i>Kogia sima</i>	Pr	DD
	Calderón tropical	<i>Globicephala macrorhynchus</i>	Pr	LC
	Delfín de dientes rugosos	<i>Steno bredanensis</i>	Pr	LC
	Delfín de Risso	<i>Grampus griseus</i>	Pr	LC
	Delfín moteado del Atlántico	<i>Stenella frontalis</i>	Pr	LC
	Delfín moteado pantropical	<i>Stenella attenuata</i>	Pr	LC
	Delfín listado	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Pr	LC
	Delfín tornillo	<i>Stenella longirostris</i>	Pr	LC
	Delfín Clymene	<i>Stenella clymene</i>	Pr	LC
	Tonina	<i>Tursiops truncatus</i>	Pr	LC

LOGROS DEL TOMO 1: Escenarios oceánicos y atmosféricos de un derrame de petróleo en aguas profundas del golfo de México

Principales Logros	Características generales	Para qué es útil?
<p>Desarrollo de una metodología para la construcción de escenarios de derrame de petróleo</p>	<p>Permite generar escenarios de derrame de gran escala en el mar y sus emisiones a la atmósfera, dadas la localización del pozo en aguas profundas, la cantidad de hidrocarburo liberado al mar o a la atmósfera, la duración del derrame, y el tiempo en que se analiza la evolución de los contaminantes en el medio.</p> <p>La metodología incluye el cálculo de un número grande de simulaciones individuales para las diferentes condiciones oceánicas y atmosféricas y lo que se presenta son métricas calculadas a partir de los resultados promedio del transporte de hidrocarburos/partículas en todas las simulaciones. Esta estrategia disminuye la incertidumbre asociada a los mapas finales a costa de especificidad.</p> <p>Utiliza como insumos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Condiciones preestablecidas del incidente de derrame, principalmente la localización del pozo, el flujo y tipo de hidrocarburos derramados al mar o insertados por volatilización directa y combustión a la atmósfera, la duración del derrame, y la duración del periodo en que se analiza la evolución de los hidrocarburos en el medio. 2. Los ensambles estadísticos una vez elegidas las condiciones del accidente nombradas en (1), se agrupan en: 	<p>Para determinar las regiones del golfo de México que pudieran verse afectadas en caso de un derrame de petróleo de gran escala en un pozo en aguas profundas, así como los tiempos de arribo de los contaminantes, para distintas temporadas del año (caso oceánico) y para condiciones meteorológicas similares (caso atmósfera). Se pueden elegir otro tipo de condiciones oceánicas o meteorológicas para generar los ensambles estadísticos que conforman los escenarios.</p> <p>Son una herramienta de apoyo principalmente para la mitigación de desastres en materia de derrames de hidrocarburos y la elaboración de planes de contingencia ambientales. No así para la respuesta operativa ante un siniestro.</p> <p>Para generar escenarios de derrame necesarios para sus análisis de riesgo previo a la exploración o explotación de yacimientos en aguas profundas.</p> <p>La metodología es complementaria a simular un derrame en tiempo real. Los resultados generados son útiles para incorporar en planes de atención a contingencias, que permitan estar preparados para atender una contingencia de derrame, mientras se desarrollan modelos de pronóstico a utilizarse durante el siniestro.</p>

- a. Temporada de nortes, secas y lluvias, así como el ensamble global (independiente de la época del año) para el océano.
 - b. Condiciones de brisas de primavera, verano, otoño, invierno; suradas; nortes; y ciclones tropicales para la atmósfera.
3. Para generar los derrames individuales de los ensambles estadísticos que conforman los escenarios, se requieren 20 años de simulación de modelos hidrodinámicos del océano y de la atmósfera, además de modelos de derrame que simulen el movimiento, dispersión y decaimiento de los hidrocarburos en el medio.
 4. La evolución del petróleo se obtiene en la capa superficial del mar (primeros 20m de la columna de agua) y en la capa planetaria de la atmósfera (primeros ~1000 m de altura).

Las métricas utilizadas son análogas y representativas de lo que a día de hoy utiliza la industria petrolera para generar escenarios de derrame y son las siguientes

1. La fracción de masa promedio máxima, a una escala espacial de un $\frac{1}{4}$ grado de resolución. El valor del 0.1% de esta variable define el perímetro del área dentro de la cual es más probable que arribe petróleo o contaminante atmosférico.
2. El tiempo de arribo es una estimación del momento en que podría empezar a llegar el contaminante. Se maneja a escalas temporales de días para el caso

Esta herramienta resulta de gran utilidad dado que puede refinarse para usar otras métricas específicas que sirvan para resolver determinados problemas. Por ejemplo, pueden definirse métricas basadas no solo en la masa total de hidrocarburos derramados sino en ciertas componentes del mismo, o en concentraciones que sean de interés por su toxicidad. Es válida también para su aplicación a problemas de transporte de contaminantes, así como ajustarse hacia otro tipo de problemas ambientales como son la llegada de mantos de sargazo a zonas de interés turístico o de valor ecológico.

