



**UNIVERSIDAD
NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO.**



Facultad de Ingeniería

Atención de derrames de petróleo crudo en el
Golfo de México.

TESIS

Que para obtener el título de:

INGENIERA PETROLERA

Presenta:

JACQUELINE GUERRERO HERNÁNDEZ.

Director de tesis:

I.Q. Ramón Edgar Domínguez Betancourt.

México, D.F, Ciudad Universitaria, mayo 2014.

De nuestros miedos nacen nuestros corajes, y en nuestras dudas viven nuestras certezas. Los sueños anuncian otra realidad posible y los delirios otra razón. En los extravíos nos esperan los hallazgos porque es preciso perderse para volver a encontrarse.”

Eduardo Galeano.

Agradezco:

A esa energía recurrente en mi vida, esa que me hace ser quien soy, convivir con quienes convivo y amar todo lo que me rodea en el vaivén de la vida.

A la persona que me dio la vida, que me enseñó a amarla y respetarla, a luchar con fuerza y alegría, mi ejemplo a ser, mi mamá, Rebecky, logro compartido, te amo.

A mi papá, Lalito, por ser quien eres y a tu manera, estar conmigo, enseñarme que ser y que no, a ti por demostrarme que si tenemos un niño por dentro, por enseñarme a superarme, te quiero.

A mi compañera y amiga de toda la vida desde siempre y hasta siempre, hermana, Alethia, por ser tú, mi pilar más fuerte e importante, por todas esas noches de platica, por los consejos y la fuerza en esos momentos difíciles, por compartir vivencias inolvidables, por mucho, gracias. "Tanto por vivir tantos caminos por andar, la vida no espera, se va, se va".

A quienes siempre estarán y caminan junto a mí , Manuel Hernández, mi abuelito, por la familia hermosa que forjó, con amor y respeto, a mi tío Victor, por estar ahí, ser alegre siempre y apoyarnos mucho, gracias; Julián Guerrero que forjaste a mi papá; a mi tío Elias. Siempre en mi mente.

A Lupe mi abuelita alegre, consejera y dadivosa, por esas historias esas vivencias increíbles que tuvo, que me comparte, que me deja revivir, sentir, por ese ejemplo de fortaleza, apertura, libertad, felicidad y ganas de vivir, por formar esa familia que me hace ser, que me forja y apoya, a usted abuelita, gracias.

A mi abue Mary, por su fortaleza ante la vida y adversidades, siempre firme, un roble, un ejemplo de historia, la quiero abue.

A mi familia Hernández, alegría total cada domingo, tía Sagui, linda, luchona y jovial, por esos consejos, esas salidas desde mi niñez, tía Ari, por esas carcajadas, tía Maty, tan linda, hiperactiva que inspiró muchas cosas en mí, ese apoyo en momentos felices y difíciles, a mi tío Manuel por ese apoyo silencioso que lo dice todo, esa compu que nos ayudaste a comprar, gracias , a todos mis primos; a los queretanos, gracias por la hospitalidad siempre y su apoyo aunque a distancia, pero sé que ahí está.

A mi familia Guerrero, por demostrar que se puede.

A Solteras Team, Dulcesito y Viry, esas alegrías siempre, consejos, vivencias y todo, como mis hermanas por siempre, agradezco al universo universal que estén en mi camino, que será siempre, las quiero con todos mis órganos; Alecita, prima hermana, siempre en momentos complejos ese apoyo, esa sonrisa y tus discretas carcajadas, las quiero muchísimo.

A Sonia por sus consejos su estancia conmigo en el camino, por sus lindos detalles y vivencias por compartirme momentos geniales, te quiero Sony, amiga siempre y para siempre.

A Andy y Eli, como amigas pequeñas y adultas gracias por esa formación fraternal. A los de la nueve, mis amigos inolvidables, Richi, Josu, Jony, Beto y Oli amigo siempre por consejos y conocimiento de mi ser, por esas porras, los quiero.

A Rodrigo, Manuel, Edson, mis compañeros y amigos, compartiendo momentos, momentos permanentes en mi memoria y reconociéndonos en el día a día.

A Cesar Montalvo, no tengo palabras para agradecer tu compañía en este camino, "Una alegría compartida es una alegría doble" y gracias por triplicarla, gracias por tu fortaleza por ser quien eres, por aconsejarme y escucharme, por todo, por ser mi amigo y dejarme ser tu amiga. "Seamos realistas y hagamos lo imposible".

A Naye, amiga, gracias por existir, por estar ahí, por el ejemplo que eres, una inspiración sin duda para mí, te quiero y agradezco al universo haberte conocido y compartir momentos, gracias por escucharme por hacerme reconocer, por ser guerrera y no de apellido, te quiero.

A Oscar René, por ser mi psicólogo personal, por aguantarme hasta en la madrugada, en mi loquera y alegrías te quiero amigo.

A Olga, por estar ahí, escucharme y compartirme tus cosas, por esos consejos, por salir adelante y demostrar que se puede, te quiero.

Anna Karenina, mi linda compañera, compartiendo y apoyándome.

A Depeche, siempre sonriente me hiciste gratos todos los momentos compartidos.

A André Monterrubio, Alejandro Jiménez, Hernán Quiroz y Luisin Arcos por hacerme alegre la vida.

A Proyectos Comunitarios por dejarme aprender con ustedes, por las comunidades, en pie de lucha siempre, Aly, Gaby, Tania, Luis, Ernesto Mireya, Don Lucio, Daniel, Lore, Diana y Humberto. "Hasta la victoria siempre, hasta siempre y adelante".

A los bohemios del bosque, Coffe Team, Maurice Days, Nayeli Saints, David Barrier y Philip Inns.

A mis compañeros y amigos que en el mismo camino nos encontramos y compartimos momentos felices y complejos, José Luis Camargo, Agustín Reyes, Luis Andrés, Karla Sánchez, Gerardo Bonilla, Alberto Soriano, Carlos Hernández, Everardo Del Angel, Ileana Cano, Justo Sierra, Nathaly Nava, Julio Escartín, Eder Leonel, Gerardo Martínez, Gerardo Gascón, Roberto Chávez, Michelle Francin, Yareth Maza, Andrea Arias. A los de ILICA, que en un mes compartimos demás, Pamela esas desveladas, pláticas y demás nunca las olvidare y seguirán, Carlos Daniel Ixta, por seguir patinando juntos, Vite como no reír, Rosa e Isela, gracias.

A mis inspiraciones, Frida Kahlo, Eduardo Galeano, Sarte, Simone, Gabriel García, Lewis Carroll, Ernesto Guevara, José Vasconcelos, Emiliano Zapata y Doroteo Arango.

A Mingus y Balcán, por ser seres peludos, felices de la vida, que alegran la estancia en casa.

A aquellas personas que viven y defienden sus ideales para construcción de un mundo mejor, que su ejemplo arrasa, que con el he aprendido y entendido que en la vida defender ideales te dan salud, te dan bienestar, a todos los que defendieron a los que siguen defendiéndolos, por lo que es y lo que pudo ser, por los que luchan su causa.

A mi alma mater, **Universidad Nacional Autónoma de México** por brindarme preparación y acogerme, por proporcionarme crecimiento en todos los aspectos, por el aporte a la humanidad.

A mi Facultad, la más bonita, porque en sus aulas absorbí mi conocimiento, no solo profesional, por sus profesores, a todos, gracias.

A la Dra. Martha Leticia Cecopieri Gómez, especial agradecimiento por su tiempo y apoyo, sus consejos, como sinodal, profesora, pero sobre todo como amiga, agradezco haberla conocido, un gran ejemplo, por usted sé que se pueden muchas cosas.

Al Ingeniero Ramón Edgar Domínguez Betancourt, por tomar mi tema, en el tiempo compartido aprendí mucho, de todo, por su tiempo, gracias.

Al Ing. Hector Erick Gallardo, por su tiempo invertido y vivencias compartidas como gran amigo, un gran ejemplo de inteligencia, perseverancia y fortaleza, gracias.

Al Ing. Mario Becerra, por sus clases y el conocimiento que comparte, su tiempo en este trabajo.

Al Ing. Ulises Neri Flores, por su comprensión, disposición y tiempo, gracias.

“Por mi raza hablará el espíritu”

Índice.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
1. DESCRIPCIÓN DEL GOLFO DE MÉXICO.....	3
1.1 UBICACIÓN.....	3
1.2 GEOLOGÍA GENERAL DEL GOLFO DE MÉXICO.....	4
1.3 TECTÓNICA GENERAL.....	6
1.4 CUENCAS PETROLERAS.....	8
1.5 AMBIENTES DEPOSICIONALES.....	12
1.6 CORRIENTES.....	13
1.7 MAREAS.....	16
1.8 FRENTE.....	17
2 EL ECOSISTEMA DEL GOLFO DE MÉXICO.....	19
2.1 CLASIFICACIÓN DE ECOSISTEMAS MARINOS.....	19
2.1.1 ECOSISTEMAS PELÁGICOS.....	20
2.1.2 ECOSISTEMAS BENTÓNICOS.....	21
2.1.3 ECOSISTEMAS CARACTERÍSTICOS.....	22
2.1.4 ORGANISMOS.....	23
2.1.5 RED TRÓFICA.....	24
2.2 FAUNA REPRESENTATIVA DEL GOLFO DE MÉXICO.....	26
2.2.1 MAMÍFEROS.....	26
2.2.2 CETACEOS.....	26
2.2.3 ICTIOFAUNA.....	27
2.2.4 AVES.....	27
2.3 RIQUEZA BIOLÓGICA DEL GOLFO DE MÉXICO.....	28
2.3.1 SISTEMAS ESTUARINO-LAGUNARES.....	29
2.3.2 HUMEDALES COSTEROS.....	30
2.3.3 MANGLARES.....	31
2.3.4 PASTOS MARINOS.....	32
2.3.5 ARRECIFES CORALINOS.....	32
2.4 CAUSAS DE PERTURBACIÓN.....	33
3 CAUSAS DE LOS DERRAMES DE PETRÓLEO EN EL GOLFO DE MÉXICO.....	35

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

3.1	HIDROCARBUROS.....	36
3.1.1	GENERALIDADES DEL PETRÓLEO.....	36
3.1.2	CLASIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS.	40
3.2	PRINCIPALES CAUSAS DE CONTAMINACION POR HIDROCARBUROS EN EL GOLFO DE MÉXICO.....	41
3.2.1	EMANACIONES NATURALES.....	41
3.2.2	TRANSPORTE Y LAVADO DE BUQUETANQUES.....	46
3.2.3	DERRAMES ACCIDENTALES.....	50
3.2.4	CONSIDERACIONES EN AGUAS PROFUNDAS.....	61
3.3	PROBLEMAS TÍPICOS EN LAS OPERACIONES EN AGUAS PROFUNDAS Y ULTRAPROFUNDAS.....	66
3.3.1	Consideraciones ambientales.....	69
3.3.2	Problemas de control de pozos.....	71
3.4	PRINCIPALES DERRAMES PETROLEROS.....	72
3.5	LA GUERRA DEL GOLFO PÉRSICO.....	75
3.6	DERRAME DEL POZO MACONDO.....	78
3.7	POZO IXTOC-I.....	83
3.8	EFFECTOS ADVERSOS DEL PETRÓLEO DURANTE LOS DERRAMES.....	86
4	CONTROL Y TRATAMIENTO DE LOS DERRAMES DE PETROLEO.....	89
4.1	LOS HIDROCARBUROS EN EL AGUA.....	89
4.1.1	PROPAGACIÓN DEL PETRÓLEO EN AGUA.....	90
4.2	CONTROL Y TRATAMIENTO.....	92
4.2.1	Seguimiento y vigilancia.....	94
4.2.2	Barreras.....	106
4.3	PROTECCIÓN DE LAS COSTAS MARINAS.....	119
4.3.1	Medidas específicas de protección.....	121
4.4	AGENTES DISPERSANTES.....	125
4.5	QUEMA IN SITU DEL PETRÓLEO DERRAMADO.....	126
4.6	MÉTODOS DE RECUPERACIÓN MÉCANICA DE DERRAMES.....	129
4.7	ABSORBENTES.....	137
4.8	EQUIPOS PARA TRANSFERENCIA DE HIDROCARBUROS.....	139
4.9	LEGISLACIÓN.....	141
4.9.1	Plan Nacional de Contingencias Para Combatir y Controlar Derrames de Hidrocarburos y Otras Sustancias Nocivas en el Mar.....	142

Índice.

4.9.2	Organización Marítima Internacional (OMI).....	143
4.9.3	MARPOL 73/78.....	146
4.9.4	Comisión Nacional de Hidrocarburos.	147
5	REMEDIACIÓN DE DERRAMES EN EL GOLFO DE MÉXICO.	149
5.1	ORGANISMOS HIDROCARBUROCLÁSTICOS.	149
5.2	BIODEGRADABILIDAD DE LOS HIDROCARBUROS.....	150
5.2.1	Factores que afectan a la biodegradación del petróleo.....	151
5.3	BIODEGRADACION.....	153
5.4	BIORREMEDIACIÓN.....	153
5.4.1	Bioestimulación.....	154
5.4.2	Adición de nutrientes.....	154
5.4.3	Aireación.....	155
5.4.4	Bioaumentación.....	155
5.4.5	Fitorremediación.....	156
5.5	TRATAMIENTO DE COSTAS.....	158
5.5.1	Tratamiento de diversos tipos de costas marinas.	158
5.5.2	Remediación natural.....	160
5.5.3	Técnicas de tratamiento físico.	161
5.5.4	Quema del producto derramado.....	173
5.5.5	Biorremediación.....	175
5.5.6	Métodos químicos de tratamiento.....	175
5.6	RESCATE Y REHABILITACIÓN DE LA FAUNA.....	176
5.6.1	Efectos del petróleo derramado sobre las aves.	176
5.6.2	Efectos del petróleo derramado sobre mamíferos.	177
5.6.3	Tratamiento de la fauna.	178
5.7	RESPUESTA A DERRAMES EN ZONAS FRÍAS.	178
5.7.1	Efectos de las temperaturas bajas en el petróleo.....	178
5.7.2	Factores ambientales que afectan la respuesta en regiones frías.....	179
	CONCLUSIONES.....	181
	ANEXO I. Comparación de eras geológicas en el Golfo de México.	185
	ANEXO II. Cinco reinos.....	187
	ANEXO III. Cadena trófica general.	188
	ANEXO IV. Mamíferos representativos del Golfo de México.....	189

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

ANEXO V. Ictiofauna representativa del Golfo de México.	191
ANEXO VI. Avifauna representativa del Golfo de México.	200
ANEXO VIII. Organismos hidrocarburoclásticos.	206
GLOSARIO.....	209
BIBLIOGRAFÍA.....	217

INTRODUCCIÓN.

De 1860 a la fecha los hidrocarburos representan un alto porcentaje en energías no renovables a nivel mundial. La extracción de estos recursos exige el uso de más y mejores prácticas para el abastecimiento energético; su exploración, explotación y traslado representa uno de los mayores aportes de contaminación al medio. Acontecimientos recientes han denotado el gran impacto ambiental que generan estas prácticas.

El interés orientado a la contaminación en el ambiente es de gran importancia, pues nuestro entorno se afecta a gran escala en poco tiempo por prácticas humanas.

La extracción de hidrocarburos muchas veces es sinónimo de contaminación, sea en tierra o en mar, debido a que muchas de las prácticas que se llevan a cabo contaminan el ecosistema contiguo.

El Golfo de México, representa para el sistema económico de nuestro país, un gran sostén, pues las actividades humanas que se llevan a cabo en él son de gran importancia y magnitud, como es el turismo, la pesca, la explotación petrolera, entre otras; es por eso que es de gran importancia su mantenimiento y su explotación sustentable.

Existen diferentes métodos para poder tratar un derrame petrolero dependiendo en qué condiciones se presente y la localización de éste.

En México, la evaluación de los impactos ambientales causados por el ciclo de exploración y producción del petróleo costa afuera constituye un reto, debido a las características naturales del medio que es tropical. Para llevar a cabo una evaluación efectiva se requiere de la participación de diversas disciplinas del conocimiento. Por esta razón, son imprescindibles el análisis y la generación de información científica que permitan establecer criterios normativos para la prevención, amortiguamiento y control de estos efectos, de forma que se garantice el desarrollo sustentable de la región.

La contaminación generada a partir de la explotación de recursos naturales por el ser humano, ha sido, desde mi formación básica de gran interés, en particular, la contaminación generada debido a la explotación petrolera, influenciando la elección de mi carrera profesional y el desarrollo de este trabajo. Que consiste en una investigación a cerca de la importancia que tiene el Golfo de México como un eslabón valioso en el ecosistema mundial, por la gran variedad de ambientes que posee gracias a la situación geográfica en la que se encuentra, su formación geológica, que dio lugar a la formación de grandes yacimientos petroleros, la riqueza faunística que posee tanto marina como terrestre, así como la explotación petrolera que presenta y las afecciones que a esta se le atribuyen; exploración, explotación y traslado de hidrocarburos extraídos en él y como ruta de traslado, que han contaminado el medio marino.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

En general, el problema de la contaminación del ambiente marino por derrames petroleros, es la falta de previsión, sin embargo estos incidentes se presentan, ya sea en la extracción de hidrocarburos o en su traslado, las fuentes son diversas, por ejemplo, descontrol de pozos, derrames accidentales, emanaciones naturales, entre otras.

Para poder manejar estos percances es necesario contemplar el entorno en el que se lleva a cabo las prácticas petroleras, considerando todo los elementos influyentes en el ecosistema, de tal manera que cuando se presente un derrame exista un plan de acción.

Descripción del Golfo de México

"No necesito saberlo todo, tan sólo necesito saber dónde encontrar aquello que me hace falta, cuando lo necesite". Albert Einstein.

1. DESCRIPCIÓN DEL GOLFO DE MÉXICO.

1.1 UBICACIÓN.

El Golfo de México es prácticamente un mar interior (Figura 1.1. Golfo de México.Figura 1.1), parcialmente conectado con el Océano Atlántico a través del estrecho de Florida y con el Mar Caribe a través del canal de Yucatán. Está bordeado al Oeste por el estado de Tamaulipas, al Sureste por el estado de Veracruz y Tabasco; al Noreste por Texas, al Norte por Luisiana, Alabama y Mississippi , al Noreste



Figura 1.1. Golfo de México.

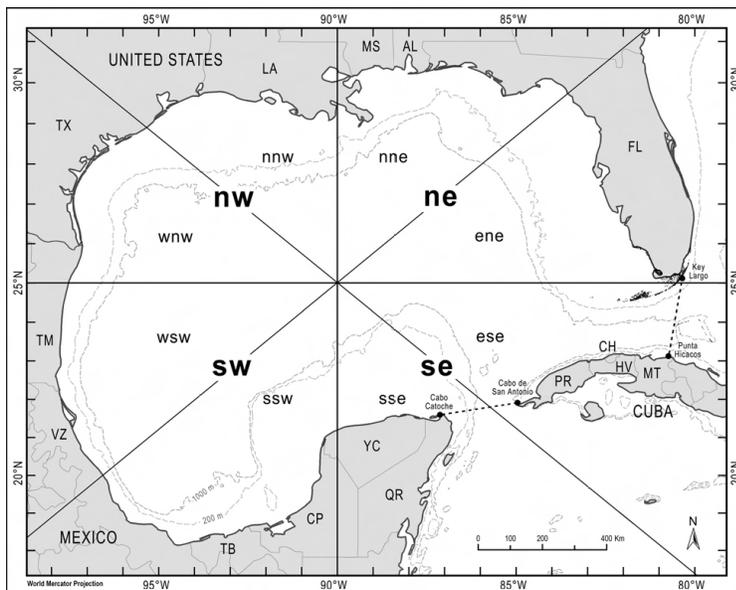


Figura 1.2. El Golfo de México, delimitación de las fronteras geográficas. (Gulf of Mexico, Origin, Waters and Biota, Vol.1 Biodiversity, 2009).

por Florida y al Oeste por la Isla de Cuba.