	<p>oceánico y horas para el caso atmosférico.</p> <p>3. Métrica adicional para el problema atmosférico que consiste en la altura promedio de partículas dentro de la capa planetaria. Es necesaria esta métrica adicional dado que para el caso atmosférico se ha considerado el problema tridimensional (altura de la pluma y desplazamiento horizontal).</p> <p>4. Incertidumbre asociada al escenario generado. Esto es, una métrica que permite evaluar la probabilidad de que un derrame individual, que ocurra bajo condiciones atmosféricas e hidrodinámicas particulares, se encuentre contenido dentro del área establecida por el escenario estadístico. Esta incertidumbre no se debe a un problema metodológico, más bien está asociada a la alta variabilidad natural del sistema, que hace que cada derrame individual sea único y muy particular.</p>	
<p>Escenarios de derrame de petróleo de gran magnitud para seis pozos en aguas profundas del golfo de México occidental, caso del medio marino</p>	<p>Constituye un estadístico basado en un conjunto de derrames individuales generados bajo la mayor cantidad de condiciones hidrodinámicas posibles, agrupados en ensambles correspondientes a temporadas del año.</p> <p>Se utilizó una aproximación multimodelo para obtener resultados más robustos y vislumbrar la incertidumbre en los escenarios generados. Esta se basa en 20 años de simulación de tres modelos de circulación oceánica (ROMS; HYCOM; NEMO), así como tres modelos de</p>	<p>Constituyen una aplicación de la metodología desarrollada, y permiten determinar las regiones más probablemente afectadas ante un derrame de petróleo en los seis pozos hipotéticos del oeste del Golfo de México.</p> <p>Los mapas que se incluyen en el libro se seleccionaron también con la intención de que sirvan de guía de interpretación de todos los 432 mapas que se incluyen en la base de datos.</p>

derrame de petróleo con diferentes niveles de complejidad en cuanto a los procesos de transporte, degradación y evolución de petróleo incorporados, así como en el costo computacional de su implementación (CIC-OIL, OilSpill, y PetroTrans). Los modelos de circulación oceánica y los modelos de derrame se desarrollaron por el consorcio y forman parte del “Sistema integral de modelación numérica acoplada de derrames de hidrocarburos en el Golfo de México”.

Contemplan escalas temporales de días hasta dos meses desde iniciado el incidente, y escalas espaciales del orden de decenas a cientos de kilómetros.

Se generaron utilizando condiciones iniciales tomadas de casos conocidos: flujo intermedio entre derrames de Deep Water Horizon e Ixtoc (40kg/s), tres tipos de petróleo con base en sus características genéricas (ligero, mediano o pesado), condiciones de la explosión similares a las de otros accidentes, y una duración de 15 días en que el petróleo se derramó. Esta última condición es quizá optimista, pero se demostró que los escenarios para duraciones mayores tienen un área de posible influencia y tiempos de arribo similares, dado el criterio del 0.1% de fracción de masa máxima utilizado para definir esa área.

La evolución del derrame se analizó por 60 días desde iniciado el incidente. Bajo las condiciones utilizadas, no se formaron plumas a media agua y todo el petróleo subió a la superficie del mar,

Sirven como guía de lo que podría ocurrir en pozos cercanos a los analizados en el oeste de golfo de México ya que no se esperan resultados muy diferentes en un radio grande alrededor de los puntos hipotéticos. Con los resultados de los análisis se identificaron regiones que tienen comportamientos similares en términos de liberación de trazadores. Si bien el estudio se hizo para 6 puntos, el análisis puede extenderse racionalmente hacia una política de prevención y mitigación de derrames regional, o a nivel ecológico, pueden ser la base para estructurar una política de mediano y largo plazo.

Los resultados sugieren en qué sitios la actividad petrolera en aguas profundas del oeste del golfo de México podría causar impacto tanto en la costa, plataforma continental o la zona de aguas profundas en caso de derrames. Por ende, los escenarios generados son insumos que permiten establecer posibles impactos en el ecosistema a diversos niveles jerárquicos (especies, grupos, familias, hábitats, poblaciones, ver logros Tomo II y Tomo III). Esto constituye una herramienta útil para las dependencias gubernamentales de protección ambiental (CONANP Y CONABIO por ejemplo), al momento de la elaboración de planes de protección frente a contingencia ambiental en la etapa de planeación temprana y distribución de recursos que idealmente deben incorporarse a planes de atención ante contingencias petroleras.

También es una herramienta que puede ser utilizada por los sectores de la salud pública y protección civil como guía para emitir alertas a la

por lo que los escenarios se obtuvieron para los primeros 20m de la columna de agua.

Contemplan escalas temporales de días hasta dos meses desde iniciado el incidente, y escalas espaciales del orden de decenas a cientos de kilómetros.

Cartografía del GoM con más de 400 mapas que identifican el área que pudiera verse afectada, así como los posibles tiempos de arribo, si ocurriera un derrame de petróleo en seis pozos profundos en el oeste del golfo de México occidental, para tres temporadas del año (lluvias, nortes y secas) y un estadístico global que es independiente de la temporada del año, así como 3 tipos de genéricos de petróleo (ligero, mediano y pesado). Resolución espacial de 1/4 de grado y resolución temporal de 1 día. Esto se hizo para diferentes combinaciones de modelos de derrame.

Se realizó un análisis para establecer qué tan sensibles son los escenarios generados a la elección del modelo de circulación y al modelo de derrame utilizados.

Se realizó un análisis para establecer qué tan sensibles son los escenarios generados a la localización del pozo, la temporada del año en que ocurre el siniestro, y al tipo de petróleo derramado.

El análisis permitió elegir los escenarios más representativos para encontrar las regiones geográficas que más pudieran verse afectadas si hubiera derrames en cada uno de los seis

población en caso de derrame. Algunos ejemplos serían:

- Sugerir evitar consumo de marisco y otros organismos que acumulan contaminantes relacionados al petróleo, provenientes de regiones con mayor afectación de petróleo.
- Se puede recomendar a la población que no asista a playas con alta posibilidad de recibir petróleo en caso de derrame.
- Evitar la pesca en sitios con alta posibilidad de recibir petróleo.

	<p>pozos analizados. Esta selección está comprendida por 50 mapas.</p>	
<p>Base de datos de derrames individuales y escenarios de derrame generados para los seis pozos.</p>	<p>Contiene ejemplos de derrames individuales así como los ensambles estadísticos de todos los escenarios generados, incluidos los que se utilizaron para establecer las regiones geográficas que pudieran verse afectadas tras un derrame de gran escala en cada uno de los seis pozos analizados.</p> <p>Pueden consultarse en la plataforma http://modelacion.cigom.org/</p>	<p>Permite ver en detalle casos particulares y periodos de tiempo en específico para el caso de los derrames individuales.</p> <p>Los valores numéricos de los escenarios, disponibles en la base de datos, permiten ser utilizados para realizar otro tipo de análisis, así como cálculo de otras métricas.</p>
<p>Escenarios de derrame de petróleo de gran magnitud para seis puntos de emisión en aguas profundas del Golfo de México occidental, caso de la atmósfera</p>	<p>Los escenarios están basados en un diagnóstico meteorológico del golfo de México que identificó las condiciones más comunes que ocurren en la cuenca: brisas de primavera, verano, otoño e invierno; suradas; nortes; y ciclones tropicales.</p> <p>Los escenarios constituyen un estadístico basado en un número grande (6,018) de simulaciones atmosféricas individuales, agrupadas por las siete condiciones meteorológicas distintas.</p> <p>Para controlar los efectos del ciclo diurno (que son dominados por las brisas), los resultados se obtuvieron para emisiones iniciadas a las 00, 06, 12 y 18 hrs UTC.</p> <p>Los resultados para los escenarios se calcularon con el modelo FLEXPART-WRF, que a su vez usó campos meteorológicos obtenidos con suficiente resolución para representar</p>	<p>Evaluar el tiempo de arribo a las regiones que podrían ser afectadas por contaminantes atmosféricos ante escenarios de derrame de gran magnitud ocurridos en seis puntos de emisión del golfo de México.</p> <p>Para fines de planeación y preparación ante contingencias derivadas de un derrame, los resultados de los escenarios identifican los centros de población que serían más vulnerables a la contaminación atmosférica emitida desde el golfo de México bajo distintas condiciones meteorológicas y son de interés para la SEMAR, la SSA, la Coordinación Nacional y las agencias estatales de Protección Civil, además de los actores directamente involucrados en la producción de hidrocarburos en el medio marino.</p> <p>Ante una emergencia provocada por un derrame y en ausencia de pronósticos operativos de la calidad del aire u otras herramientas de diagnóstico de las condiciones atmosféricas</p>

adecuadamente los sistemas locales de viento que son relevantes para el transporte de contaminantes atmosféricos en la zona costera.

Se utilizó un modelo que contempla la química de los hidrocarburos en la atmósfera (WRF CHEM), que sirvió para comparar los resultados de modelos más sencillos y menos costosos computacionalmente de transporte de contaminantes (FLEXPART-WRF). El uso de FLEXPART-WRF permitió una mejor representación de las plumas de contaminantes y calcular un gran número de simulaciones para obtener los ensambles estadísticos de los escenarios.

Las condiciones iniciales de la pluma, la duración de las emisiones, la distribución vertical y la tasa de emisión de las partículas están pensadas para representar la combustión intencional de hidrocarburos desde la superficie del mar que comúnmente es utilizada como una medida de mitigación ante derrames de gran magnitud. Los factores que definen a las emisiones atmosféricas son constantes en todas las simulaciones y se resalta el hecho de que son solo una aproximación a las condiciones que ocurrirían en un incendio real. Como tales, son una fuente adicional de incertidumbre, que se agrega a la incertidumbre propia del cálculo de la circulación atmosférica, que debe ser tomada en cuenta en cualquier uso que se haga de los resultados de los escenarios.

reales, estos resultados podrían ofrecer elementos para identificar a nivel regional, dada alguna de las condiciones meteorológicas analizadas, las poblaciones humanas que pudieran ser afectadas por la contaminación atmosférica emitida por incendios asociados a derrames en los seis puntos del golfo de México que se presentan.

Logros del Tomo II. Vulnerabilidad ecológica del golfo de México antes derrames de gran escala