Territorialmente está definido por líneas imaginarias, que van desde la punta del estado de Quintana Roo, llamado Cabo Catoche, hasta el faro de Cabo Antonio en Cuba, y del extremo Norte de la isla hasta la punta Sur de Florida (Figura 1.2).

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

El Golfo de México es sistema ambiental de los más diversos y ricos de la Tierra. A lo largo de 4000 km de litoral posee: cayos, islas de barrera, dunas, playas arenosas, ríos, deltas, bahías, estuarios, lagunas costeras, humedales, manglares, arrecifes, bancos carbonatados y aguas oceánicas integran una compleja combinación de hábitats. Pocas zonas en tan relativamente cortas distancias ofrecen esta riqueza ambiental.

La superficie del Golfo de México, incluyendo el cuerpo de agua y los humedales costeros, de México y Estados Unidos, es ca. 1, 942,500 km^2 .

Sólo el cuerpo de agua tiene una superficie aproximada de 1, 507,639 km^2 . La profundidad promedio del Golfo es ca. 1,615m, y el volumen de agua es aproximadamente 2, 434,000 km^3

1.2 GEOLOGIA GENERAL DEL GOLFO DE MÉXICO

El Golfo de México es una de las cuencas más prolíficas en la producción petrolera en el mundo. Contiene un espesor aproximado de 10 a 15 kilómetros de rocas sedimentarias mesozoicas (calizas y calizas arcillosas) y cenozoicas (areniscas y lutitas), que conforman los diversos elementos del sistema petrolero (rocas generadora, rocas sello y rocas almacén). Casi todos los hidrocarburos obtenidos del México actualmente, se obtienen de la planicie costera y la plataforma continental del Golfo de México sobre una franja que se extiende desde la frontera con Estados Unidos hasta el margen occidental de la Península de Yucatán y desde el frente de la Sierra Madre Oriental hasta la plataforma continental en el Golfo de México.

La evolución de la geología en general se divide en cinco etapas (Tabla 1.1) según Prost (1996) y Banda (1996):

Etapas.				
Etapa de apertura del Golfo de México. <i>Jurásico Medio- Jurásico Tardío.</i>	Etapa de subsidencia, enfriamiento y cambios relativos en el nivel del mar. <i>Cretácico Temprano – Cretácico tardío (Maastrichtiano).</i>	Etapa de deformación Laramide. <i>Cretácico Tardío (Maastrichtiano) Eoceno Temprano.</i>	Etapa de subsidencia Post-Laramídica. <i>Eoceno Medio- Mioseno Medio.</i>	Etapa de procesos geológicos locales. <i>Mioceno Medio- Cuaternario.</i>

Tabla 1.1. Etapas de formación geológica del Golfo de México, (Prost y Banda 1996).

Descripción del Golfo de México

En la **Etapa de apertura del Golfo de México**, durante *Jurásico Medio- Jurásico Tardío* se depositaron rocas evaporíticas y capas rojas provenientes de las aguas marinas del Pacífico y durante el Kimmeridgiano, en el área de subsidencia ocurrió la invasión de aguas marinas del Golfo de México que acumularon los carbonatos en condiciones someras y de alta energía de la Formación de San Pedro. En el Tithoniano continuó el movimiento de bloque Maya y se depositó las facies de carbonatos arcillosos de cuenca de la Formación Tepexilotla en condiciones estables y anóxicas propicias a la acumulación y preservación de la materia orgánica.

En la **Etapa de subsidencia, enfriamiento y cambios relativos en el nivel del mar**. Durante *Cretácico Temprano al Cretácico tardío (Maastrichtiano)*, ocurrió que a finales del Cenomaniano, en el occidente de México, una fase de actividad ígnea y metamórfica que produjo el levantamiento sobre el nivel del mar del arco volcánico que existía en la costa del Pacífico, desde el Jurásico Temprano, el cual migro hacia el oriente hasta ubicarse sobre la actual Sierra Madre Occidental. En el Campaniano, se manifestó una caída del nivel del mar que tuvo una gran influencia en la depositación de calizas arcillosas pelágicas de la Formación de San Felipe. En el Maastrichtiano, una elevación relativa del nivel del mar favoreció el depósito de las calizas de estratificación gruesa de la Formación Atoyac, en una nueva plataforma carbonatada y bordeando a esta, se acumulaban las calizas arcillosas, lutitas y brechas calcáreas de la Formación Méndez.

En la **Etapa de deformación Laramide**. Que va desde el *Cretácico Tardío (Maastrichtiano) Eoceno Temprano*. Que comprende a la etapa del Paleoceno, en donde se inició la acumulación en un ambiente marino profundo, de los sedimentos terrígenos sintectónicos (Formación de Chicontepec) provenientes del cinturón plegado y cabalgado, lo cual provoca una mayor subsidencia de la cuenca para compensar el incremento de la carga sedimentaria.

La deformación Laramide tiene un papel importante desde la apreciación petrolera pues formó estructuras almacenadoras en el frente tectónico sepultado y contribuyó, además, a la subsidencia inicial de la Cuenca Terciaria de Veracruz.

En la **Etapa de subsidencia Post-Laramídica**. Que abarca desde el *Eoceno Medio hasta el Mioseno Medio*, se acumularon más de 8000 metros de lutitas, areniscas y conglomerados en una cuenca que se asentaba sobre corteza continental atenuada y que permaneció en condiciones marinas profundas; así el depocentro generado es lo que se llama Cuenca Terciaria de Veracruz.

En la **Etapa de procesos geológicos locales**. *Mioceno Medio- Cuaternario*, se presentan diferentes tipos de eventos geológicos más locales a fines del Mioceno medio. La región noroccidental de la cuenca estuvo sometida a una deformación compresiva dirigida hacia el noroeste, que produjo las estructuras almacenadoras de los hidrocarburos producidos en la Cuenca Terciaria de Veracruz; esta deformación es debida a un movimiento de transgresión dextral, asociada posiblemente al movimiento

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

compresivo de la Placa de Cocos al noreste contra la Placa de América del Norte a fines del Mioceno Medio.

En general las eras geológicas cruciales para la formación de hidrocarburos son el Jurásico, el Cretácico y el Cenozoico, comparando los sucesos físicos, biológicos y climáticos sucedidos en estas etapas notamos que favorecieron la formación de yacimientos petroleros en el Golfo de México (Anexo I).

Los procesos geológicos que dieron origen al Golfo de México son de gran importancia, ya que su sincronización hizo el medio óptimo para la acumulación, preservación, transformación y evolución de la materia orgánica. Podemos notar que la acumulación, de carbonatos arcillosos, arcillas pelágicas, sedimentos calcáreo arcillosos, sedimentos terrígenos, lutitas arenisca y conglomerados, así como los procesos morfológicos y tectónicos formaron grandes sistemas petroleros (Tabla 1.2) en el Golfo de México.

<h1 style="text-align: center;">SISTEMA PETROLERO</h1>		
<p>ROCA GENERADORA: Gran contenido de materia orgánica, profundidad mínima de 1000m, para que el contenido orgánico madure. Se necesita tener un volumen importante así como calidad y madurez. Roca de grano fino:</p> <ul style="list-style-type: none"> Lutitas. Lutitas calcáreas. Margas. Calizas. Limolitas. Calizas arcillosas. 	<p>ROCA ALMACENADORA: Rocas que gracias a sus propiedades de porosidad y permeabilidad permiten el flujo y almacenamiento de los hidrocarburos. Deben tener porosidad, permeabilidad y continuidad latera y vertical.</p> <ul style="list-style-type: none"> Arenisca. Caliza. 	<p>ROCA SELLO: Tienen escasa, casi nula la permeabilidad, el espesor varia dependiendo del tamaño de poros, si este es muy pequeño y la eficiencia es muy buena, el espesor puede ser pequeño, y viceversa.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Calcáreo-arcillosos. <ul style="list-style-type: none"> • Lutitas. • Marga. • Calizas arcillosas. <ul style="list-style-type: none"> • Peliticas. • Lutitas. • Evaporitas. <ul style="list-style-type: none"> • Sal. • Yeso. • Anhidritas. • Calizas. <ul style="list-style-type: none"> • Mudstone. • Wackstone.

Tabla 1.2. Sistema petrolero, rocas representativas.

1.3 TECTÓNICA GENERAL

Los procesos geodinámicos describen la influencia del movimiento tectónico, es importante por la contribución al conocimiento sobre el origen y evolución de nuestro planeta. A su vez, este entendimiento es básico en la prospección de recursos minerales, hidrotermales y petrolíferos que se generan y acumulan en el interior de la corteza terrestre, como consecuencia de su evolución geotectónica

Descripción del Golfo de México

Las principales placas tectónicas que tienen influencia en la geología mexicana, son, la placa de Cocos, la placa del Pacífico, la placa de Rivera la del Caribe, y la principal, la placa Norteamericana (Figura 1.3).

La configuración actual de México se debe al movimiento simultáneo de las cuatro placas tectónicas, la de Norteamérica, con desplazamiento hacia el suroccidente; la del Pacífico oriental, hacia el noroeste; la de Cocos, hacia el noreste, y la del Caribe, hacia el oriente franco (Figura 1.4).

En las provincias geológicas del Golfo de México y del Caribe, se tienen esfuerzos tectónicos de separación cortical, identificados también como de tensión o distensivos, que están actuando en los márgenes continentales; éstos, a su vez, avanzan sobre los fondos más profundos de las cuencas oceánicas, como consecuencia del desplazamiento de la placa tectónica continental de Norteamérica hacia el poniente, y de la del Caribe hacia el oriente.

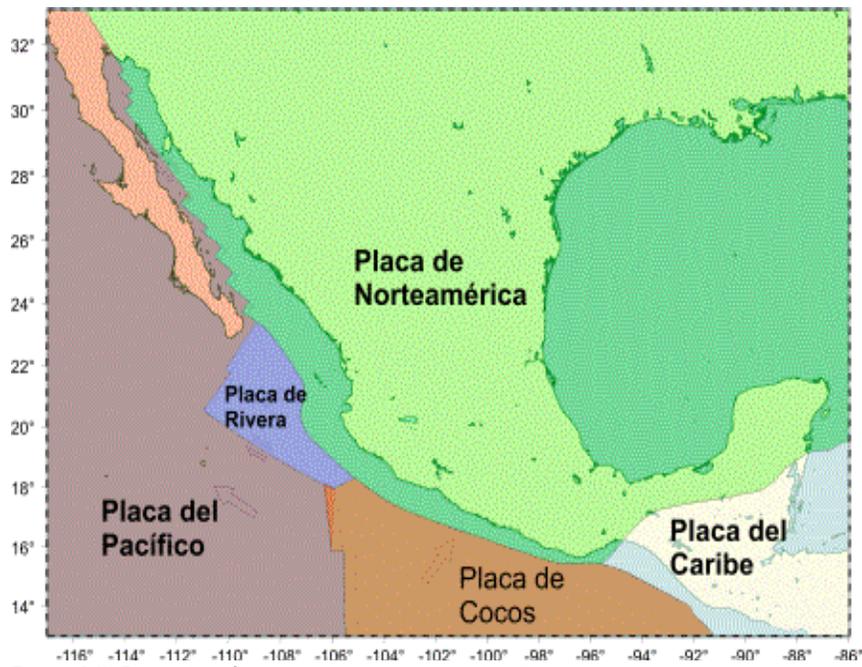


Figura 1.3. Placas tectónicas que comprende el territorio mexicano.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

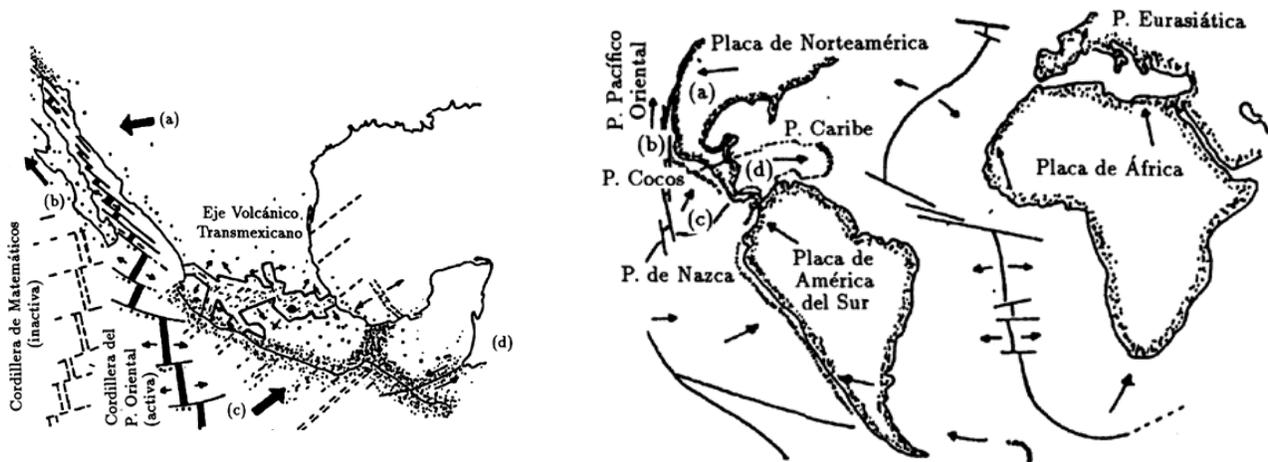


Figura 1.4. Movimiento de placas tectónicas que comprenden el territorio mexicano.

1.4 CUENCAS PETROLERAS

Los procesos geológicos antes mencionados generaron las cuencas petroleras en el Golfo de México, el tiempo geológico transcurrido favoreció a la transformación del kerógeno contenido en la roca generadora y factores como la temperatura, la presión, la expulsión, la migración así como su almacenamiento.

En el Golfo de México se fracciona en seis grandes cuencas principalmente (Figura 1.5):

- Burgos.
- Tampico-Misantla.
- Veracruz.
- Sureste
- Golfo de México Profundo.
- Plataforma de Yucatán.



Figura 1.5. Cuencas petroleras en el Golfo de México. (Pemex Exploración y Producción, Las reservas de hidrocarburos en México, 2010).

Descripción del Golfo de México

Burgos.

Es considerada como la principal cuenca productora de gas no asociado en el país.

Esta cuenca data de 1942, cercana a la ciudad de Reynosa, Tamaulipas, se define por un gran paquete sedimentario de rocas mesozoicas y terciarias acumuladas en el margen Occidental del Golfo de México (Figura 1.6). Geológicamente forma parte de la cuenca del Río Bravo que regionalmente comprende el extremo Sureste de Texas y la parte Norte de los estados de Tamaulipas y Nuevo León.

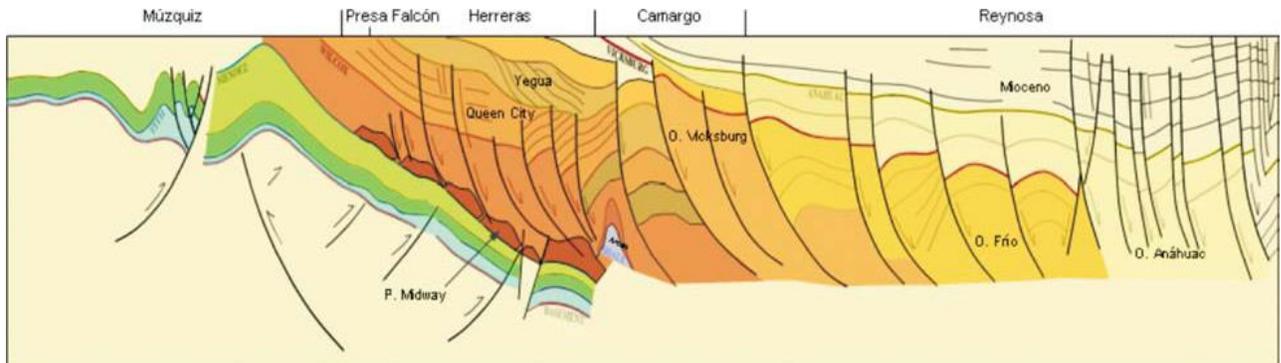


Figura 1.6. Sección estructural tipo de la cuenca de Burgos, (Pemex Exploración y Producción, Las reservas de hidrocarburos en México, 2010).

Cuenca de Tampico-Misantla.

La Cuenca de Tampico-Misantla con 50,000 kilómetros cuadrados incluyendo su parte marina, es la más antigua productora de aceite de México (Figura 1.7). Esta cuenca produce aceite pesado del Cretácico Tardío, la cuenca también produce a partir de carbonatos oolíticos del Kimmeridgiano Tardío y de cretas, del Cretácico Temprano, en los campos Tamaulipas-Constituciones, San Andrés y Arenque (este último marino). En la parte sur de la cuenca la producción se da a partir de rocas calcáreas arrecifales del Cretácico Medio que rodean al atolón desarrollado sobre la plataforma de Tuxpan. Bordeando a los campos de la Faja de Oro hay una segunda franja que produce de rocas provenientes de la plataforma depositadas como flujos de escombros en el talud de los arrecifes.

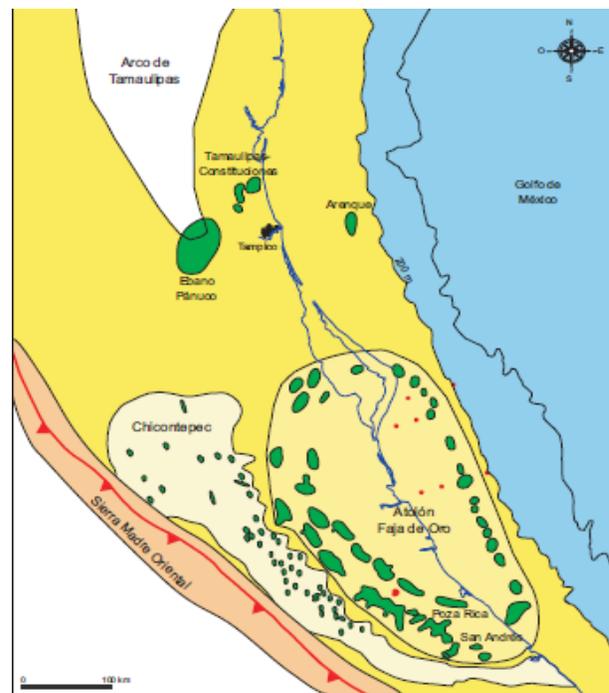


Figura 1.7. Cuenca de Tampico-Misantla que muestra las áreas más importantes, (Pemex Exploración y Producción, Las reservas de hidrocarburos en México, 2010).

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Cuenca de Veracruz.

La cuenca de Veracruz (Figura 1.8), está bien definida en dos unidades geológicas:

- El Frente Tectónico Sepultado en el occidente, caracterizado por yacimientos de aceite y gas amargo en calizas cretácicas plegadas y cabalgadas.
- La cuenca Terciaria de Veracruz que abarca la mayor parte de esta provincia y que está caracterizada por yacimientos principalmente de gas seco en rocas siliciclásticas del Mioceno-Plioceno.

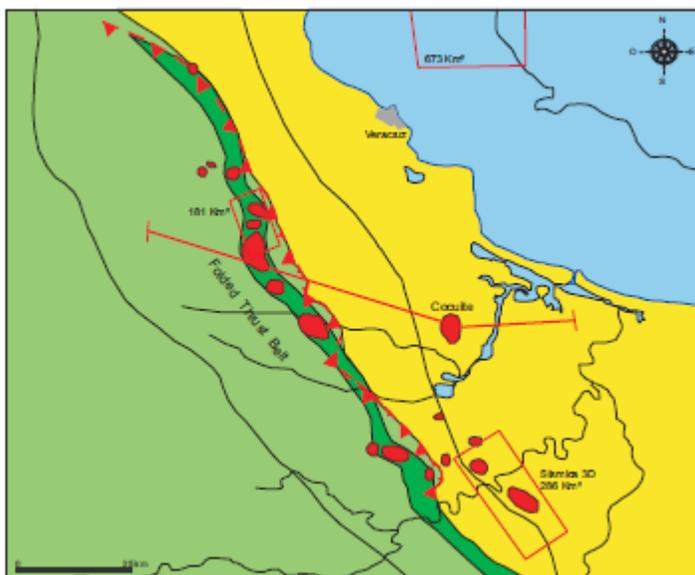


Figura 1.8. Subprovincias de la Cuenca de Veracruz, (Pemex Exploración y Producción, Las reservas de hidrocarburos en México, 2010).

Cuencas del sureste.

Cubren una extensión aproximada de 65,100 kilómetros cuadrados, incluyendo su porción marina (Figura 1.9).

Los trabajos exploratorios datan de 1905 cuando se perforaron los pozos Capoacán-1 y San Cristóbal-1. A partir de la década de los setentas, estas cuencas han sido las principales productoras de aceite en México. Están conformadas por cinco provincias:

- Chiapas-Tabasco-Comalcalco, que producen principalmente aceite ligero, y sus yacimientos corresponden al Jurásico Superior y cretácico Medio.
- Salina del Istmo, produce principalmente aceite ligero, su formación geológica es de origen Jurásico.
- Macuspana, es productora de gas no asociado en yacimientos del terciario.
- La Sonda de Campeche, de esta provincia forman parte los complejos Cantarell y KU-Maloob-Zaap, los principales campos productores de aceite pesado en el país, con origen de brechas del Cretácico, y calizas del Jurásico Superior.

Descripción del Golfo de México

- Litoral de Tabasco, producen principalmente aceite súper ligero, sus yacimientos son principalmente de calizas fracturadas del Cretácico.

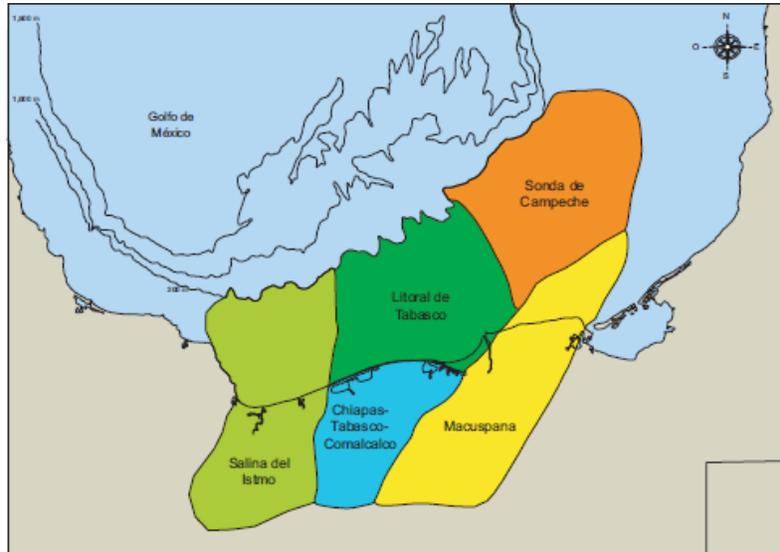


Figura 1.9. Ubicación de las Cuencas del Sureste, (Pemex Exploración y Producción, Las reservas de hidrocarburos en México, 2010).

Cuenca del Golfo de México Profundo.

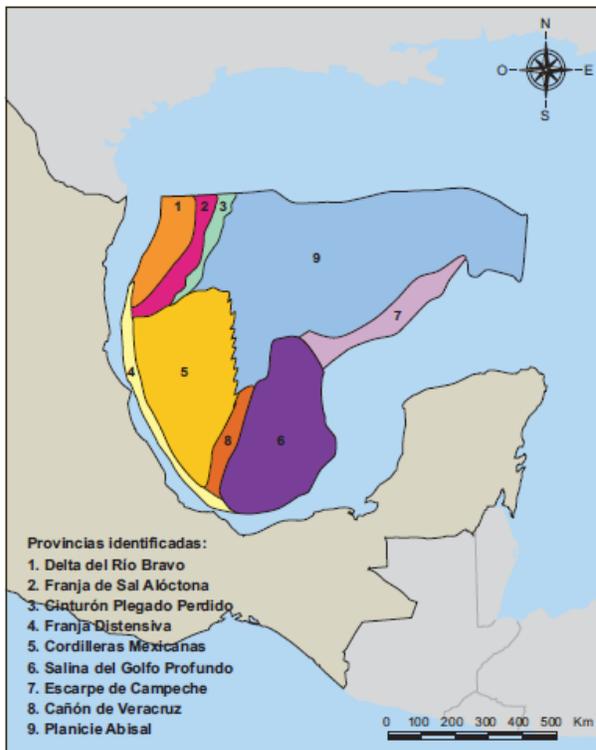


Figura 1.10. Provincias geológicas identificadas en la Cuenca del Golfo de México Profundo. (Pemex Exploración y Producción, Las reservas de hidrocarburos en México, 2010).

La porción profunda de la Cuenca del Golfo de México (Figura 1.10) se ubica en tirantes de agua superiores a 500 metros, cubriendo una superficie aproximada de 575,000 kilómetros cuadrados. Con base en la información hasta ahora adquirida, se han identificado nueve provincias; Delta del Río Bravo, Franja de Sal Alóctona, Cinturón Plegado Perdido, Franja distensiva, Cordilleras Mexicanas, Salina del Golfo Profundo, Escarpe de Campeche, Cañón de Veracruz y Planicie Abisal.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Plataforma de Yucatán

Esta provincia, con una extensión aproximada de 130,000 kilómetros cuadrados, está constituida por sedimentos desarrollados en una plataforma calcárea, donde los estudios geológico-geofísicos y la información de subsuelo no han permitido establecer un sistema petrolero activo.

En el año 2010 Pemex contaba con 233 plataformas marinas de exploración y/o producción, 4658 km de oleoductos y en promedio 6890 pozos en exploración (anuario 2010, Pemex) para la explotación de las cuencas petroleras del Golfo de México (Figura 1.11).



Figura 1.11. Cuencas productoras, Pemex Exploración y Producción, Las reservas de hidrocarburos en México, 2010.

1.5 AMBIENTES DEPOSICIONALES.

Los ambientes deposicionales dependen de la distribución y el transporte de sedimentos, vinculados estrechamente con las corrientes y descargas fluviales.

En el Golfo de México son 38 sistemas fluviales que aportan alrededor de 31.6×10^6 kg/s de agua dulce en el Golfo de México, éstos acarrearán 775 millones de toneladas de detritos y alrededor de 208 millones de toneladas de materiales disueltos, estos medios, también constituyen, desgraciadamente, rutas para la distribución de desechos tóxicos hacia el mar.

Descripción del Golfo de México

El Golfo de México recibe un importante aporte de agua dulce, ya que desembocan las descargas de los principales ríos de Norteamérica; el Río Mississippi descarga un promedio de 580 km^3 de agua dulce por año en el norte del Golfo de México y es responsable de cerca del 90% del influjo de agua. (Day et al. 2004, Rabalais 2004) y de la sección mexicana recibe el 60% y tiene el 75% de la superficie de ambientes estuarios (Botello et al. 1998).

Los periodos de descargas en el Golfo de México se presentan de manera constante. En meses de abril-mayo constituyen el periodo de mayor descarga fluvial en las costas de Estados Unidos (después de los deshielos y lluvias continentales), en el periodo septiembre-octubre es la época de mayor descarga fluvial en las costas de México (después de las lluvias continentales), de febrero a mayo se caracteriza por un periodo de secas, de junio a octubre por un periodo de lluvias de verano con presencia de depresiones tropicales, y uno de frentes fríos anticiclónicos (nortes) de octubre a febrero. Estos tres últimos periodos son constantes pero se traslapan de manera relativa, y su intensidad está variando por efectos del cambio climático global

Aun así, las descargas de los ríos no compensan la pérdida neta de agua causada por el exceso de evaporación sobre la precipitación, estimado en 127 cm al año. Considerando la densidad del agua dulce de los ríos como de 1 g/cm^3 , el valor de las descargas anuales corresponde a 62 cm de agua al año, lo que arroja un déficit de 65 cm al año, volumen que equivale aproximadamente a $34 \times 10^6 \text{ kg}^{-6}$ (Etter, 1983)

1.6 CORRIENTES.

En el Golfo de México se identifican siete principales masas de agua: Agua común del Golfo, Agua Subtropical Subyacente, Agua de los 18°C del Mar de los Sargazos, Agua Central del Atlántico Tropical, Agua Antártica Intermedia, Agua Profunda del Antártico Norte y Mezcla de Agua Intermedia del Caribe con Agua Profunda del Antártico Norte. Las cuatro primeras constituyen una capa superior de entre 0 a 500m y las tres restantes integran la capa fría inferior entre 500 a 3650m (Vidal et al., 1990).

Esta circulación oceánica en el Golfo de México se debe principalmente al viento y al transporte de masas a través del Canal de Yucatán y del Estrecho de la Florida. El agua cálida y salina que llega por el Canal de Yucatán es llevada hacia el estrecho de la Florida siguiendo una trayectoria de lazo (Figura 1.12).

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

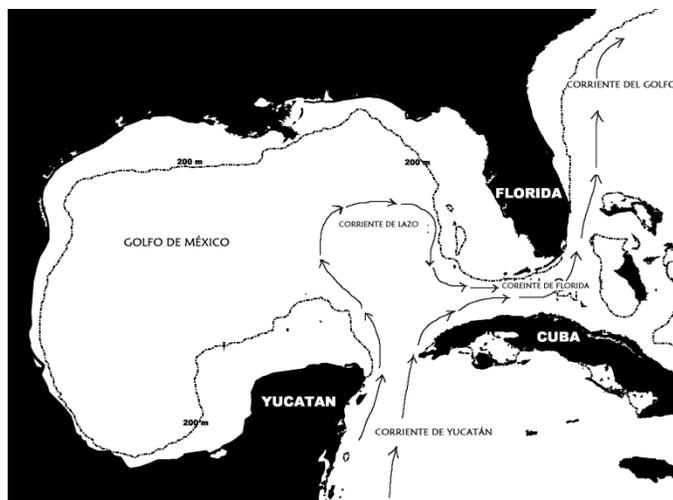


Figura 1.12. Corriente de Lazo en el Golfo de México. (Guerrero, 2013).

La corriente del Lazo y sus anillos ciclónicos y anticiclónicos (Figura 1.13) asociados constituyen los mecanismos primarios que movilizan, distribuyen y dispersan las masas de agua en el Golfo de México. Estos flujos juegan un papel decisivo en la circulación, en la renovación y en los balances térmicos y salinos de sus masas de agua superficiales; en la climatología y en la hidrografía de la vasta porción de sus regiones oriental central y occidental; en la dinámica de los procesos costeros; en la generación de las tormentas tropicales que se desarrollan con gran frecuencia en su extremo noroccidental; y en las pesquerías de sus sistemas estuarinos. Transporta del Caribe hacia el Golfo Oriental entre los estrechos de Yucatán y de Florida, volúmenes de agua estimados entre 29-33 Sv ($1\text{Sv} = 106 \text{ m}^3/\text{s}$), en tanto que los anillos ciclónicos que se desprenden de esta corriente movilizan hacia la región occidental (norte, centro y sur) del Golfo, volúmenes estimados

En el Golfo de México se presentan giros de diferentes escalas, ciclónicos y anticiclónicos dependiendo de la dirección de rotación y si tienen núcleos de baja o alta presión – el movimiento alrededor de un área de baja presión es ciclónico, mientras que alrededor de una alta presión es anticiclónico

La corriente del Golfo de México tiene un ancho promedio de 80 a 150 km y una profundidad entre 800 y 1200m. La velocidad más alta está cerca de la superficie y disminuye con la profundidad. La temperatura varía considerablemente en forma vertical, además varía en los límites de la corriente, debido al contacto con aguas frías del norte y cálidas del sur.

La corriente del Golfo lleva más caudal que el resto de las corrientes del mundo. (Monreal María A., Salas de León David y García Adolfo, Diciembre 2004, Golfo de México, circulación y productividad).

Descripción del Golfo de México

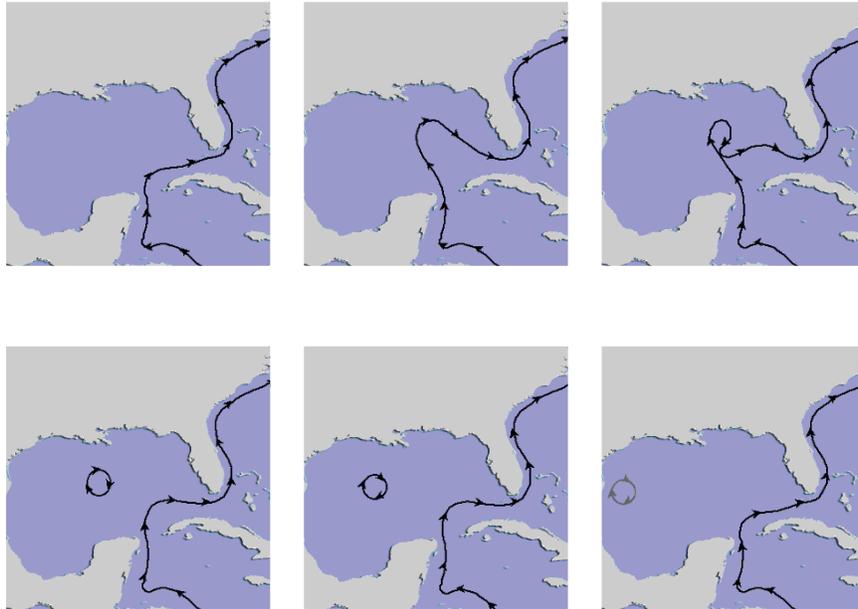


Figura 1.13. Corriente de Lazo, (Golfo de México de 2002, NOAA/REA).

En las estaciones del año (Figura 1.14), la corriente del Golfo presenta distintas características, en primavera y verano, se alcanzan los máximos de temperatura, principalmente en verano, cuando en el norte se alcanzan temperaturas superiores a los 28°C, en el centro de 28.7 °C y en el suroriente aproximadamente de 28.9 °C; la salinidad se ve afectada por la temperatura, variando así entre 36% y 36.7% y también se intensifican las corrientes, generando un ascenso de las capas subsuperficiales hacia la capa efótica, la más iluminada, llevando nutrientes que incrementan la productividad (De la Lanza, 1991).

En otoño e inviernos, las temperaturas en el Golfo de México descienden, alcanzando en el noroccidente 19°C y 31.07% de salinidad y a partir de éste, el mínimo, asciende de manera paulatina hacia el sur, hasta los 27°C y 36.68% de salinidad en la plataforma de Yucatán. En esta época es donde se presentan mayormente los “nortes” por la combinación de masas de aire polar y los giros de la corriente del lazo (Cochrane y Kelly, 1986).

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

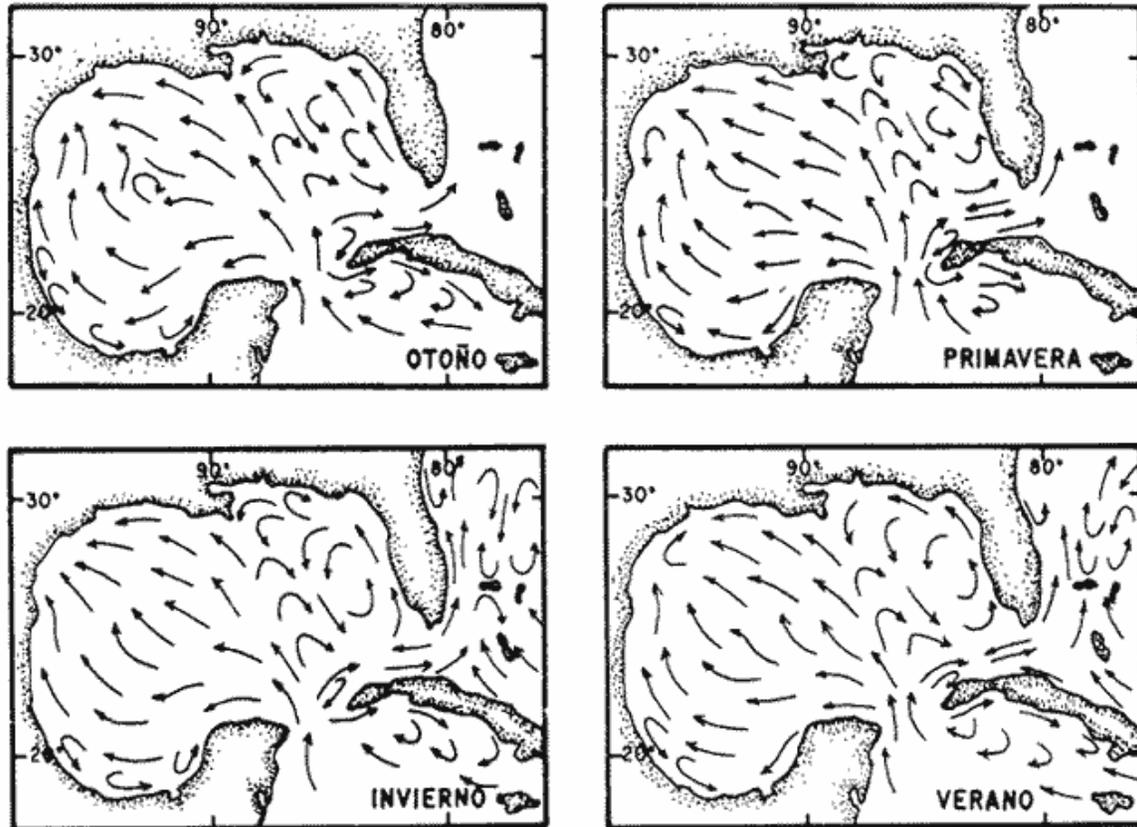


Figura 1.14. Corrientes en el Golfo de México en las distintas estaciones del año.

1.7 MAREAS.

Las mareas se deben al ascenso y descenso de la superficie de los océanos y cuerpos de agua, éstas suceden dos veces al día regidas por los movimientos de la tierra y su interacción con la luna y el sol, en el Golfo de México se presentan mareas con oscilaciones de entre 30 y 60 cm (Marmor, 1954), gracias a éstas, las interacciones con estuarios, bahías y humedales es posible. Presentan un importante papel ya que prevén de energía y nutrientes a los sistemas costeros (Hitchock, 1972).

Las mareas juegan un papel muy importante en la mezcla, alcanzando su máximo durante la luna nueva y llena, cuando ocurren las mareas vivas, mientras su menor intensidad se presenta en cuarto menguante y creciente, es la marea muerta, cuando se alcanza un mínimo rango, las corrientes instantáneas son muy importantes en la mezcla, sin embargo, en cuanto al transporte de material en suspensión y de larvas lo determinate son las corrientes residuales, definidas como un promedio de las corrientes instantáneas en un ciclo de marea.

Descripción del Golfo de México

1.8 FRENTE.

Existen frentes de diferentes escalas, los geostróficos, generados principalmente por el gradiente horizontal de temperatura, son mayores que aquellos producidos por descarga de agua dulce. Las fronteras entre la corriente de Lazo y los giros ciclónicos son zonas frontales y de tipo geostrófico, y se pueden presentar por tres mecanismos de interacción. El primero corresponde a una zona de divergencia en el que el agua de la capa inferior emerge. El segundo a una zona de convergencia producto de la interacción de la circulación ciclónica en dirección a la corriente de Lazo, cuando las densidades no son muy diferentes. El tercer mecanismo es similar al segundo, la única diferencia es que la densidad del agua de la corriente de Lazo es marcadamente más baja que la del ciclón, por lo que serán empujadas hacia arriba generando la zona frontal.