Principales logros	Características generales	¿Para qué es útil?
<p>Cuantificación de la vulnerabilidad ecológica ante derrames de petróleo de diversos objetos de interés (Capítulos 1-4)</p>	<p>Se desarrollaron dos aproximaciones para cuantificar la vulnerabilidad ecológica ante derrames de petróleo para los objetos de interés (OI) considerados en este tomo (tortugas marinas, cetáceos, peces pelágicos mayores y pastos marinos)</p> <p>Una primera aproximación (Cap. 1), utilizó un modelo para tortugas marinas que evaluó la vulnerabilidad ecológica acumulada considerando la ocupación del hábitat y múltiples fuentes de presión o estresores que actúan de forma previa a la interacción con los derrames de petróleo actualmente sobre ellos. Posteriormente se cuantificó la interacción de la vulnerabilidad de los OI con los escenarios de derrames.</p> <p>Un segundo tipo de aproximación cuantificó directamente la vulnerabilidad de los OI al petróleo, considerando sus características biológicas y ecológicas (Cap. 2-4). Y en el caso de los cetáceos y peces pelágicos también se estimó el traslapo de los escenarios de derrames de petróleo con áreas en donde concurrían el mayor número de especies (Cap. 2y 3).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Las evaluaciones permiten identificar a aquellas especies o poblaciones que podrían ser más vulnerables ante la exposición a diversas fuentes de presión que actúan sobre ellos actualmente y a hidrocarburos en caso de un futuro evento de derrame. Los resultados posibilitan a los tomadores de decisiones priorizar las iniciativas de gestión, mitigación y las acciones de recuperación ante un evento de derrame. • Los resultados son una línea base del traslapo de la distribución de especies clave y protegidas con posibles derrames de petróleo. • Los resultados de la vulnerabilidad ecológica de tortugas marinas son insumos que sirvieron para la elaboración de un plan de atención a contingencias para las tortugas marinas. Este plan es una herramienta básica para la planeación y organización ante contingencias por derrames de hidrocarburos que afectan a las tortugas marinas y que fortalece las capacidades de los Organismos de Coordinación Local que los atienden. Y puede ser considerado como una guía para la construcción de planes de contingencia para otras especies protegidas o focales.

<p>Estimación de la vulnerabilidad del ecosistema del golfo de México (Capítulos 5 y 6)</p>	<p>Debido a la complejidad que tiene el ecosistema del golfo de México, en este estudio se utilizaron dos métodos para estimar la vulnerabilidad.</p> <p>Una primera aproximación estimó la vulnerabilidad del ecosistema considerando las diferentes fuentes de presión que operan sobre los OI, y que determinan su condición actual (Cap. 5). Posteriormente se cuantificó la interacción de escenarios de derrames con la vulnerabilidad ecológica acumulada de los OI de forma individual y en su conjunto. En el capítulo 5, en una aproximación con 3 niveles ecológicos, se utilizaron tres OI (tortugas marinas, macrofauna bentónica y pastos marinos), pero el método puede ser utilizado para incluir más OI conforme se obtenga la información necesaria.</p> <p>Una segunda aproximación aplicó una modificación de un método desarrollado específicamente para estimar la vulnerabilidad del ecosistema al petróleo (Cap. 6). El método evalúa los hábitats que componen el ecosistema y una selección de especies clave en 11 regiones dentro del golfo de México. Posteriormente, se estimó la probabilidad del impacto por el petróleo sobre estas regiones, a través de combinar los resultados de la vulnerabilidad de los hábitats y de las especies con los resultados de los escenarios de derrame de petróleo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ambos modelos desarrollados son herramientas útiles para evaluar un ecosistema tan complejo el Golfo de México mediante la integración de la información generada en otros subproyectos con evaluaciones cuantitativas y semicuantitativas. • Aportan la información científica que permite priorizar hábitats, especies, comunidades, regiones y ecosistemas vulnerables a derrames de petróleo. Este tipo de resultados pueden coadyuvar para el desarrollo de planes de contingencia en caso de derrames. • Ambos métodos hicieron uso de la línea base científica y permitieron el desarrollo de herramientas y políticas que permitan acciones de monitoreo y con ello anticiparse a cualquier incidente de derrame que pueda ocurrir en el futuro. • Las metodologías aplicadas tienen la ventaja de ser flexibles y permiten incrementar los objetos de interés (incluir especies o comunidades), evaluar la vulnerabilidad a otros estresores además del petróleo (p. ej. cambio climático) o incluso incluir aspectos socioeconómicos en las evaluaciones.

	<p>Presentan información tabular y en mapas de la incidencia de múltiples amenazas a los elementos de la biodiversidad marina evaluados, considerando su distribución espacial y temporal, patrones de uso del hábitat y de reproducción, así como la configuración espacial de la vulnerabilidad ecológica de estos elementos y su interacción con escenarios de derrame de petróleo.</p>	
<p>Vulnerabilidad de especies, comunidades y ecosistemas del Golfo de México a derrames de petróleo de gran escala.</p>	<p>Los modelos empleados para estimar la vulnerabilidad utilizaron datos obtenidos con tecnología de vanguardia y que fueron analizados con técnicas modificadas y adaptas con aproximaciones originales en su mayoría.</p> <p>Los análisis integradores de los escenarios de derrames y los modelos de vulnerabilidad ecológica aportaron información a diferentes escalas espaciales del impacto de un posible derrame en aguas profundas sobre la biota.</p> <p>En conjunto, todos los modelos contribuyeron con información de la condición de vulnerabilidad ecológica para más de 100 especies focales y muchas incluidas en la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, así como de comunidades macrobentónicas y ecosistemas con productores primarios, también protegidos por la misma norma.</p> <p>Se identificaron áreas que requieren de la mayor atención para la gestión y prevención de contingencias</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Orientar la toma de decisiones para la evaluación y mitigación de impactos en casos de derrames de gran escala. • Aporte de criterios para elaborar Planes de Atención a contingencias por derrames de petróleo para especies protegidas y/o claves para los ecosistemas marinos y costeros. • Son línea de referencia científica de soporte en la generación de herramientas de política pública para la reducción de riesgos ante potenciales derrames de hidrocarburos a gran escala. • Aporta información científica directa sobre la vulnerabilidad ecológica de especies focales atendidas por el Programa de Recuperación y Repoblación de Especies en Riesgo (PROCER) de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. • Las aproximaciones metodológicas empleadas son herramientas versátiles y transferibles que permiten ampliar el

por derrames de hidrocarburos a partir de la intersección entre las zonas ecológicamente vulnerables para la biota y los escenarios de derrames de petróleo.

grupo de especies, comunidades y ecosistemas de interés.

- Algunos modelos permiten calcular los valores de vulnerabilidad de acuerdo con las necesidades de regionalización del usuario (por ejemplo, a áreas sensibles, campos de licitación, regiones de manejo y logística de exploración y explotación) con base en la configuración espacial original del modelo.
- Fortalece las secciones de Planeación de los Organismos de Coordinación Local del Plan Nacional de Contingencia para Derrames de Hidrocarburos y Sustancias Nocivas Potencialmente Peligrosas en las Zonas Marinas Mexicanas, el cual es liderado por la Secretaría de Marina.
- Estos modelos son un componente cuantitativo para la evaluación de riesgos en el contexto de actividades de la industria petrolera.
- Sientan precedentes metodológicos para la evaluación de vulnerabilidad de sistemas socioeconómicos en el contexto potenciales derrames de hidrocarburos a gran escala.
- Aportan criterios a los tomadores de decisiones y encargados de hacer cumplir la normatividad ambiental mexicana en las evaluaciones de proyectos de construcción de infraestructuras petrolera.

		<ul style="list-style-type: none"> • Aporta información que permite identificar los factores que incrementan la vulnerabilidad de sistemas ambientales e identificar acciones para fortalecer la resiliencia de estos.
<p>Se abordó la cartografía del Golfo de México con 127 mapas. Y se elaboraron 4 curvas de vulnerabilidad</p>	<p>Son productos espacialmente explícitos en los que se presenta la condición de vulnerabilidad de distintos sistemas ambientales en el Golfo de México a distinta resolución espacial.</p> <p>Son productos que presentan la configuración espacial de la vulnerabilidad ecológica de especies incluidas en la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 así como especies de importancia comercial.</p> <p>Los mapas indican los siguientes resultados:</p> <p>Vulnerabilidad del ecosistema del Golfo de México a escenarios de derrames de petróleo.</p> <p>Presentan áreas potenciales de agregación de cetáceos y peces pelágicos mayores (hotspots) en el oeste del golfo de México y su superposición espacial con los escenarios de derrame de petróleo pesado.</p> <p>La vulnerabilidad ecológica acumulada de tortugas marinas considerando el hábitat y las múltiples fuentes de presión que actúan actualmente sobre ellas, y la interacción de la vulnerabilidad de tortugas marinas con los escenarios de derrames.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitan procesos de organización y coordinación intersectoriales para generar planes de contingencias ante derrames de hidrocarburos. • Facilitan la priorización, búsqueda y gestión de financiamiento y direccionamiento de los apoyos para la planeación enfocada a reducir los impactos negativos y riesgos por exploración, explotación y transporte de hidrocarburos. • Sensibilizar y generar conciencia en la preparación de la sociedad ante los riesgos por derrames de petróleo a gran escala para tomadores de decisiones y las comunidades locales.

	<ul style="list-style-type: none"> • Vulnerabilidad de comunidades planctónicas antes derrames de petróleo. Y un modelo de la respuesta de estas comunidades a la exposición al petróleo. • Vulnerabilidad de peces marinos selectos expuestos a diferentes concentraciones de petróleo. 	
<p>Modelo de vulnerabilidad basada en curvas de vulnerabilidad en función del tiempo.</p>	<p>Elaboración de un modelo teórico de vulnerabilidad basado en curvas de vulnerabilidad en función del tiempo. El modelo estima la vulnerabilidad del sistema evaluado en cada unidad de tiempo en donde se realizan observaciones. El resultado final se expresa en curvas que permiten visualizar los cambios en la vulnerabilidad a lo largo del tiempo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Este modelo permite estimar y visualizar los cambios en la vulnerabilidad en función del tiempo lo que facilita evaluar los cambios en la respuesta integral del sistema estudiado desde el inicio del impacto de la amenaza hasta tiempo después.
<p>Modelo de vulnerabilidad de especies selectas (fitoplancton, microorganismos y peces), expuestas a hidrocarburos de petróleo en condiciones experimentales.</p>	<p>Elaboración de curvas de vulnerabilidad a partir de la respuesta de una serie de biomarcadores y bioindicadores en peces marinos, por un lado (bioensayos), y en la comunidad de fitoplancton y bacterias (mesocosmos), por el otro, expuestos a hidrocarburos en experimentos controlados.</p> <p>Se evaluó la vulnerabilidad asociada a los diferentes niveles de intensidad y duración de exposición a hidrocarburos de petróleo. La integración de los resultados de la evaluación permitió generar el modelo de vulnerabilidad.</p> <p>Mesocosmos: Incluye experimentos realizados en tres temporadas. Se utilizaron tres concentraciones de petróleo y un control (sin petróleo añadido). Baja concentración,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los indicadores pueden ser utilizados para la evaluación de la vulnerabilidad de otras especies de peces y componentes del plancton de diferentes regiones del GoM. • La robustez del modelo de vulnerabilidad basado en curvas de vulnerabilidad en función del tiempo puede ser aplicados para evaluar la vulnerabilidad de organismos centinelas expuestos al petróleo. • La categorización de las clases de vulnerabilidad y los efectos asociados a cada una de ellas puede ser utilizado como una referencia para la evaluación de otras especies y comunidades.