Los giros ciclónicos y anticiclónicos tienen un papel importante en la generación de frentes (Figura 1.15). En la vecindad del gran giro anticiclónico frente a las costas de Tamaulipas, se tienen dos giros ciclónicos, uno en las costas de Texas-Louisiana y el otro en la Bahía de Campeche. Por ello es factible que se generen frentes geostróficos.

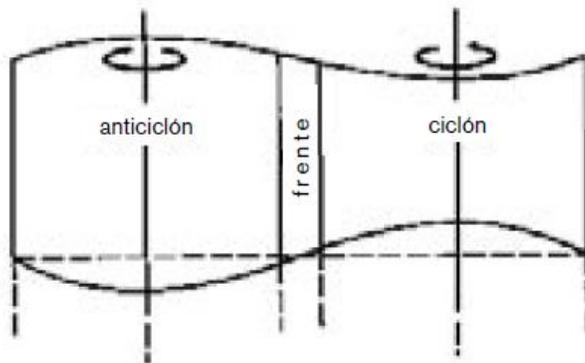


Figura 1.15. Formación de un frente geostrófico.

Estos factores hacen del Golfo de México un gran almacén de energía calórica; censor, no solo para los balances térmicos de la cuenca, si no aún del Atlántico del Norte (Leiper, 1954; Nowlin, 1972; Nowlin y Huberts, 1972; Morrison y Nowlin, 1977; Cifuentes, et al., 1986; Jonson, et al., 1992; Lewis et al., 1985; Lewis et al. 1989; Vidal et al., 1992; Lewis y Hsu, 1992; Hamilton, 1992; Fernández, et al., 1993).

El ecosistema del Golfo de México.

"En la naturaleza no existen premios ni castigos, sólo consecuencias".

Robert Green.

2 EL ECOSISTEMA DEL GOLFO DE MÉXICO.

Un ecosistema es el conjunto de seres vivos que habitan en un determinado lugar, estableciendo relaciones entre sus componentes y el medio en el que habitan.

2.1 CLASIFICACIÓN DE ECOSISTEMAS MARINOS.

Nuestro planeta está constituido por un 70% de océanos y mares. Los ecosistemas que se presentan en los mares y océanos son altamente dinámicos y se interconectan por una red de corrientes tanto superficiales como profundas; la salinidad y temperatura del agua dan lugar a la formación de capas estratificadas y corrientes, muchas veces las regiones de surgencia rompen esta estratificación mezclando las capas y crean una heterogeneidad vertical y lateral del ambiente marino. Los océanos ocupan un enorme espacio, favorable para el desarrollo de la vida, a su vez determinan los climas y el tiempo, y son el motor que transporta el calor y el agua dulce de la atmosfera, así contribuyen enormemente con la biodiversidad del planeta.

El mar, como en la tierra, es heterogéneo y presenta varios tipos de ecosistemas. Los marinos se clasifican relacionándolos con las zonas de vida, como pelágicos, asociados a las masas de agua y bentónicos, asociados a los fondos marinos; o con las biocenosis características, como ecosistemas de arrecifes de coral, mangares, pastos marinos,

humedales, etc. (Figura 2.1).

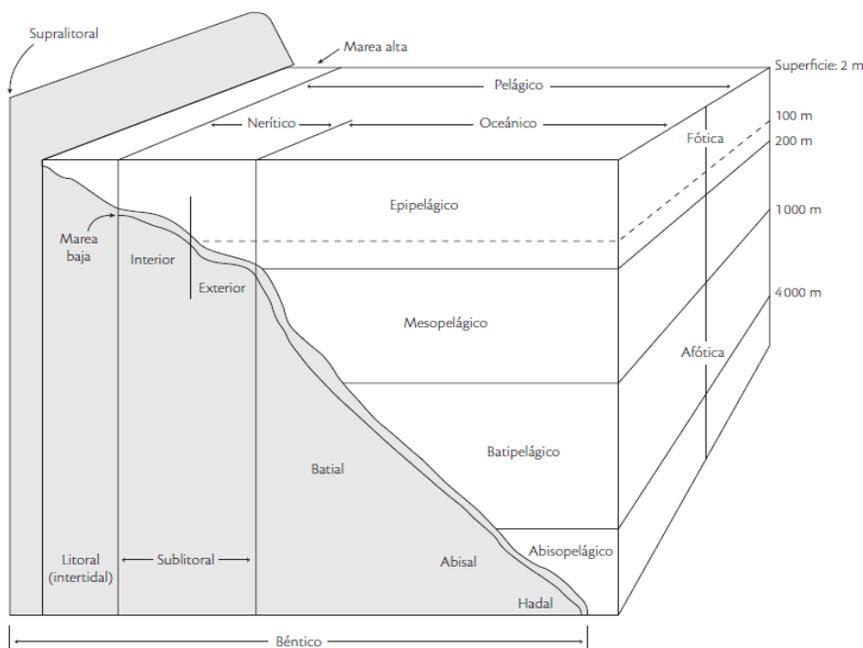
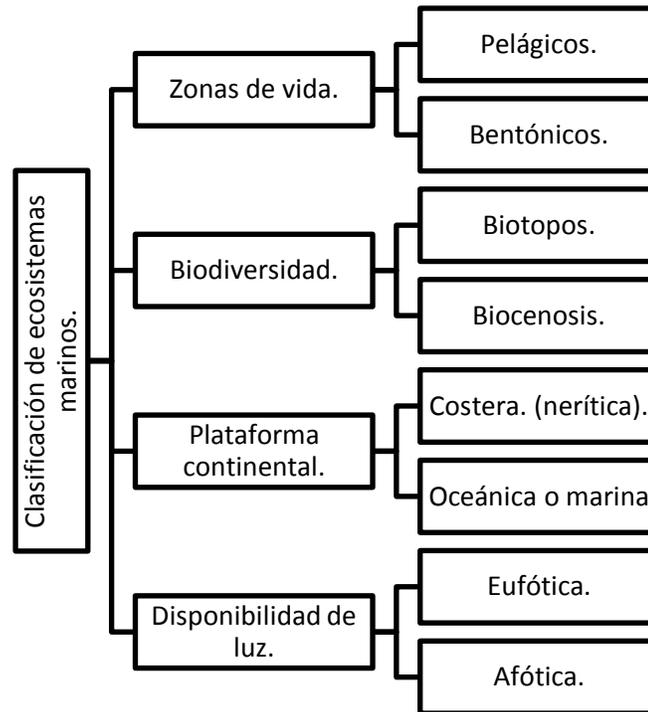


Figura 2.1. Esquema de ambientes marinos

A su vez, cada zona se diferencia en costa (nerítica) u oceánica o marina, según su ubicación respecto a la plataforma continental. Se clasifica también de acuerdo a la disponibilidad de luz para la fotosíntesis y distingue dos zonas: la eufórica y la afótica; en esta

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

última habitan organismos que viven en permanente oscuridad y por lo tanto dependen del aporte de energía de otros sistemas; también se pueden clasificar de acuerdo con criterios funcionales según la fuente de energía metabólica que utilizan los organismos que viven en el mar fitoplancton, macroalgas, ecosistemas quimiosintéticos, etc. (Cuadro 2.1)(Mann, 1989).



Cuadro 2.1. Clasificación de ecosistemas marinos.

2.1.1 ECOSISTEMAS PELÁGICOS.

Los ecosistemas pelágicos se basan en la producción del fitoplancton y son responsables de 90% de la producción de carbono orgánico a escala mundial, no tanto por ser muy productivos si no por ocupar una gran superficie marítima, ya que la productividad del fitoplancton depende de la luz y la concentración de nutrientes en el agua. La actividad pesquera principalmente se lleva a cabo en esta zona.

Las plataformas continentales como ecosistema sostienen una producción pesquera nacional y ejercen un papel notable sobre la productividad primaria regional, pues contienen una gran variedad de comunidades marinas se definen como un área que se extiende de la línea de la marea en el margen continental al inicio del talud y cae rápidamente a casi una profundidad de 200m

El ecosistema del Golfo de México.

El clima, la hidrología, la descarga fluvial, las prácticas de uso de suelo o de deshecho de la basura, la pesca, la acuicultura y la extracción de recursos no renovables son agentes que inducen el cambio. Las tendencias en todos estos agentes, particularmente los generados por el hombre, indican que estos sistemas estén en presión en un futuro inmediato.

2.1.2 ECOSISTEMAS BENTÓNICOS.

El mar profundo se define como la porción de los mares localizada a profundidades mayores a 200m. Se extiende por miles de kilómetros sin barreras físicas o biológicas. Estos hábitats se distinguen de cualquier ecosistema del planeta y se caracterizan por una productividad biológica baja, energía física relativamente baja (corrientes de velocidades < 0.25 nudos), tasas biológicas reducidas por la temperatura baja (2 a 4°C) y el aporte alimentario limitado, de 1 a 10 $gC/m^2año$ donde el fitodetrito es el principal aporte alimentario.

La mayoría de las especies que viven en estos fondos son endémicas, y la diversidad es elevada registrándose entre 21 y 250 especies en un área de 0.25 m^2 de lodo del mar profundo; en el Suroeste del Golfo se han registrado 1442 especies, enfocadas a las especies de importancia comercial (ostiones, almejas, camarones, peneidos, etcétera).

El mar profundo en México presenta una diversidad de hábitats que incluyen taludes continentales, trincheras, dorsales y zonas de subducción y expansión, montes marinos, ventilas hidrotermales infiltraciones de metano y cañones submarinos que se distribuyen como islas en la vastedad de los fondos lodosos.

Las principales amenazas para el mar profundo en México se prevén el desecho de basura industrial, urbana y proveniente de naves, la pesca profunda con líneas, la extracción de minerales, petróleo y gas.

La diversidad de este complejo en el SO del Golfo de México se ha estimado en un total de 1422 especies. La mayoría de los registros faunísticos de que se dispone son de tipo descriptivo y la información cuantitativa se restringe a especies de importancia comercial (ostiones, almejas, camarones peneidos).

Dentro de los ambientes bentoníticos existen ventilas hidrotermales, se encuentran en ambientes inhóspitos, con temperaturas de congelación y presiones superiores a 200 atmósferas.

Las ventilas hidrotermales se originan en las fisuras del piso oceánico, cuando las grandes placas tectónicas se desplazan sobre la corteza terrestre, dejando espacios por los cuales se filtra el agua oceánica con temperaturas de 2 a 4° C. Al calentarse el agua por su proximidad con la cámara magmática, la diferencia de densidades ocasiona su expulsión a manera de géiser submarino (temperaturas > 300°C), disolviendo a su paso los contenidos minerales de rocas de la propia corteza.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Estudios revelan, que en el Escarpado de Florida y en la costa de Luisiana, en el Golfo de México, estas ventilas se presentan a menos de 1000m (Paul et.al., 1984; Brooks et al., 1987).

2.1.3 ECOSISTEMAS CARACTERÍSTICOS.

La gran diversidad de ambientes y recursos biológicos que existen en el Golfo de México crea condiciones favorables para la proliferación de vida, desde los ecosistemas templados y subtropicales, hasta los arrecifes coralinos, los pastos marinos, lagunas costera, estuarios, ríos, pantanos y manglares, muchos de estos ecosistemas están conectados estrechamente por un mismo flujo de energía a través de una compleja trama trófica, donde existen mecanismos a diferentes escalas espacio-temporales que promueven una alta producción primaria, si bien esta energía no es usada por todo el ecosistema coadyuva al almacenamiento de la energía que fluye subsecuentemente al resto de la cadena alimentaria.

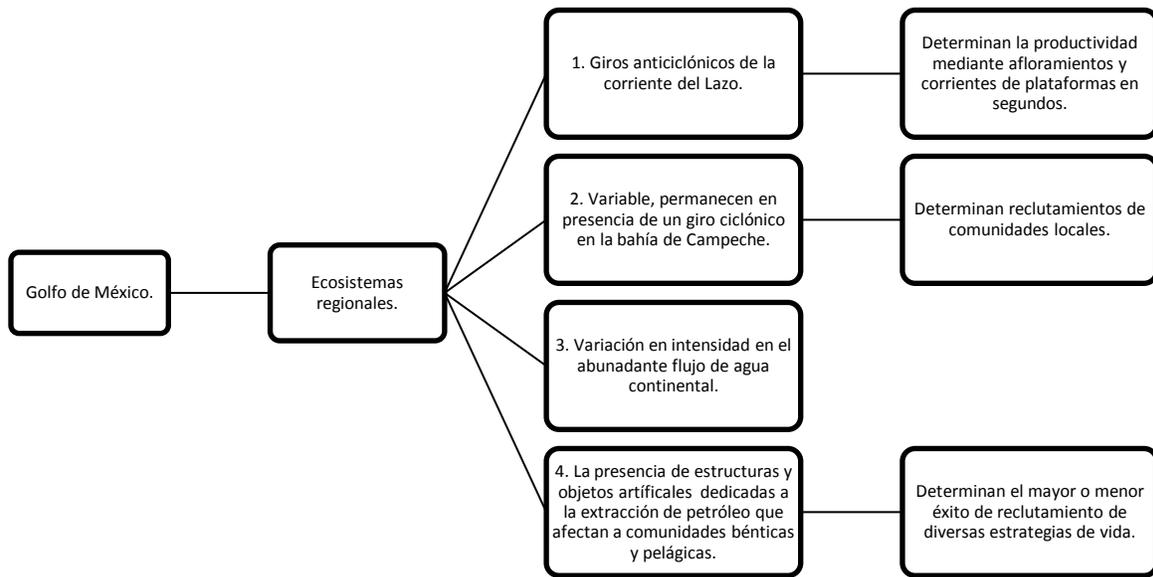
La composición, distribución y estructura de las comunidades marinas responden a las variaciones estacionales de factores ambientales, fenómenos como cambio en el patrón de los vientos, en el campo de la temperatura y en la precipitación que influyen en la circulación, la cual es parcialmente responsable de la ubicación espacial de los organismos al definir el patrón de la distribución de parámetros hidrográficos como la salinidad, la temperatura y la densidad (Cuadro 2.2).

La dinámica del Golfo de México da como resultado una gran diversidad faunística es un área importante para la reproducción de diversas especies.

También representa un área de interés comercial y biológico, se reconocen 144 especies de aves, tanto locales como estacionales, 318 especies de peces y una gran riqueza de crustáceos y poliquetos, en su mayoría endémicos.

La mayoría de los ambientes costeros en el Golfo de México como estuarios, marismas, manglares y pastos marinos, se caracterizan por una alta productividad biológica más que por una alta diversidad de especies, esto quiere decir que existe un aporte muy grande de nutrimentos para especies intermitentes y un gran aporte para la cadena alimenticia y éstos son importantes para otros ecosistemas marinos, como arrecifes coralino, para el desarrollo humano por las pesquerías y los servicios que estos proveen, como el turismo y la preservación de áreas naturales.

El ecosistema del Golfo de México.



Cuadro 2.2. Elementos que determinan la interconexión de los ecosistemas regionales (Arenas Y Salas, 2005).

Posee áreas de reproducción de especies como la laguna de Términos, Celestún, Lagartos e Yalahau.

En la zona oceánica del Golfo de México, se encuentran comunidades de peces, fitoplancton, mamíferos marinos, quelonios, zooplancton, aves residentes y migratorias, y vegetación asociada a islas, atolones y cayos.

2.1.4 ORGANISMOS.

Los seres vivos han sido catalogados a lo largo de la historia en diferentes clases, la más aceptada y usada contemporáneamente es la clasificación en cinco grandes reinos (Robert Whittaker, 1959), basándose en características celulares, requisitos nutritivos, diferencia de tejidos, características físicas y químicas (Anexo II).

El avance de la microbiología y estudios realizados sobre la producción primaria en el medio marino, demostró que son los microorganismos los que están en la base y en el final de la red trófica, anteriormente llamada cadena alimenticia (Figura 2.2).

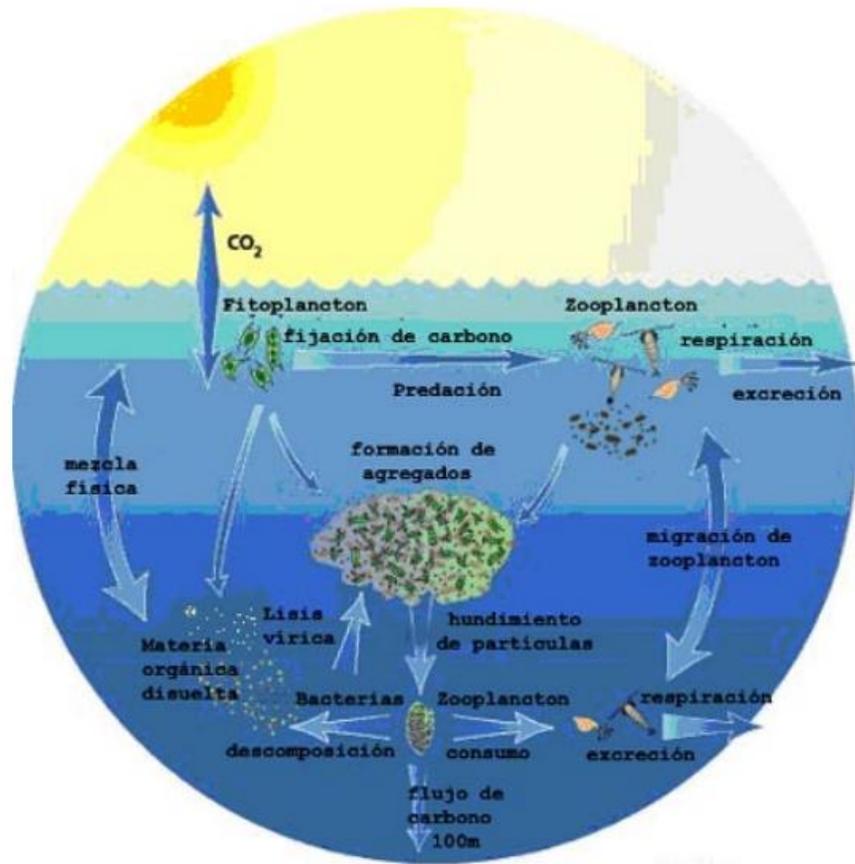


Figura 2.2. Esquema de parte de la red trófica oceánica dando relevancia al papel fundamental de microorganismos.

2.1.5 RED TRÓFICA.

Una cadena trófica (del griego *throphe*, alimentación) describe el proceso de transferencia de nutrientes a través de diferentes especies que conforman una comunidad biológica, en el que cada elemento se alimenta del precedente y es el alimento del siguiente eslabón, formando una cadena lineal de eslabones que dependen del inmediato anterior, esta cadena es estricta, es decir, si perece algún eslabón de esta cadena, los posteriores se quedarán sin alimento, al mismo tiempo se superpoblara el nivel inmediato anterior, debido a que su depredador ya no coexiste, así pues se desequilibrarán los niveles de estas cadenas debido a lo supuesto anteriormente.

La trama trófica (Anexo III; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se inicia con un vegetal, un productor u organismo autótrofo, éste sintetiza sustancias orgánicas a partir de sustancias inorgánicas que toma del aire y/o suelo; y energía solar (fotosíntesis) o mediante reacciones químicas (quimiosíntesis). A los demás se les denomina consumidores

El ecosistema del Golfo de México.

El plancton es, en la cadena trófica, productor y la fauna marina, debe el 95% de su



productividad, garantiza una fuente constante de alimento, y gracias a su actividad fotosintética, es un gigantesco fabricante de oxígeno, un elemento de gran importancia para el desarrollo de la vida en general, de hecho, el 50% de oxígeno, es liberado por el fitoplancton (Figura 2.3).