	<p>concentración media y concentración alta con tres replicas para cada uno. Se tomaron muestras de agua para analizar fitoplancton, hidrocarburos, metales (Ni, V, Pb), bacterias hidrocarbonoclastas, parámetros fisicoquímicos (Temperatura, salinidad, concentración de nutrientes, oxígeno disuelto) para así determinar el impacto de un vertido de petróleo crudo ligero en las comunidades planctónicas durante los 15 días que siguieron el derrame simulado.</p> <p>Bioensayos: Establecimientos de dos escenarios de evaluación de la vulnerabilidad, asociados a diferentes niveles de intensidad y duración de la exposición a hidrocarburos: ensayo agudo y ensayo crónico.</p> <p>Como modelo experimental, se utilizaron dos especies de peces que se distribuyen en el Golfo de México: el lenguado <i>Achirus lineatus</i> (especie bentónica), y la corvina roja, <i>Sciaenops ocellatus</i> (especie pelágica).</p> <p>Identificación y análisis de indicadores o biomarcadores de respuesta a la exposición: expresión de genes seleccionados, grado de metilación del ADN, alteraciones en el núcleo celular, concentración de metabolitos de hidrocarburos en bilis, daño histológico en hígado, riñón, bazo y branquias; y presencia de parásitos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilitaría poner a prueba el mismo conjunto de marcadores utilizando otras especies marinas para la evaluación de su índice de vulnerabilidad, ya que con las especies seleccionadas resultaron robustos para el análisis. • Permite evaluar el efecto inmunológico y fisiológico en organismos centinelas a la exposición al petróleo. • Simulador de lo que puede ocurrir en áreas relativamente alejadas del punto de origen de un derrame, en donde el petróleo se encuentra intemperizado y disperso en la columna de agua). • Permitirá sentar bases para la construcción de indicadores de salud de las especies costeras. • Se podrá utilizar el mismo set de variables (moleculares, celulares, metabólicas, histológicas y ecológicas) analizadas en los bioensayos de exposición, para estimar el índice de vulnerabilidad de otras especies marinas que se distribuyen en el Golfo de México.
<p>Diseño de un Mesocosmos como laboratorio experimental</p>	<p>El diseño funcional y de bajo costo es un avance tecnológico novedoso para el país. Es de notar que</p>	<p>Permitirá realizar experimentos hidrológicos tanto marinos como de agua dulce, para determinar el</p>

<p>para el análisis de la vulnerabilidad al petróleo</p>	<p>este tipo de instalaciones pone México al nivel de investigaciones de la Unión Europea (https://www.aquacosm.eu/)</p>	<p>impacto antropológico sobre el medio ambiente (contaminantes orgánicos, eutrofización, acidificación del agua debido al incremento del dióxido de carbono atmosférico, entre otros). Es un desarrollo tecnológico que tiene potencial de comercialización como soporte de estudios de impacto previo a la comercialización de productos comerciales como fertilizantes, herbicidas e insecticidas entre otros.</p>
<p>Se generó conocimiento básico arbitrado por pares internacionales</p>	<p>Valencia-Agami, S. S., Cerqueda-García, D., Putzeys, S., Uribe-Flores, M. M., García-Cruz, N. U., Pech, D., ... García-Maldonado, J. Q. (2019). Changes in the bacterioplankton community structure from southern gulf of Mexico during a simulated crude oil spill at mesocosm Scale. <i>Microorganisms</i>.</p> <p>https://doi.org/10.3390/microorganisms7100441</p> <p>Cuevas, E., Liceaga-Correa, M. A., Uribe-Martínez, A. 2019. Ecological vulnerability of two sea turtle species in the Gulf of Mexico: an integrated spatial approach. <i>Endangered Species Research</i>, 40, 337-356. https://doi.org/10.3354/esr00984</p> <p>Ocaña, F.A., Pech, D., Simoes, N., Hernández-Ávila, I. 2019. Spatial assessment of the vulnerability of benthic communities to multiple stressors in the Yucatan Continental Shelf, Gulf of Mexico. <i>Ocean & Coastal Management</i>, 181. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104900</p>	<p>La divulgación de los resultados derivados de los experimentos de bioensayos y mesocosmos que sirvieron de insumo para los modelos de vulnerabilidad se realizó siguiendo una revisión estricta por pares internacionales externos al proyecto, lo que le confiere solidez y validación. La publicación de artículos permite que estos resultados alcance una amplia audiencia, contribuyendo al fortalecimiento y consolidación de los modelos de vulnerabilidad generados.</p>

LOGROS DEL TOMO III: Efectos de escenarios de derrame sobre la conectividad biológica del golfo de México