El fitoplancton es plancton vegetal, y el zooplancton es plancton animal, es decir, el primero es capaz de producir su propio alimento (autótrofo), como las plantas por medio del proceso de fotosíntesis, a partir del agua, gas carbónico y energía luminosa; el segundo, por el contrario, está

constituido por organismos heterótrofos que no pueden sintetizar su alimento, lo obtienen por ingestión de partículas vivas o muertas.

Figura 2.3. Trama trófica marina.

La pirámide trófica () representa el grado y la importancia de cada uno de los organismos que componen los ecosistemas.

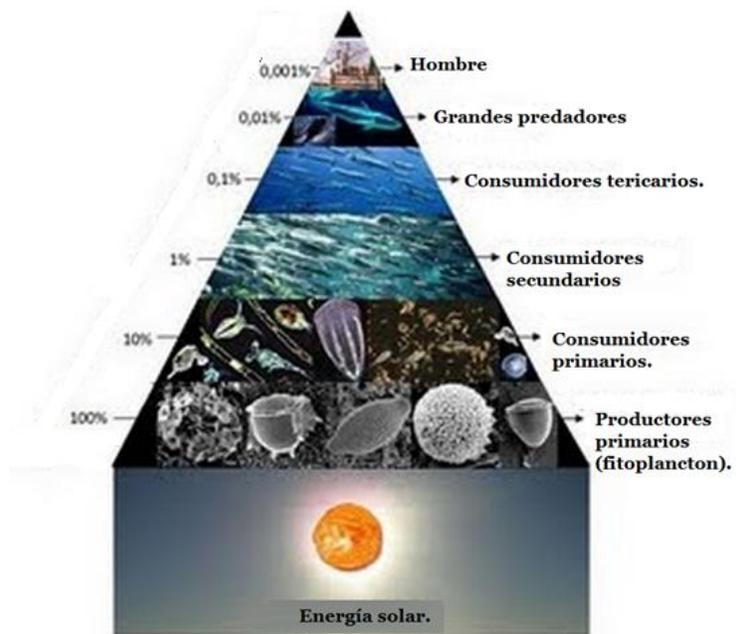


Figura 2.4. Pirámide trófica marina

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

2.2 FAUNA REPRESENTATIVA DEL GOLFO DE MÉXICO.

2.2.1 MAMIFEROS

Los mamíferos más representativos del Golfo de México, desgraciadamente en su mayoría se encuentran en peligro de extinción.

Dentro del grupo conocido como “mamíferos marinos” se ha incluido a los vertebrados de la clase Mammalia que pasan la mayor parte de su vida y obtienen su alimento principalmente en el medio acuático, ya sea marino o dulceacuícola. Este grupo no es una categoría taxonómica propia, sino un conjunto de especies de mamíferos de tres órdenes: Carnívora (focas, lobos marinos y morsas, conocidos como pinnípedos), Sirenia (manatíes y dugongos) y Cetácea (ballenas, delfines y marsopas). En el Golfo de México se ha registrado la presencia de 30 especies de mamíferos marinos: una especie de carnívoro, una especie de sirenio y 28 especies de cetáceos (Jefferson y Schiro 1997, Würsig et al. 2000) (Anexo IV).

Con excepción De la ballena picuda de Sorwerdy (Figura 2.5), todas las especies de mamíferos del Golfo de México están incluidas en la lista de especies riesgo de la NOM-059-ECOL-2001 (D.O.F 2002). En dicha norma, la foca monje se considera probablemente extinta en medio silvestre, la ballena franca del norte y el manatí se consideran en peligro de extinción y el resto de las especies están sujetas a protección especial.

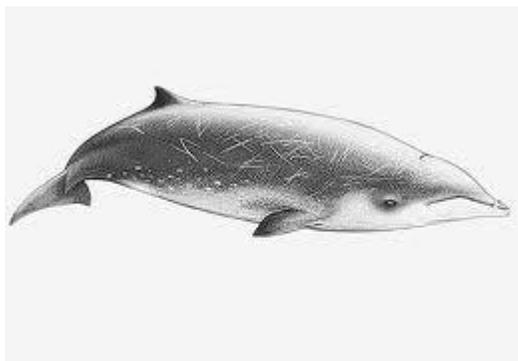


Figura 2.5. Ballena Sorwerdy.

México es en general uno de los países más ricos en mamíferos y especies marinas (e.g, McNeely et al., 1990; Ceballos y Navarro, 1991; Ceballos y Brown, 1995), su riqueza es el resultado de la interrelación de varios factores como la posición geográfica, las variaciones espacio-temporales de estas corrientes y la historia geológica del país (De la Lanza, 1991).

2.2.2 CETACEOS.

Los cetáceos oceánicos del Golfo de México se encuentran con mayor frecuencia en el talud continental y en áreas con mayor concentración de clorofila, como son los remolinos ciclónicos y la confluencia entre pares de remolinos anticiclónico -ciclónico (Biggs et al. 2000, Baumgartner et al. 2001, Davis et al. 2002, Ortega-Ortiz 2002).

El ecosistema del Golfo de México.

2.2.3 ICTIOFAUNA

La diversidad de especies que se han encontrado en el Golfo de México es una de las más extensas del mundo.

La importancia de la ictiofauna del Golfo de México (Anexo V), la explotación de estos recursos se ha centrado principalmente en las pesquerías monoespecíficas de crustáceos y peces que han constituido la principal fuente de productos pesqueros para el alimento, sin embargo, no han sido explotados racionalmente, ni con bases científicas en toda su historia (Departamento de flora y fauna acuáticas, 1986).

La Ictiofauna es el pilar más importante en el desarrollo de la cadena trófica, provee predadores y evita la superpoblación.

2.2.4 AVES.

Los datos existentes para el Golfo de México sólo nos permiten tener listados de especies, y no permiten hacer comparaciones detalladas de cambios de distribución, ni mucho menos determinar cambios en las abundancias absolutas o relativas de las especies ahí presentes, a lo largo del tiempo.

La mayoría de las especies de aves marinas dependen de organismos marinos para su alimentación, la composición de especies de la comunidad de estas aves está determinada, en gran medida por los procesos regionales que influyen en la composición de especies de todo el ecosistema y la productividad primaria marina.

Con base en los datos disponibles se ha podido detectar que en el Golfo de México existen 23 especies de aves, de las cuales el 44% son consideradas acuáticas, el 29% terrestres y el 27% marinas (Figura 2.6). Las especies se agrupan en 17 órdenes y 46 familias (Anexo VI).

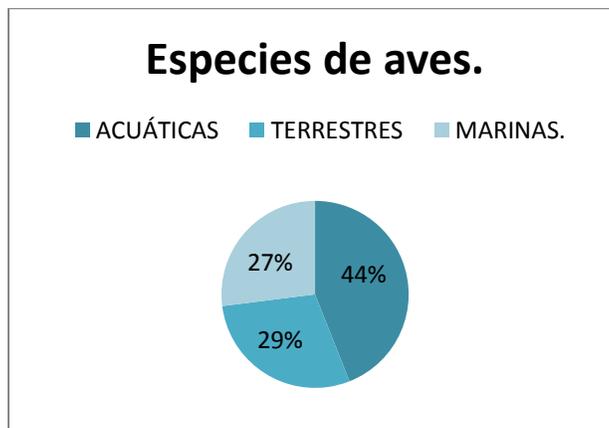
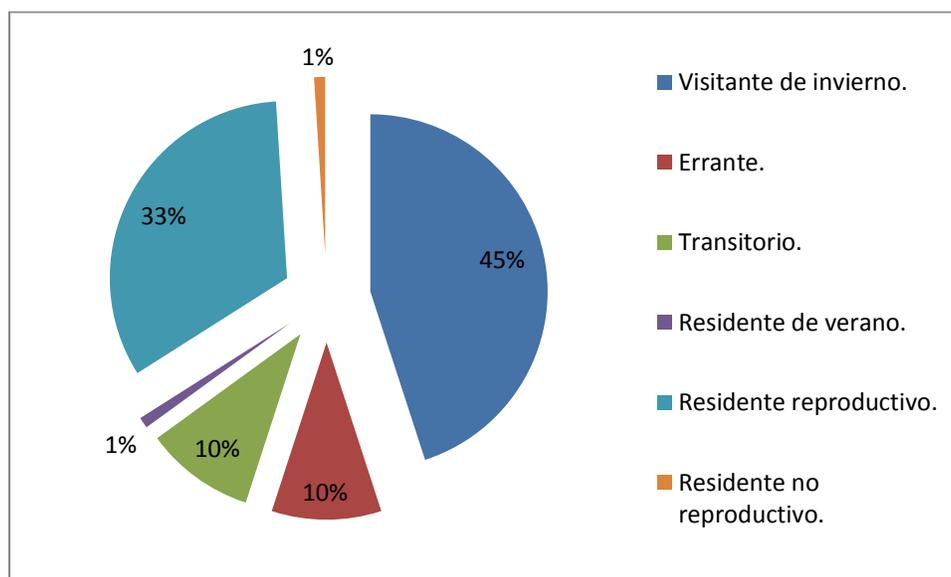


Figura 2.6. Porcentaje de especies marinas en el Golfo de México.(Guerrero, 2013)

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

La avifauna hasta ahora encontrada en el Golfo de México representa aproximadamente el 22% de las 1,060 especies de aves reconocidas para México (Navarro y Benitez, 1993)..

Las especies de la comunidad de aves del Golfo de México muestran una marcada estacionalidad, ya que el 45% son visitantes de invierno, pasando ahí los meses invernales del Hemisferio Norte, el 10% son transitorios y sólo pasan un corto tiempo en el Golfo de México, mientras llegan a sus sitios de invierno, generalmente en latitudes más sureñas, otro 10% son accidentales o errantes (Cuadro 2.3) , cuya presencia en el Golfo de México se encuentra poco documentada o se encuentra con registros solo esporádicos, como el playero púrpura (*Calidris marítima*).



Cuadro 2.3. Distribución porcentual de las especies de acuerdo con su estacionalidad, en el Golfo de México.

Es importante señalar que el alto porcentaje de especies no residentes se debe al hecho notable de que el Golfo de México se encuentra en la convergencia de las cuatro rutas migratorias de aves en América del Norte (Hines, 1978), formando uno de los corredores más importantes a nivel mundial reconocidos hasta ahora para aves migratorias (Zalles y Bildstein, 2000).

2.3 RIQUEZA BIOLÓGICA DEL GOLFO DE MÉXICO

La riqueza biótica del Golfo de México está determinada por la amplitud de su plataforma continental (al Sur y al Oeste de la Florida, frente a Louisiana-Texas y en la sonda de Campeche, tiene más de 150 km); las enormes descargas de sistemas fluviales (sobre todo en los ríos Mississippi y Grijalva- Usumacinta), los movimientos de sus masas de agua (cuyos desplazamientos ondulatorios y verticales permiten la formación de amplias zonas de surgencias); la calidez de sus aguas superficiales (cuya estabilidad superior a los 20°C prácticamente durante todo el año es extremadamente importante para las

El ecosistema del Golfo de México.

especies que la habitan: la mayoría de los peces de valor alimenticio y pesquero viven entre los 20 y 50 metros de profundidad); las condiciones particularmente de luminosidad para la vida marina (su zona eufórica abarca hasta el fondo de sus productivas plataformas carbonatadas); la estabilidad de sus salinidades superficiales; el comportamiento del oxígeno disuelto y la densidad de sus masas de agua ; así como la distribución de sus nutrientes, hacen del Golfo de México un gran almacén de energía y una de las regiones biológicamente más productivas del Atlántico tropical.

2.3.1 SISTEMAS ESTUARINO-LAGUNARES.

Más del 50% de los litorales del Golfo de México están bordeados por estuarios, bahías y lagunas costeras (Figura 2.7).



Figura 2.7. Sistemas lagunares del Golfo de México.

los E.U.A. y Yucatán. Tamaulipas cuenta con el 41%, de esta superficie estuarino-lagunar, 231,200 ha; Veracruz, con el 19% 116,600 ha; Tabasco con el 3%, 24,800 ha y Campeche con el 37%, 196000 ha (Contreras y Zabalegui, 1988).

Los sistemas lagunares, son energéticamente abiertos y altamente subsidiados por los ambientes adyacentes (terrestres, marinos y atmosféricos) con ciclos geoquímicos complejos, con una alta productividad potencial y un gran número de utilidades humanas. Su alta diversidad de factores ambientales, hábitats, conexiones internas e interacciones con los ecosistemas adyacentes, así como sus complejas tramas tróficas, dotan a estos ecosistemas de una elevada riqueza faunística y florística. Hábitats de alta

Los 207 estuarios primarios, secundarios y terciarios reconocidos a lo largo de las costas estadounidenses, representan la mayor extensión de estos hábitats que posee el país, si se exceptúa a Alaska. Louisiana posee el 43% de estos sistemas naturales; Texas el 19%, Mississippi, el 6% y Alabama el 6% (Thayer y Ustach, 1980; Gayer y Gimmona, 1985). México posee 24 grandes sistemas

lagunares-estuarinos entre su frontera con

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

sedimentación, ambientes de bajas salinidades, salobres y salinos, permiten la proliferación de una flora diversa y abundante. El elevado potencial productivo se calcula en 6 a 36 kg/ha/año. Entre los estuarios y lagunas costeras mexicanos, sobresalen por su elevada riqueza faunística: Laguna Madre con 78 especies; Tamiahua, con 105 especies; Tuxpan-tampachoco, con 99, Alvarado, con 89, Sontepomacan, con 98 y sobretodo la Laguna de Términos, con 122.

2.3.2 HUMEDALES COSTEROS

Las olas y mareas controlan los ritmos biológicos de un vasto reservorio de nutrientes y energía del litoral del Golfo de México, los humedales costeros (Figura 2.8). El 63% de los humedales estadounidenses y más del 50% de los humedales mexicanos se encuentran en esta región. La mayoría se concentran en las costas de Louisiana, Texas y Florida.

En la cuenca del Grijalva-Usumacinta, en los estados de Tabasco y Campeche, se concentra la mayor extensión de humedales costeros de México. Éste es un ecosistema de alta productividad primaria neta, comparándola con otros ambientes costeros.

La mayoría de los humedales exportan nutrientes orgánicos particulados y disueltos a los estuarios y a los sistemas costeros adyacentes. Los reclutamientos en sistemas de humedales dependen parcialmente de las circunstancias controladas por mecanismos de flujos, como la duración y rango diario de las mareas.

La mayoría de los humedales exportan nutrientes orgánicos particulados y disueltos a los estuarios y a los sistemas costeros adyacentes. Los reclutamientos en sistemas de humedales dependen parcialmente de las circunstancias controladas por mecanismos de flujos, como la duración y rango diario de las mareas.

La energía que aportan al medio los humedales, es de vital importancia para una gran cantidad de especies que dependen completamente de éstos para alimentación, reproducción y crecimiento.

El ecosistema del Golfo de México.

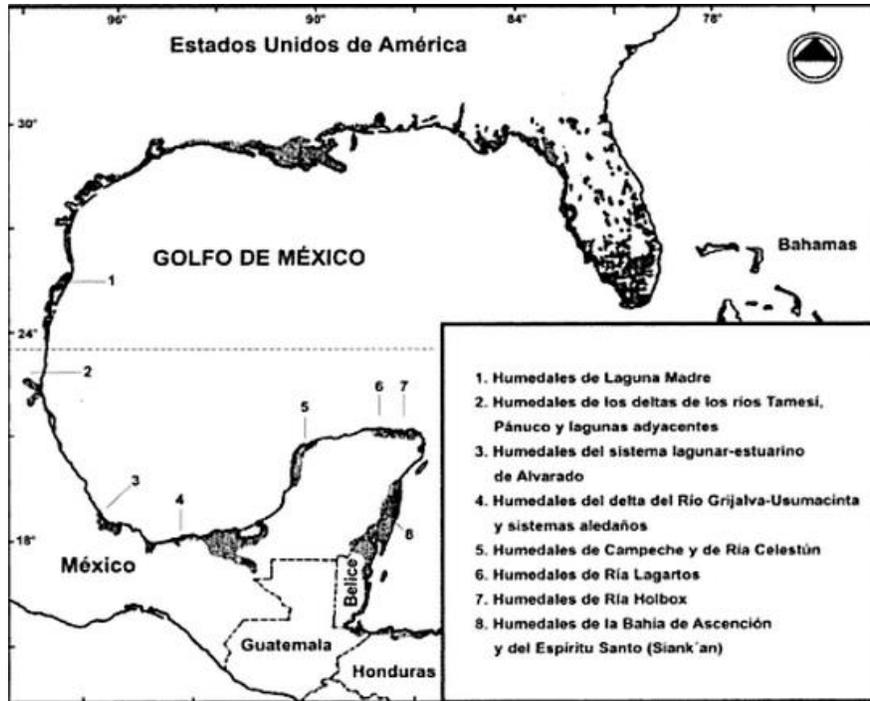


Figura 2.8. Humedales costeros del Golfo de México.

2.3.3 MANGLARES

Entre los ecosistemas costeros tropicales de alta diversidad destacan los bosques de mangle que bordean amplias zonas del litoral del Golfo de México. El manglar es una planta que se caracteriza por tener la habilidad para tolerar la salinidad y para crecer en los sustratos lodosos y arenosos de los estuarios y lagunas costeras tropicales, esta capacidad lo hace prevalecer frente a otras comunidades de los ambientes costeros (Figura 2.9).



Figura 2.9. Bosque de mangle.

Desde las raíces hasta el dosel, el manglar provee de una gran cantidad de hábitats a especies acuáticas y terrestres como canales entre raíces, charcos permanentes y semipermanentes, espacios intersticiales en los suelos fangosos, raíces superficiales,

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

huecos en las ramas y perchas en las copas. La enorme cantidad de energía almacenada en sus hojas es la fuente para el sostenimiento de los consumidores primarios.

2.3.4 PASTOS MARINOS.

Los pastos marinos son abundantes en los estuarios y en los ambientes someros del Golfo de México, extensas praderas de pastos marinos, especialmente en la sonda Campeche-lagunas Términos, en la zona de cayos y arrecifes coralinos de Veracruz y en los sistemas lagunares de Tamaulipas. Se trata de un hábitat de gran importancia para la economía biológica, sobre todo por sus funciones de estabilizadores de sedimentos y de sitio de crianza y alimentación para una enorme variedad de peces e invertebrados (Heck y Orth, 1980; Ibarra 1993).

2.3.5 ARRECIFES CORALINOS

Las plataformas carbonatadas del Golfo de México son un rasgo geomorfológico característico de la extensión de la plataforma continental, propicia estos ecosistemas debido a los sedimentos terrígenos depositados por descargas fluviales.

Los arrecifes coralinos figuran entre los ecosistemas tropicales de mayor diversidad y valor estético (Di Salvo y Odum, 1974; Macintyre et al., 1982). Estos ecosistemas sostienen una alta productividad de biomasa y al mayor número de especies de cualquier otro ecosistema marino o terrestre.

Productores bénticos, macroalgas y microalgas, son los principales responsables de estas altas tasas de productividad. Estos organismos politróficos presentan simbiosis íntimas entre plantas y animales, que desempeñan simultáneamente funciones de productores primarios, de consumidores primarios y secundarios (Gladfelter, 1982).

La producción de carbonato de calcio de un arrecife varía entre 400 y 2000 toneladas por hectárea. Esta intensa y perpetua actividad juega un papel decisivo para el mantenimiento del equilibrio químico de las aguas oceánicas al procesar los enormes volúmenes de sedimentos carbonatados arrastrados al lecho marino por corrientes y descargas fluviales.