Principales Logros	Características generales	Para qué es útil?
<p>Metodología para construir matrices de conectividad por transporte larvario</p>	<p>Metodología que permite evaluar los niveles de conectividad vía transporte larval entre provincias o regiones pre-establecidas con áreas de al menos 25x25 km².</p> <p>La probabilidad que dos provincias o regiones estén conectadas se calcula mediante un modelo probabilístico de cadenas de Markov que simula la dispersión pasiva de larvas de peces y otros organismos planctónicos (organismos con capacidad de natación limitada o ausente, que están sujetos a la deriva por la acción de las corrientes) a partir de corrientes simuladas con modelos de circulación oceánica. El modelo es aplicable a organismos que habitan cerca de la superficie. El modelo probabilístico es análogo al modelo PetroTrans que se desarrolló para escenarios de derrame en el Tomo I. La resolución espacial con que se resuelve la dispersión probabilística de las larvas es de 25x25 km², y la resolución temporal es de 2 días.</p> <p>Esta metodología se puede aplicar a provincias geográficas y duración de estadios larvarios en función de las necesidades del usuario, siempre y cuando las provincias tengan tamaños mayores a la resolución espacial del modelo probabilístico (1/4 de grado) y que la duración del estadio larvario sea superior a 2 días.</p>	<p>Primera aproximación para inferir la estructura poblacional para especies de interés comercial o ecológico, lo cual puede servir como un insumo para elaborar planes de monitoreo, manejo y conservación.</p> <p>La metodología puede refinarse/complementarse con otras aproximaciones que incorporen información biológica o ecológica para especies o poblaciones específicas, incluyendo costeras, neríticas (que habitan sobre la plataforma), y la zona de aguas profundas, con el fin de utilizarse como una herramienta más para definir planes de manejo para especies o regiones específicas y áreas naturales protegidas, así como para establecer prioridades de restauración en casos de derrames. Por ejemplo, puede servir para hacer análisis preliminares de la conectividad potencial entre subpoblaciones bajo explotación, lo cual tiene aplicaciones en el manejo pesquero.</p>

	<p>Las estimaciones de los niveles de conectividad no incluye procesos biológicos y ecológicos potencialmente importantes, como la migración vertical que puede influir sobre la trayectoria de dispersión, la mortalidad de las larvas, ni variaciones en la duración de la etapa larvaria.</p>	
<p>Matriz de conectividad vía transporte larvario entre 12 provincias de la zona de costa y plataforma continental del golfo de México</p>	<p>Matriz que muestra la probabilidad de conectividad vía transporte larval entre 12 provincias en las que se dividió toda la costa y plataforma continental del golfo de México. También se incluye la matriz de conectividad general de cada provincia con la región de plataforma y hacia la de aguas profundas"... Esto provee una primera aproximación a la conectividad más probable entre provincias, así como entre la costa o plataforma y la zona de aguas profundas.</p> <p>Las 12 provincias son regiones delimitadas por sus características batimétricas (desde de la costa hasta los 500 m de profundidad) y divisiones políticas regionales La zona profunda del golfo de México (> 500 m) se consideró una sola.</p> <p>La matriz se calculó considerando a un estadio larval de un mes (lo cual es representativo para muchas especies marinas de peces). La matriz se puede expandir (contraer) a estadios larvales más largos (cortos).</p>	<p>Permite identificar las provincias de la plataforma continental del golfo de México que están aisladas de las demás, y entre las cuales se espera muy baja conectividad y por ende un bajo potencial de recolonización ante disturbios de gran escala, como derrames masivos de petróleo.</p> <p>Permite identificar las provincias geográficas con un alto nivel de conectividad, para los cuales se espera un alto potencial de recolonización que pudiese contribuir a la recuperación de poblaciones en casos de disturbios de gran escala, como los derrames de petróleo.</p> <p>Permite identificar regiones geográficas con baja conectividad en las que las poblaciones pudieran verse más afectadas durante un desastre ambiental que cause una gran mortandad, ya que tienen menos posibilidad de repoblarse. Estas regiones podrían establecerse como prioritarias para la conservación, o considerarse como particularmente susceptibles a disturbios.</p>

	<p>Se utilizaron 20 años de corrientes superficiales simuladas con los modelos de circulación oceánica del proyecto CIGoM. Por lo tanto, las matrices de conectividad son las esperadas para especies cuyos primeros estadios (huevos y larvas) habitan cerca de la superficie del mar.</p> <p>Las matrices de conectividad se construyeron para tres temporadas (lluvias, nortes, secas) y para una temporada global.</p> <p>Los resultados aplican a especies cuyos huevos y larvas se originan en la zona de la costa y plataforma continental, y cuyo hábitat de crianza también se encuentran en la zona de la plataforma.</p>	<p>Sirve de insumo para evaluar el papel del transporte larvario en la determinación de los patrones de estructura poblacional genética que se documentó en las poblaciones estudiadas.</p>
<p>Metodología que combina simulaciones de trayectorias de larvas virtuales con observaciones biológicas de distribución de larvas de peces para determinar su el origen</p>	<p>Combina los patrones de distribución espacio-temporal de larvas de peces de taxones de especies costero-nerfíticas capturadas en aguas oceánicas en la región de Perdido (Tamaulipas Norte) con sus posibles trayectorias de transporte. Las trayectorias fueron simuladas a partir del modelo de circulación con asimilación de datos HYCOM.</p> <p>Se identificaron larvas de peces capturadas durante cuatro cruceros en Perdido, lo cual permite evaluar el transporte hacia aguas profundas bajo diferentes condiciones oceanográficas. La presencia de especies costero-nerfíticas sobre el talud y en la zona de aguas profundas sirven como indicador de transporte hacia mar afuera.</p>	<p>La metodología permite validar si un modelo de circulación logra aproximar el origen más probable de las larvas de peces de especies/taxones específicos. Si esto se cumple, los modelos pueden usarse para examinar el transporte y la conectividad en escalas de tiempo más amplias, así como bajo fenómenos o condiciones oceanográficas particulares, caracterizar los mecanismos de transporte que contribuyen a estructurar las poblaciones marinas.</p>