Cumplen una función igualmente crítica como áreas de refugio, cría y alimentación de las numerosas especies que las habitan de un modo permanente o en forma estacional. Hasta ahora se han logrado identificar entre 500 y 700 especies de fauna en los arrecifes. Los fenómenos naturales como los fuertes vientos y el oleaje producido por las tormentas y los huracanes tropicales son factores ambientales que provocan a menudo la destrucción de los arrecifes. Cambios en la temperatura del agua, flujos y excesivos de aguas dulces y sedimentos, también producen la mortalidad masiva de estas formaciones. Difícilmente pueden mantenerse las condiciones de estabilidad que exigen la salud de estos ecosistemas, en áreas de intensos tráficos marítimos, de actividades energéticas, pesqueros y de altos crecimiento de poblaciones humanas y desarrollos turísticos.

El ecosistema del Golfo de México.

En el territorio mexicano existen cerca de treinta formaciones arrecifales que se desarrollan en un rango de 2 a 40 metros de profundidad sobre la plataforma continental y tienen una orientación generalmente de Noroeste-Sureste, lo que sugiere una fuerte influencia de las corrientes costeras y de los vientos prevalecientes sobre su morfología.

El número de especies en la ictiofauna registrada en los arrecifes mexicanos asciende a 237 especies, de las cuales 94 se han reportado para el arrecife de Lobos (Tuxpan, Veracruz); 41 se conocen en Triángulos Oeste (Banco de Campeche, México); 38 de Cayo Arcas (Tres islas entre Yucatán y Campeche); 32 en Cayo Arenas (Yucatán) y 142 del arrecife Alacranes (Yucatán) (Pérez-Hernández, 1989; Vargas et al., 1989), habrá que agregar aves residentes y migratorias.

2.4 CAUSAS DE PERTURBACIÓN.

Anteriormente se consideraba que la explotación directa era la principal causa de la extinción de la fauna marina, sin embargo existen otros inconvenientes derivados de actividades antrópicas que inciden negativamente en la sobrevivencia de muchas especies. Estos factores generalmente tienen profundos impactos en las poblaciones de fauna marina a escalas locales y regionales (Torres et. al).

El desarrollo turístico en los últimos años en la porción noroeste del país ha aumentado considerablemente, esto aumenta los índices de desechos arrojados al mar, así como la perturbación hacia la fauna marina, por la visita a sus hábitats de reproducción.

Desde hace varias décadas se han encontrado niveles altos de sustancias contaminantes en los tejidos de muchas especies de mamíferos marinos (Holden y Marsden, 1967). A pesar de que todavía no se ha podido determinar con precisión los efectos de mortalidad en algunas especies (Gaskin, 1982; Morris, 1989; Thompson y Hammond, 1992).

Existen problemas graves de contaminación por petróleo. Las elevadas concentraciones de estas sustancias, que pueden ser venenosas y cancerígenas, se deben principalmente a la explotación petrolera (Arenas, 1973; Botello, 1979). En 1985 se detectaron altos niveles de hidrocarburos en sedimento, superiores a las normas internacionales permitidas (Botello, 1986).

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México.

*"Nadie tiene derecho a quitar la vida que no puede crear".
Mahatma Gandhi.*

3 CAUSAS DE LOS DERRAMES DE PETRÓLEO EN EL GOLFO DE MÉXICO.

Los derrames de petróleo también son conocidos como mareas negras, SEMARNAT (PRASA; 2003) lo define como cualquier descarga, liberación, rebose, achique o vaciamiento de hidrocarburos, y PEMEX en 1999 menciona que las fugas de hidrocarburos corresponden a la salida o escape de un líquido o gas, causadas por algunos efectos de corrosión en la estructura metálica de ductos o tanques, laminaciones o grietas, emanaciones naturales, golpes o defectos de fabricación.

El estudio de la contaminación por petróleo en los océanos mundiales y zonas costeras enfrenta dos actividades humanas: primero la alteración de los ecosistemas marinos y costeros originada por las operaciones de extracción, refinación, transporte almacenamiento y uso del petróleo como principal fuente de energía, y segundo la innegable necesidad de preservar y proteger a los recursos marinos para nuestros usos actuales y futuros.

A nivel mundial ocurren alrededor de 7500 derrames anualmente, con un volumen de 6.1 millones de toneladas métricas del mismo que se introducen en aguas mundiales, y equivalen a 120 mil barriles diarios aproximadamente.

Las estadísticas nos muestran que:

- Se pierde un barril aceite de cada millón de barriles transportado.
- Ocurre un accidente por cada 10,000 viajes ejecutados.
- Dos pozos se descontrolan, por cada 1000 pozos marinos perforados.

Las estadísticas también reportan como causas específicas:

- Ruptura de los equipos y oleoductos.
- Corrosión (interna o externa)
- Falta de mantenimiento en equipos e instalaciones.
- Error humano.

Otras menos frecuentes incluyen movimientos en tierra, las descargas a través de los ríos que desembocan al mar y que han arrastrado hidrocarburos existentes en tierra, precipitación de los aceites presentes en la atmosfera que son absorbidos y arrastrados por la lluvia, afloramientos submarinos o chapopoterías naturales, guerras, negligencia y los acaecidos meramente por accidente.

Hipotéticamente, si no ocurriesen derrames de petróleo en buquetanques y pozos petroleros, de todos modos el mar estaría expuesto a recibir y asimilar en promedio, unas

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

60 mil toneladas métricas por año, concentradas principalmente en regiones petroleras cercanas a las costas.

Se infiere que el volumen de aceite que en forma natural se infiltra anualmente en los mares, representa algo más del doble de lo que el hombre origina por accidentes de pozos.

3.1 HIDROCARBUROS

Los hidrocarburos son una mezcla compleja de elementos que se componen de carbono e hidrogeno los cuales son extraídos del subsuelo donde se encuentran almacenados en yacimientos de aceite y/o gas, cada yacimiento posee cualidades únicas, con características particulares y distintos comportamientos de fases.

Estos compuestos se encuentran a distintas profundidades de la corteza terrestre, su formación ha sido discutida a lo largo del tiempo, generando teorías que a la fecha se han ido aceptando o descartando según el dictamen de las nuevas tecnologías; la *teoría inorgánica* sugiere que los hidrocarburos se formaron a partir de que el hidrogeno y oxígeno que se encontraron bajo condiciones de temperatura y presión adecuadas para que la unión de estos elementos diera origen a los hidrocarburos; la *teoría orgánica*, sugiere que los hidrocarburos se formaron por la transformación de materia orgánica vegetal y animal, tal que su estructura molecular sufrió alteraciones por las condiciones de altas temperaturas y altas presiones, y el largo periodo de descomposición que sufrieron; esta última es la teoría más aceptada ya que en las últimas décadas se ha comprobado de manera fehaciente que los hidrocarburos en su mayoría, se originaron de materia orgánica sepultada en una cuenca sedimentaria.

La materia orgánica sufre los procesos de diagénesis, catagénesis y metagénesis que dan como resultado los hidrocarburos.

3.1.1 GENERALIDADES DEL PETRÓLEO.

Los crudos tienen diferente composición en cuanto al tipo y cantidad de familias químicas hidrocarbonatadas de las que están formadas. Las características físicas varían en función de esta composición e inciden en las posibilidades de refinado o aprovechamiento para la obtención de sus productos derivados, principalmente combustibles, lubricantes, asfaltos y materias para petroquímica, así como en su valoración económica y comportamiento en un derrame.

De acuerdo con National Oceanic and Atmospheric Administration (1995), el petróleo crudo contiene entre 50 y 98% de hidrocarburos y la fracción de no hidrocarburos está generalmente compuesta de nitrógeno, azufre, oxígeno y metales pesados como níquel y

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

vanadio. Esta fracción es considerada como impureza. Las impurezas impiden una utilización del petróleo y generalmente son solubles en agua, deteriorando su calidad.

Los hidrocarburos presentes en el petróleo, por simplicidad se dividen en tres grupos, de acuerdo a su estructura molecular (NOAA, 1995), así:

Atendiendo a la mayor proporción del tipo de hidrocarburos que conforman la mezcla los crudos se clasifican según su base: parafínica, nafténica y aromática.

Base parafínica: Son también conocidas como alcanos, cuando sus carbonos están unidos por enlaces simples; alquenos por enlaces dobles y alquinos por enlaces triples. Se caracterizan por tener sus átomos de carbono unidos en cadenas abiertas. Los hidrocarburos parafínicos son siempre menos densos que los hidrocarburos cíclicos con el mismo número de carbonos. Las moléculas de hidrocarburos de cadena saturada parafínica (alifáticos) del crudo tienen una fórmula C_nH_{2n+2} , y pueden ser cadenas rectas (normales) o ramificadas (isómeros) de átomos de carbono. Las moléculas de parafina de cadena normal, más ligeras, se encuentran en los gases y en las ceras parafínicas. Las parafinas de cadena ramificada suelen encontrarse en fracciones pesadas del crudo y tienen mayores índices de octano que las parafinas normales.

Base nafténica: Son conocidos como compuestos alicíclicos y generalmente algunos o todos sus carbonos están organizados en cadenas cíclicas. Los naftenos son resistentes a la degradación y ligeramente más densos que las parafinas con el mismo número de carbonos. Son grupos de hidrocarburos de anillo insaturado (cíclicos), de fórmula C_nH_{2n} , dispuestos en forma de anillos cerrados (cíclicos), se encuentran en todas las fracciones del crudo excepto en las más ligeras. Predominan los naftenos de un solo anillo (parafinas monocíclicas) con cinco y seis átomos de carbono, encontrándose los naftenos de dos anillos (parafinas dicíclicas) en los componentes más pesados de la nafta.

Base aromática: El aromático clásico es el benceno, que posee una fuerte estructura cíclica de seis carbonos son considerados hidrocarburos de anillo insaturado (cíclicos) unidos por doble enlace. Los compuestos aromáticos siempre están formados por varias combinaciones de anillos de benceno que posteriormente se ligan a cadenas de parafinas o compuestos no hidrocarburos. Generalmente la cantidad de aromáticos presente en el petróleo es pequeña comparada con la de parafinas y naftenos. Los compuestos aromáticos están considerados como altamente cancerígenos y tóxicos.

Ejemplos de las tres diferentes bases de hidrocarburos presentes en el petróleo, cada uno de ellos está compuesto por seis átomos de carbonos, unidos por diferentes tipos de enlaces (sencillos y dobles) u organizados en diferentes estructuras (abiertas y cerradas) (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**); por lo que cada uno posee diferente número de átomos.

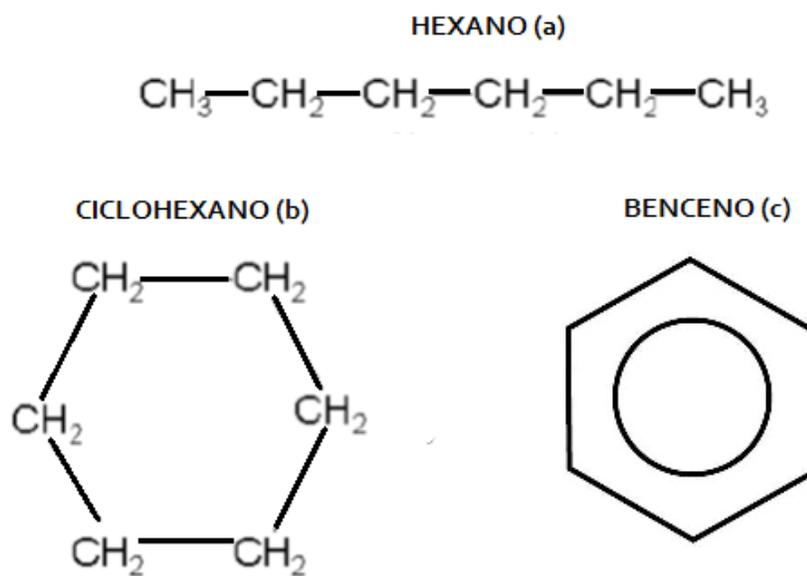
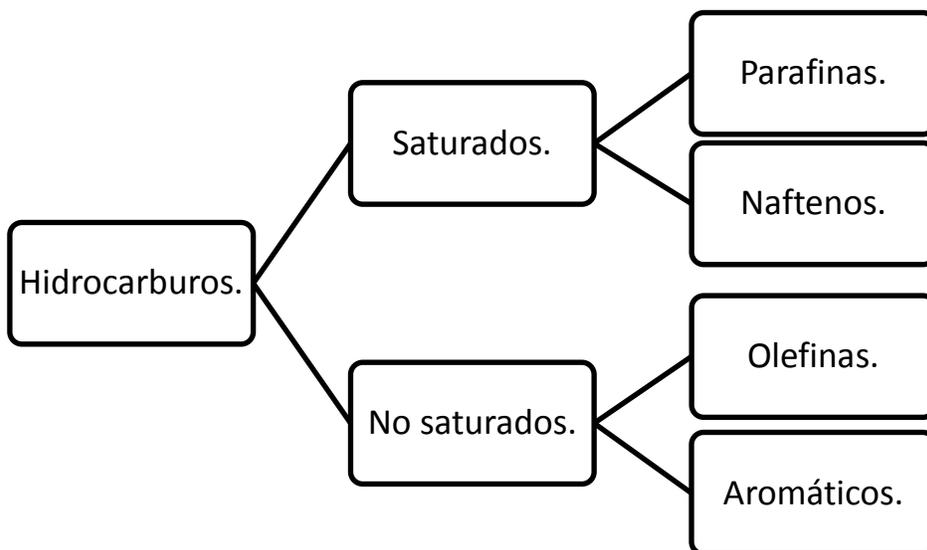


Figura 3.1. Estructura molecular de los hidrocarburos. (a) Parafina, (b) Nafteno y (c) Aromático

También se clasifican por su estructura en saturados y no saturados (Cuadro 3.1)



Cuadro 3.1. Clasificación de hidrocarburos por estructura.

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

3.1.1.1 TIPO DE FLUIDOS.

El petróleo se clasifica de acuerdo a su densidad, así dependiendo del fluido que almacenen los yacimientos encuentran otra clasificación.

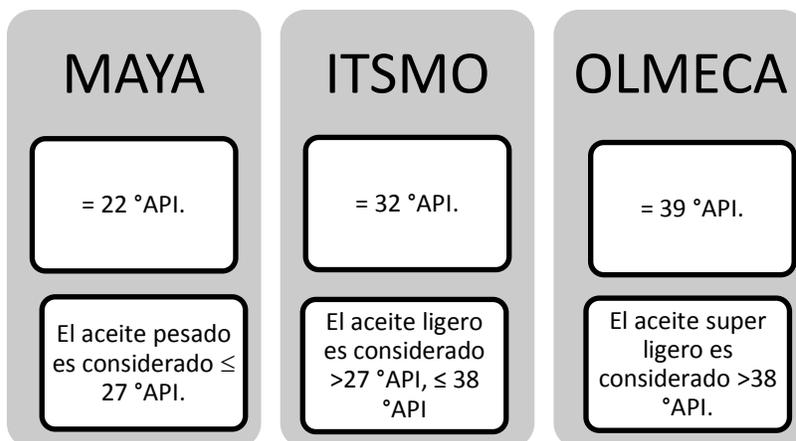
- Aceite negro.- Este fluido se caracteriza por su color que va de café oscuro a negro, con densidades que van de 30 a 40° API.
- Aceite volátil.- Presentan un color café claro con cierto matiz amarillo, rojo, o verde, su densidad varía de 40 a 50° API.
- Gas y condensado.- Contienen hidrocarburos condensados, en los que predomina el gas en fase líquida, por lo regular su densidad varía entre 50 a 70° API.
- Gas húmedo.- Éstos almacenan gas con pequeñas cantidades de líquido de color claro, un tanto rosado, sus densidades varían de entre 60 y 70°API.
- Gas seco.- Contienen gas seco como el metano que tiene una fracción mol superior al 95%; básicamente, en teoría, no tiene líquidos.

API clasifica a los hidrocarburos de acuerdo a la densidad de los fluidos del petróleo, procedente de una densidad relativa. Y se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad } (\rho) \text{ } ^\circ\text{API} = \frac{141.5}{\gamma_o} - 131.5$$

γ_o = gravedad específica del aceite.

En México los crudos producidos se clasifican:



Cuadro 3.2. Clasificación de crudos producidos en México de acuerdo a °API.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

En la escala de °API, el agua dulce tiene una densidad de 10°API, es decir si los fluidos poseen densidades superiores a 10°API éstos flotarán, (equivalente a 1.0 gr/cc) de ser lo contrario éstos se hundirán. La densidad del agua de mar (3.5% de sales disueltas) es poco más alta que la del agua dulce, 1.023 gr/cc, así el petróleo flotará tanto en agua dulce como en agua salada.

Los *aceites ligeros* se caracterizan por contener compuestos de hasta 10 átomos de carbono y tener un punto de ebullición menor a 150°C. La mayoría de los componentes de bajo peso molecular son alcanos y cicloalcanos, los cuales se evaporan rápida y completamente, por lo que no son bioacumulables, tienen una alta solubilidad usualmente contienen 95% de la fracción soluble, pueden llegar a tener un efecto tóxico si contienen hidrocarburos monoaromáticos, como benceno, tolueno y xileno, podría ocurrir si el hidrocarburo derramado se mezcla rápidamente en aguas frías y condiciones meteorológicas de calma.

Los *aceites medios*, de peso molecular intermedio se caracterizan por contener compuestos entre 10 y 20 átomos de carbono, y tener un punto de ebullición entre 150 y 400°C. Estos hidrocarburos se evaporan en varios días dejando algunos residuos su fracción soluble es baja, ya que contienen hidrocarburos diaromáticos, como los naftalenos por lo que son moderadamente tóxicos, su potencial de bioacumulación es moderado.

Los *aceites pesados* se caracterizan por un alto peso molecular, por contener compuestos de más de veinte átomos de carbono y por poseer un punto de ebullición mayor a los 400° C, su fracción evaporable y soluble es mínima. Se bioacumulan vía absorción en los sedimentos y su potencial de toxicidad es crónico debido a la presencia de hidrocarburos aromáticos polinucleares, como los antracenos y fenaltrenos, que a largo plazo dan lugar a las conocidas barras flotantes ya que su degradación es lenta.

3.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS.

Para facilitar el reconocimiento, la descripción y las características de cada yacimiento se clasifican básicamente por el tipo de trampa que forma y a la clase de fluido que almacena.

3.1.2.1 TIPO DE TRAMPA.

La trampa es referida al tipo de formación que tienen los yacimientos después de su deformación tanto tectónica como sedimentaria, así pues, tienen su clasificación como (Anexo VII):

- Trampa estructural.- Éstos se encuentran asociados a los pliegues o fallas, formando estructuras anticlinales o sinclinales, pueden ser simétricos o asimétricos).

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

- Trampas estratigráficas.-Dependen de la secuencia de sedimentación, de las formaciones que las constituyen. Un cambio de sedimento en sentido lateral.
- Trampas combinadas.- Se refiere a las trampas que conjugan tanto aspectos estratigráficos como tectónicos.
- Trampas asociadas a intrusiones ígneas.- Se reconocen cuando una intrusión de roca ígnea (sill) toma las funciones de la roca sello.

3.2 PRINCIPALES CAUSAS DE CONTAMINACION POR HIDROCARBUROS EN EL GOLFO DE MÉXICO.

Las causas de contaminación en el Golfo de México son bastas, cabe mencionar, los desechos humanos, los agroquímicos, desechos industriales, turismo, y una de las principales causas por el deterioro del ecosistema es el aporte de hidrocarburos al medio.

Los procesos de contaminación por hidrocarburos al ecosistema del Golfo de México es resultado de causas naturales, operaciones de extracción, refinación, transporte y lavado de buques-tanques así como vía atmosférica (Ponce, 1995).