	<p>El modelo HYCOM con asimilación de datos presenta una resolución temporal horaria y espacial de 1/25°; se utilizaron las componentes horizontales de la velocidad (u, v) desde la superficie hasta los 200 m de profundidad. Con la velocidad, se reconstruyó el patrón de transporte de las larvas.</p> <p>Las trayectorias de las larvas se calculan entre los 0 y 200 m, lo cual corresponde a las profundidades sobre las cuales se hicieron los muestreos y refleja el transporte esperado en esa capa. Esta aproximación disminuye la incertidumbre en las estimaciones del transporte asociadas a diferencias en la distribución y migración vertical de las larvas.</p>	
<p>Caracterización de la diversidad genética de seis especies costeras del golfo de México</p>	<p>La diversidad genética se obtuvo a partir de un análisis molecular en muestras de tejido de 1,180 individuos de cinco especies de peces óseos (corvina pinta, huachinango del golfo, perca, curvina blanca, mojarra del golfo) y un invertebrado (el ostión americano), colectados en diferentes localidades costeras del golfo de México.</p> <p>La diversidad genética se cuantificó con índices de diversidad haplotípica y nucleotípica de secuencias de ADN, y heterocigosidad para los microsatélites. Esta información se presenta como diagramas de pastel representando las frecuencias haplotípicas o alélicas.</p> <p>Los criterios para la elección de las especies blanco fueron su importancia comercial o ecológica, su amplia distribución en el golfo, que</p>	<p>Esta información incrementa nuestro conocimiento sobre el acervo genético de especies marinas del golfo de México y es necesaria para evaluar patrones generales de estructuración y conectividad genética.</p> <p>El análisis de diversidad genética sirve para identificar segmentos poblacionales que podrían ser vulnerables al impacto ambiental por sus bajos niveles de diversidad.</p> <p>La diversidad es también el insumo indispensable para evaluar los patrones de estructuración y conectividad genéticas para la estimación de la conectividad poblacional.</p>

	<p>fuesen comunes y abundantes, y que de preferencia se contara con información genética previa (particularmente para el norte del golfo).</p>	
<p>Caracterización de los patrones de flujo genético de seis especies costeras del golfo de México</p>	<p>El flujo genético se obtuvo a través de modelaciones matemáticas de los datos moleculares obteniendo como resultado matrices de conectividad entre las localidades muestreadas.</p> <p>Se realizaron mapas con flechas que indican la dirección hacia donde se dirige el flujo genético más importante entre localidades de muestreo para cada una de las seis especies analizadas.</p>	<p>Sirve de base para identificar las poblaciones fuente y sumidero y, en consecuencia, para poder diagnosticar las consecuencias del daño a las poblaciones silvestres resultado de posibles derrames de petróleo (por ejemplo: tiene peores consecuencias para la especie dañar una población fuente que una sumidero; la primera sirve para alimentar con reclutas a otras poblaciones mientras que la segunda puede ser fácilmente repoblada a partir de otras fuentes)</p> <p>Esa información es un insumo imprescindible y aplicable a muchos aspectos de conservación y manejo tanto de las especies analizadas como de la zona costera, sirve para la identificación de áreas naturales protegidas, para la evaluación de impactos por contingencia ambiental, así como para el diseño de planes de remediación ante contingencias ambientales reales.</p>
<p>Metodología de comparación de ;a conectividad por transporte larvario y la conectividad genética</p>	<p>Se analizó la correlación entre los patrones espaciales regionales de conectividad genética y la conectividad estimada vía transporte larval. Esto es, se compararon los patrones geográficos de flujo genético de las seis especies analizadas en logro anterior, con las probabilidades de conectividad de las matrices, usando dos estrategias de análisis independientes que permiten dilucidar patrones regionales.</p>	<p>Permite inferir la importancia relativa del transporte larvario en la estructura genética de las poblaciones y cuantificar su vulnerabilidad ante el posible impacto a la conectividad biológica mediada por deriva larvaria. Por ejemplo, los efectos de un derrame sobre las rutas de conectividad biológica y el transporte larvario harán mucho más vulnerable a una especie cuya estructura genética depende altamente del transporte larvario que a otra especie en la que la estructura genética depende mayoritariamente de otros procesos ecológicos que pueden no estar siendo afectados directamente por el derrame</p>

		(p.ej. movilidad de adultos, procesos post- asentamiento, etc...).
<p>Bases de datos y mapas de patrones espaciales de diferenciación genética para siete grupos taxonómicos de especies marinas del golfo de México</p>	<p>Se obtuvieron mapas que representan la integración de regiones de alto flujo genético para 7 grupos taxonómicos de organismos costero-neríticos.</p> <p>Para ello se analizaron 48 especies costero-neríticas, incluyendo tanto vertebrados como invertebrados, y abarcando 7 grupos taxonómicos (moluscos, elasmobranquios, teleósteos, crustáceos, cnidarios, equinodermos y mamíferos marinos). Esto se hizo con base en una revisión bibliográfica de 67 trabajos publicados en 20 años (entre 1993 y el 2013).</p> <p>Abarca toda la región del golfo de México (México y Estados Unidos de América)</p>	<p>Esta información permite identificar regiones con alto nivel de flujo genético en su interior, regiones entre las cuales hay bajo flujo genético, para un grupo taxonómico dado.</p> <p>Es uno de los insumos importantes para el desarrollo de estrategias de manejo de recursos marinos y su conservación.</p> <p>La integración de muchas especies en diferentes regiones del golfo, permite identificar procesos de gran escala que contribuyen a los patrones de estructura poblacional de las especies costero-neríticas del golfo de México.</p> <p>Permite inferir el impacto potencial de una amenaza ambiental, por ejemplo un derrame de petróleo, en nivel regional. Es un elemento que puede utilizarse en análisis de riesgo.</p>