3.2.1 EMANACIONES NATURALES.

Las **emanaciones naturales** o filtraciones naturales, se originan como consecuencia de la geodinámica que se presenta en áreas de fallamiento, por fracturas de deformaciones diapíricas, o por mecanismos de intrusión de rocas sedimentarias o ígneas y emanaciones directas de la roca generadora (Paul et al. 1984; Kennicutt et al. 1985; Wade et al. 1989).

En el Golfo de México existen filtraciones en el Norte y en el Sureste principalmente.

Las estimaciones de emanaciones de hidrocarburos fósiles al medio marino registradas por Wilson D., 1974 en el Golfo de México permitieron reconocer al sector Norte del Golfo de México como de baja tasa de aportación (0.1 bpd/1000 m²); mientras en el suroeste del Golfo de México, la tasa es del orden de 100 bpd/1000 m². Las cantidades de hidrocarburos fósiles emanadas al medio marino se ha calculado en 2.3 m³ (140 barriles) en 1000 km²/día y una cantidad de 20 000 m³/año/1000 m², en algunas emanaciones localizadas en el talud continental frente a la costa de Louisiana (Geyer RA, 1980).

La zona económica exclusiva de México, en el Golfo de México fue clasificada por Wilson et. Al, 1974, como una región con alto potencial de emisiones, de acuerdo a las características geológicas y geoquímicas.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Las características geológicas en Suroeste del Golfo de México que identifican la emanación de hidrocarburos al medio marino se debe, a que a partir del plioceno (4.5 millones de años a la actualidad), y el Cuaternario la actual configuración de México siguió gobernada por los desplazamientos continuos del continente y de las placas oceánicas.

La península de Baja California se mueve hacia el noroccidente, gobernada por las fallas del sistema de San Andrés; los márgenes meridional y sur del continente, en el Pacífico, asimilan la corteza oceánica de la Placa de Cocos. La península de Yucatán se desplaza en sentido de las manecillas del reloj y el Cinturón volcánico Transmexicano sigue en actividad desde el Pacífico hasta el Golfo de México (Figura 3.2).

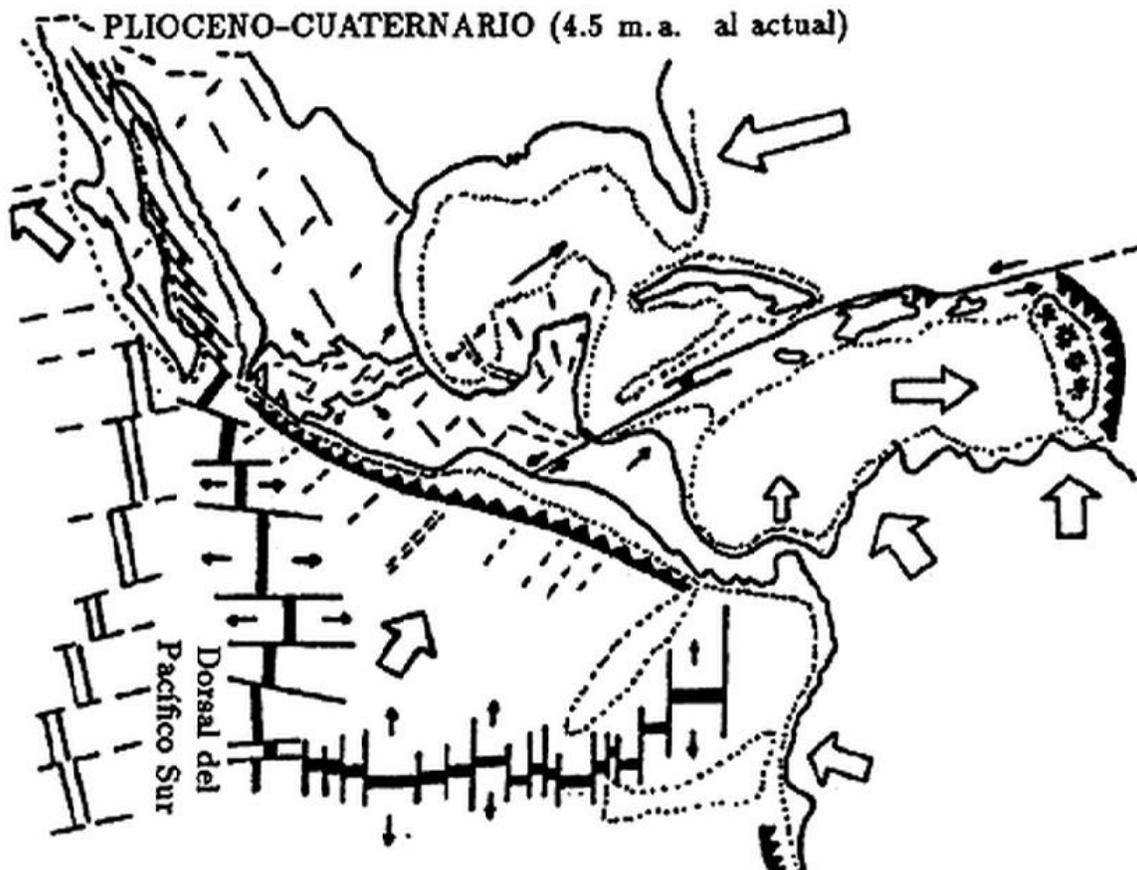


Figura 3.2. Movimiento tectónico general en México del Plioceno al Cuaternario.

La mayoría de los sitios de emisión de hidrocarburos corresponden a provincias geológicas en donde predominan las rocas sedimentarias o ígneas, asociadas a gruesos o estratos sedimentarios (Figura 3.3). Estos sitios coinciden en áreas geográficas caracterizadas por su actividad tectónica o volcánica como las que se distinguen en torno al arco circum-Pacífico, en donde existe una alta incidencia de emanaciones naturales (Wilson et al. 1974).

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

En el norte del Golfo de México existe un número considerable de filtraciones submarinas en el margen continental de Texas, Louisiana Y Florida (Paul et al. 1984; Kennicutt et al. 1985).

Es necesario determinar la posible incorporación de estas formas de carbono orgánico autóctono en la trama trófica bentónica y la bioacumulación de componentes de hidrocarburos aromáticos que pueden tener efectos agudos de toxicidad.

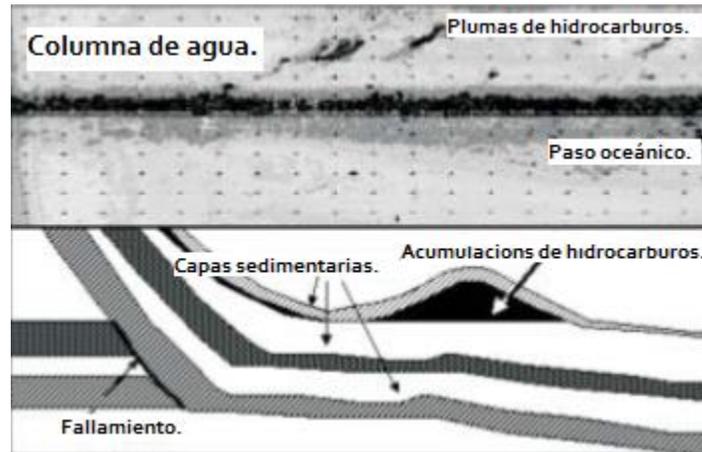


Figura 3.3. Diagrama esquemático de una emanación submarina, El fallamiento de las capas sedimentarias permite la migración del petróleo y gas desde el yacimiento hacia el suelo marino y hacia la columna de agua.

De acuerdo con el Consejo Nacional de Investigación de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, las emisiones naturales de petróleo representan en escala global aproximadamente el 46 % anual de la aportación de hidrocarburos al ambiente oceánico.

Información reciente sobre el volumen estimado de hidrocarburos filtrado a través del fondo marino en la Sonda de Campeche (Figura 3.4) es de aproximadamente 61.5 m³/día (387 barriles/día) o un equivalente a 22 443 m³/año y se le atribuye un origen petrogénico (Núñez- Farfán et al. 2004).

En consecuencia, diversos estudios se han abocado a la tarea de cuantificar la concentración de hidrocarburos fósiles en sedimentos, organismos, columna de agua y a la determinación de sus propiedades fisicoquímicas, de degradación y biodegradación, e intemperización. Sin embargo, el impacto deletéreo sobre comunidades biológicas principalmente, las bénticas expuestas a hidrocarburos fósiles a emisiones crónicas o intermitentes, es aún incierto.

En el Golfo de México los sitios en los cuales se presenta el fenómeno de emanación natural de hidrocarburos se les conoce coloquialmente como "chapoteras", éste alude al material intemperizado.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Estos sitios en la actualidad se ubican en los estados de Tamaulipas, Veracruz y Campeche, generalmente coinciden con la existencia de importantes yacimientos de hidrocarburos, que algunos están actualmente en explotación.



Figura 3.4. Emanaciones naturales en la Sonda de Campeche.

La exploración sísmica de la Sonda de Campeche efectuada por PEMEX en la década de los 70 reconoció complejos estratos de rocas ígneas conteniendo yacimientos de gas e hidrocarburos. Inicialmente denominado Cantarell, en honor al pescador que primero detectó sobre la superficie del agua, la presencia crónica de una filtración de petróleo.

Las emanaciones en el piso oceánico pueden ser detectadas a través de datos geofísicos, muestras de sedimentos, presencia de fauna quimiosintética o bien por sensores remotos. Las manchas de petróleo fósil de la superficie marina originadas por emanaciones naturales pueden también ser detectadas y cuantificadas por sensores satelitales (MacDonald et al. 1993).

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

El componente autotrófico en estas comunidades está representado por bacterias quimiotróficas que emplean la energía química contenida en compuestos como el metano o el ácido sulfhídrico para la fijación del CO_2 .

Actualmente, la detección de filtraciones o fugas accidentales de hidrocarburos puede realizarse mediante imágenes de radar, las cuales pueden ser obtenidas independientemente de la hora y condiciones climáticas imperantes.

Aparte de su obvia relevancia como fuentes potenciales de gas e hidrocarburos en el ambiente marino, estas emanaciones también representan fuentes permanentes de contaminación.

En este ambiente de plataforma continental aproximadamente a 60 m de profundidad, se ha documentado un sitio de emanación natural, situado entre las plataformas petroleras Akal C y Nohoch (Figura 3.5).



Figura 3.5. La “chapotera” de Cantarell, ubicada entre los centros de proceso Nohoch-A y Akal C en la Sonda de Campeche.

En dicho sitio, González-Macías (1997) estudió la estructura comunitaria de los organismos infaunales, así como el posible efecto originado por la exposición constante a compuestos químicos derivados de la fuente de emisión de gas e hidrocarburos.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

La concentración de los hidrocarburos fósiles en sedimentos fue de 100 a 1 000 ppm y se concluyó que los organismos de la comunidad bentónica se encontraban adaptados y en equilibrio con las condiciones ambientales propiciadas por la emisión misma.

La exploración geofísica del talud continental del norte del Golfo de México ha revelado la existencia de comunidades bentónicas asociadas a sitios de emanación natural de hidrocarburos fósiles y de gas metano entre los meridianos de 95° y 88° W a profundidades que oscilan entre los 300 y los 2 200 m. Estas exóticas comunidades quimiosintéticas se han registrado hasta los 3600m en la base del escarpado de Florida (Paull et al. 1984). En virtud de su alta relevancia ecológica, estas comunidades son frágiles dada su susceptibilidad a ser perturbadas por efectos mecánicos originados por las actividades de exploración o extracción de la industria petrolera (MacDonald et al. 1996).

Las propiedades de resiliencia y estabilidad de este tipo de comunidades quimioautotróficas constituyen aún temas controvertidos que requieren mayor investigación.

Algunos de los beneficios que se pueden derivar del estudio holístico de los sistemas marinos influidos por emanaciones naturales de hidrocarburos líquidos o de gas, es el reconocimiento de las adaptaciones que las comunidades bióticas han adoptado a través de la evolución, para persistir en tiempo y espacio ante fenómenos de ecotoxicidad.

Estos ambientes particulares representan laboratorios naturales que podemos emplear para expandir nuestro conocimiento sobre los complejos fenómenos oceanográficos que hacen posible la dispersión, dilución, degradación, y bioacumulación de elementos químicos que alteran el equilibrio del ambiente oceánico. La ecología funcional de las comunidades quimiosintéticas asociadas a los ambientes extremos bajo condiciones sumamente adversas, propias de los sitios de emanación natural, se conoce parcialmente. Aún persiste la paradoja: los fenómenos de emanación natural de gas e hidrocarburos representan importantes fuentes de carbono orgánico que propician la abundancia de organismos, pero a la vez la toxicidad resultante de sus productos derivados, puede alterar seriamente el equilibrio de los sistemas.

3.2.2 TRANSPORTE Y LAVADO DE BUQUETANQUES.

El Golfo de México se sitúa geográficamente dentro de la cuenca del Gran Caribe es necesario mencionar que esta región es una de las más grandes productoras de petróleo en el mundo.

Nuestro país es uno de los principales productores y exportadores de petróleo y sus derivados para Latinoamérica, Estados Unidos, Canadá, Europa y Asia; en el Golfo de México se localizan las más grandes provincias petroleras del mundo, cuyos recursos se estiman entre 2.24 y 21.9 bbl de petróleo crudo y de 5.48 a 44.4 tct de gas natural (Foote et al., 1983); en octubre de 2003 se alcanzó la producción máxima de petróleo con la cifra

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

de 3'688,000 barriles, generando un ingreso de 341 mil millones de pesos para este mismo año lo cual representó el 54% de las ventas totales nacionales, es importante mencionar que la empresa paraestatal Petróleos Mexicanos destinó 19 mil millones de pesos para el rubro ambiental.

Las principales áreas de producción incluyen: Louisiana, E.U.A; Costas de Texas, E.U.A; bahía de Campeche, México; lago Maracaibo, Venezuela y Golfo de Paria, Trinidad y Tobago; las cuales están consideradas además, como zonas de alto riesgo para accidentes petroleros (Figura 3.6) (Rodríguez, 1981).



Figura 3.6. Localización de las zonas de alto riesgo para accidentes petroleros en el área del Gran Caribe.

La producción del petróleo en la plataforma marina del Gran Caribe fue de más de 400,000 toneladas métricas por día en 1978 y desde entonces ha tenido una significativa expansión, sobre todo por las operaciones de México, Venezuela y Trinidad y Tobago. Así, se considera que actualmente son transportados en la región ,más de 5 millones de barriles de petróleo por día lo cual genera un intenso tráfico de tanqueros (Figura 3.7), estimándose que las descargas de petróleo por el lavado de buques- tanque en el Gran Caribe podría ser aproximadamente 7 millones de barriles al año (IMCO, 1979).

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Así, este litoral mexicano no sólo es la región de mayor importancia en la producción y procesamiento de hidrocarburos en el Continente Americano sino que se trata también de la mayor área de perforaciones en la plataforma continental en el mundo; las principales rutas de salida de los productos petroleros se extienden en las terminales marítimas del área de Campeche, Tabasco y Veracruz y se moviliza a través del estrecho de la Florida hacia la costa Este de los Estados Unidos, Canadá, el Norte de Europa y algunos sitios del Mediterráneo.

Otros aportes importantes son la carga y descarga de buques-tanque en los puestos marítimos, así como la liberación del lastre el comúnmente lleva petróleo emulsionado con agua.

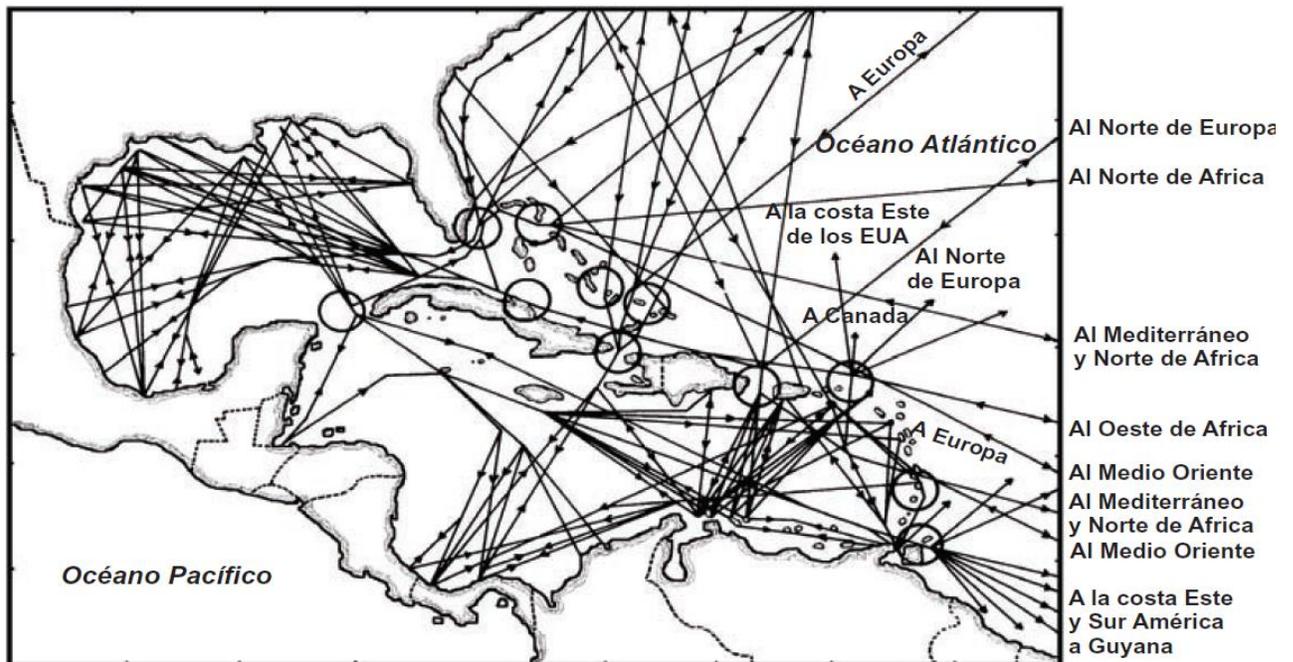


Figura 3.7. Localización de las rutas de transporte, riesgos para accidentes petroleros en el área del Gran Caribe.

De igual forma, el petróleo mexicano es movilizado hacia el Sur mediante el Canal de Yucatán hacia los puertos de Centroamérica en Belice, Guatemala, Honduras, Costa Rica, Panamá y utilizando el Canal de Panamá hacia El Salvador y Nicaragua (Figura 3.8). Debido a esta intensidad de actividades de transporte del petróleo, las descargas y el lavado de buques-tanque, son la mayor fuente de contaminación por petróleo en los ambientes costeros del Golfo de México (Botello *et al.*, 1992).

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

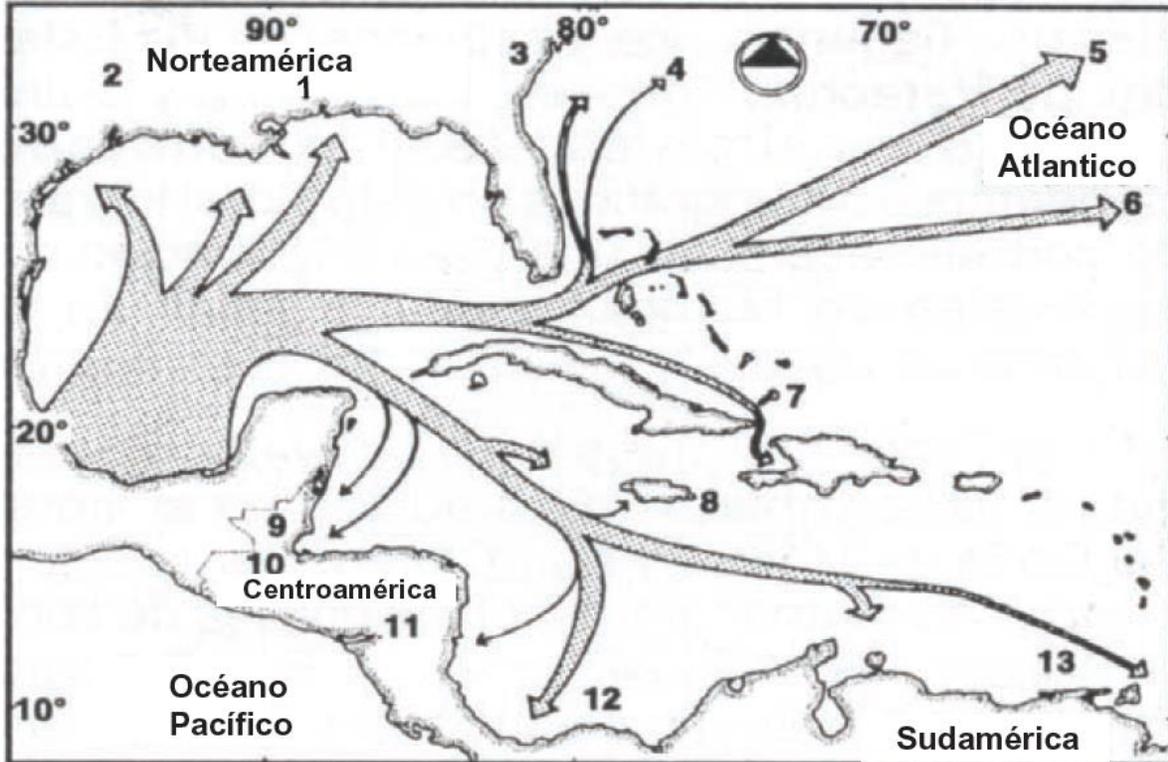


Figura 3.8. Principales rutas marítimas en el Golfo de México y Mar Caribe utilizada para la exportación de petróleo crudo mexicano de la Sonda de Campeche.

El Worldwatch Institute y el Programa de la ONU para el Medio Ambiente confirmo, en el relato Signos Vitales 2002 que la mitad de los derrames ocurridos en el mundo es consecuencia de los accidentes de barcos petroleros, que transportan diariamente 107 millones de toneladas de crudo y conforme a los reportes de las organizaciones Oil Spill Intelligence Report (OSIR) y Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF) entre los años 1968 y 2000, la mitad de los derrames de petróleo producidos al mar provenían de barcos petroleros.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

3.2.3 DERRAMES ACCIDENTALES.

Los derrames de petróleo consisten en cualquier accidente o acción del ser humano que implica la liberación de hidrocarburo no planificado en el medio natural.

3.2.3.1 OBTENCIÓN DE HIDROCARBUROS.

La obtención de los hidrocarburos depende del estado del yacimiento a explotar. En este principio, el interés del tipo de crudo en extracción es primordial, ya que la inversión depende de la remuneración, puesto que cualquier acción de esta índole representa un gran riesgo en todos los aspectos.

En México la industria petrolera se ha desarrollado históricamente en función de factores económicos, políticos y sociales, que se ven reflejados en la oferta y demanda de este servicio.

Se han desarrollado a lo largo de este y del siglo pasado grandes avances en la perforación petrolera, iniciando la explotación de grandes volúmenes por medio de la perforación intensiva, al disminuir los yacimientos de fácil extracción se ha requerido la innovación, apoyándose en las nuevas tecnologías y apostando a nuevos métodos creando nexos interdisciplinarios, los cuales han arrojado resultados satisfactorios.

La perforación de pozos, no solo ha sido de interés petroleros, cubre también necesidades como la explotación de aguas, en la industria del azufre, electricidad en zonas geotérmicas y para almacenamiento de hidrocarburos.

3.2.3.1.1 PERFORACION DE POZOS PETROLEROS.

Está actividad garantiza la extracción de petróleo crudo de su lugar de origen, yacimientos, hasta la superficie, en donde se almacena, distribuye y se usa como materia prima para muchos productos derivados de éste.

La perforación comprende varias disciplinas para el buen desarrollo de la extracción de petróleo, todos los elementos son cruciales para su óptima praxis.

Esta actividad se ha visto perturbada por un gran número de factores externos a la pura extracción, como son los políticos, los económicos y sociales, el primero se debe al costo del petróleo, que se ve favorecido en la mayoría de los casos.

En los inicios de estas actividades el petróleo era de fácil extracción, los yacimientos se encontraban accesibles, con el pasar del tiempo para explorar éstos se ha requerido gran inventiva, ya que los yacimientos se han visto mermados en su producción y ha sido necesario el explotar e incursionar en otras áreas con tecnología reciente, e innovar métodos de exploración, así como cambiar la ubicación de ésta; los yacimientos que se localizan costa afuera han sido un reto relativamente reciente.

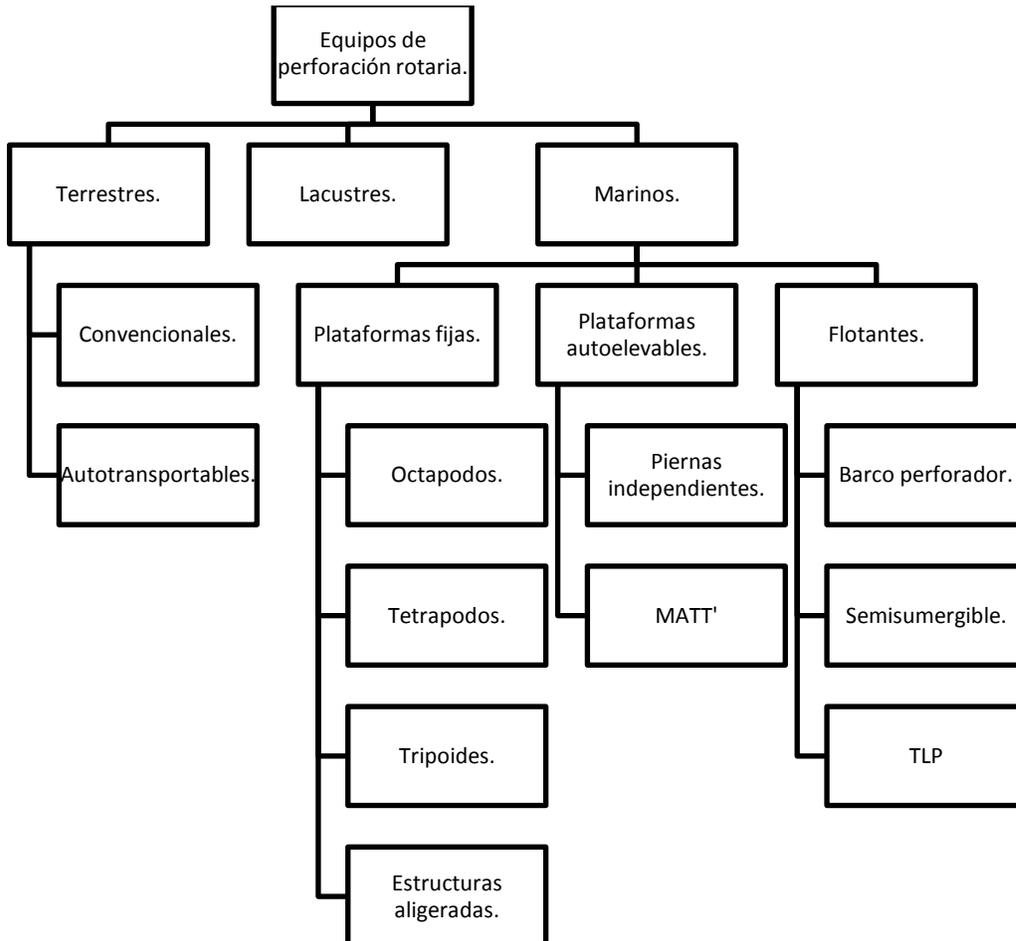
Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

La manera de perforar también ha evolucionado, antes los pozos se perforaban con el método de percusiones o “a cable” este es un método muy antiguo, se usaba hace más de 1000 años en China.

Los equipos de perforación han evolucionado a la par de la explotación de yacimientos, para cubrir las demandas de la sociedad. Satisfaciendo así los requerimientos para explotar y explorar nuevos yacimientos en localizaciones casi inaccesibles, han dado hincapié para promover el desarrollo tecnológico de los equipos de perforación.

Los equipos de perforación se clasifican en terrestres y marinos, en ambas vertientes los equipos han estado en constante actualización y modernización, con la tecnología más reciente.

Los podemos clasificar en general (Cuadro 3.3):



Cuadro 3.3. Equipos de perforación rotaria.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Los equipos de perforación marina en un principio fueron equipos de perforación terrestre colocadas sobre una estructura para perforar. Con los nuevos conceptos de ingeniería se crearon nuevos equipos de perforación conocidos como: Sumergible, barcaza, plataforma autoelevable, plataforma fija, semisumergible y barco perforador (Figura 3.9).

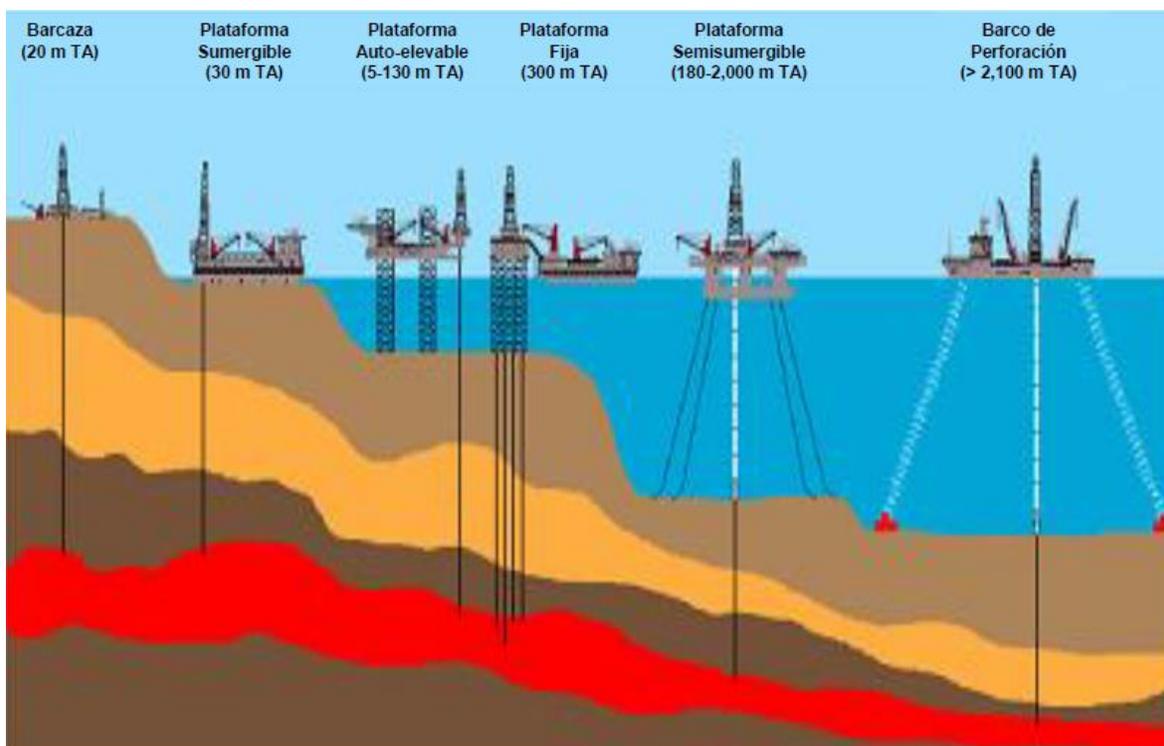


Figura 3.9. Evolución de los equipos de perforación marinos.

Éstos fueron alcanzando profundidades cada vez mayores, así como los equipos de producción también fueron evolucionando para favorecer la extracción de aceite y gas de forma más segura y eficiente.

Las operaciones costa afuera, se clasifican de acuerdo al tirante de agua en la que va a perforar, en la industria internacional existen distintas definiciones para delimitar lo que se considera como aguas profundas:

- **API (American Petroleum Institute):**
 - Aguas someras, hasta 610m de profundidad.
 - Aguas profundas de 610m (2000ft) a 1830m (6000 ft).
 - Aguas ultraprofundas más de 1830m (6000ft).
- **MMS (Minerals Management Service):**
 - Aguas someras hasta 304.8m (1000 ft).
 - Aguas profundas de 304.8m (1000ft) a 1524m (5000 ft).
 - Aguas ultra profundas tirante de agua superior a 1524m (5000 ft).

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

- DEA (Drilling Engineering Asociation):
 - Bajo el consenso de 1998.
 - Aguas profundas con tirantes mayores a 457m (1500 ft).
 - Aguas ultra profundas tirantes mayores a 2100m (7000 ft).
- US (University of Stavanger en Noruega)
 - Aguas someras hasta 900m (3000 ft)
 - Aguas profundas de 457m (1500 ft) a 2100m (7000 ft).
 - Aguas ultra profundas mayores a 2100m (7000 ft).

Estas estructuras deben soportar condiciones climáticas más severas, y requieren de:

- Equipamiento de control y comunicaciones.
- Sistemas de anclaje o posicionamiento.
- Sistema de generación de energía.
- Área de almacenamiento de químicos y materiales.
- Zona de tratamiento de desechos.
- Equipo de seguridad y contra-incendio.
- Helicóptero y embarcaciones de abastecimiento.
- Área habitación.

3.2.3.2 EQUIPOS MÓVILES.

De las plataformas convencionales de perforación se ha pasado a la construcción de grandes plataformas desde las cuales se pueden perforar direccionalmente varias locaciones. Las Plataformas de perforación de antaño han sido modificadas, y son hoy estructuras integradas que constituyen un equipo flotante que entra, permanece y sale de la locación como una sola unidad.

Para las profundidades de agua (tirantes de agua) a más de 1,000 metros se utilizan usualmente barcos de perforación, los cuales alcanzan a perforar pozos de hasta 7,600 metros de profundidad desarrollada de perforación.

El golfo de México, en el sector estadounidense de Texas a Alabama, representa una de las áreas donde en los últimos años se han ubicado plataformas flotantes del tipo de sujeción tensada (TLP), en profundidades de aguas por encima de los 500 metros y perspectivas de llegar a 1,000 metros. Estas plataformas pueden pesar hasta 23,000 toneladas y están diseñadas para resistir el impacto de olas de 20 metros de altura y de vientos de 224 kilómetros por hora. Este tipo de plataforma permite perforar varios pozos direccionales desde un mismo sitio.

Actualmente en el Golfo de México, en las áreas de “Coatzacoalcos Profundo” y “El Perdido” están siendo implementadas Plataformas Semi-Sumergibles de Sexta generación, las cuales tienen la capacidad de soportar condiciones extremas y perforar en

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

tirantes de agua de más de 3,000 metros y alcanzar una profundidad desarrollada de perforación de 12,192 metros.

El movimiento es un factor importante en la perforación marina, el mar y el viento imparten seis tipos de movimiento al sistema flotante; tres de los cuales corresponden a los movimientos translacionales y tres restantes a movimientos de rotación.

Los movimientos en el plano horizontal son:

- Avance o retraso (Surge): Translación hacia adelante y hacia atrás en el eje X.
- Derive (Sway): Translación hacia la izquierda y derecha sobre el eje Y.
- Guiñada (Yaw): Rotación alrededor del eje Z (Moon pool).

Los movimientos en el plano vertical son:

- Arrfada (Heave): Translación hacia arriba y hacia abajo en el eje Z.
- Balanceo (Roll): Rotación de babor a estribor en el eje X.
- Cabezal (Pitch): Rotación de proa a popa en el eje Y.

3.2.3.2.1 BARCAZAS

Estos equipos son usados en aguas muy someras y protegidas, como ríos, bahías y en aguas de hasta 15m (50 ft) de profundidad. Esta unidad tiene dos cascos; el superior conocido como cubierta Texas, usado para alojar a la cuadrilla de perforación y el equipo. La perforación se lleva a cabo a través de un área rectangular en la popa de una estructura en cantiliever. El segundo casco es el inferior. Es el área de lastrado y también es la base sobre la que descansa el equipo en el fondo marino o lacustre.

3.2.3.2.2 PLATAFORMA AUTOELEVABLE O JACK UP.

Este tipo de plataforma especial usada para perforación y reparación de pozos. Tiene la capacidad de moverse de una localización otra, por medio de autopropulsión o por medio de remolcadores.

Una vez en la posición deseada, las piernas son bajadas hasta alcanzar el fondo marino. Cuando las columnas o piernas se encuentran asentadas en el lecho marino, la cubierta es elevada más allá del nivel de agua, hasta tener una plataforma de perforación estable.

Consideraciones para determinar qué tipo de Jack-up se debe usar:

1. Profundidad del agua y criterio del medio ambiente.
2. Tipo y resistencia del fondo marino.
3. Capacidad de profundidad de perforación.
4. Necesidad de moverse durante la temporada de huracanes.
5. Capacidad de operar con soporte mínimo.
6. Que tan a menudo es necesario mover la unidad.

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

7. Pérdida de tiempos en el movimiento.
8. Límites operacionales y de remolque a la unidad.

3.2.3.2.3 SEMISUMERGIBLES.

Este tipo de plataforma evolucionó a partir de sumergible. Varias se diseñaron para operar, ya sea descansando en el fondo del mar o totalmente a flote.

Estas plataformas realizan actividades relacionadas con la exploración y perforación de pozos. Realizan operaciones de mantenimiento de instalaciones existentes. A pesar de la gran variedad de diseños de semisumergibles, pueden ser clasificadas en dos grupos principales:

- 1) Con columnas conectadas a zapatas o pontones separadas.
- 2) Con pontones gemelos.

Estas columnas soportan una sola cubierta, la cual aloja el equipo e instalaciones necesarios para realizar su función.

Estas plataformas cuentan con sistemas de propulsión propios ubicados en los pontones en otras palabras, son autopropulsables.

Una semisumergible posicionada dinámicamente puede operar en aguas profundas de hasta 500m.

La configuración general de un semisumergible, consiste en dos cascos inferiores longitudinales. Éstos se usan como compartimientos de laste que obtienen el calado para perforar. Cuando el equipo está en tránsito estos cascos inferiores son también los cascos primarios. En virtud de su tamaño y configuración, el semisumergible ofrece baja resistencia al remolque. Al mismo tiempo tiene una gran estabilidad.



Figura 3.10 Plataforma semisumergible, serie Odeco.

Los factores para elegir un equipo sumergible que deben de tomarse en cuenta son:

- a) Tirante de agua.
- b) Profundidad de perforación.
- c) Datos del medio ambiente.
- d) Características de movimiento de la unidad.
- e) Capacidad de almacenamiento de insumos.
- f) Movilidad de la unidad.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

3.2.3.2.4 BARCOS PERFORADORES.

Es un barco en el cual se instala un equipo de perforación con todo lo necesario para efectuar trabajo en el mar.

Los primeros barcos perforadores fueron unidades convertidas de: barcasas, barcos graneleros, barcos tanques o abastecedores. Esta práctica casi desapareció para dar paso al nuevo diseño y construcción de barcos perforadores especializados, como el Glomar Challenger o el Discoverer de Offshore.

Estos equipos son los más móviles de todas las unidades de perforación marina. También son los menos productivos. La configuración que les permite alta movilidad, les resta eficiencia al perforar (Figura 3.11; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Figura 3.11. Barco perforador 1.

Los barcos de perforación se usaron extensamente para llenar el espacio de capacidad entre Jack-up y el semisumergible, y son los que han perforado en aguas más profundas.

El movimiento vertical es el mayor problema que enfrentan las unidades flotantes. Debido a que su superficie de contacto con el mar y comparado con el semisumergible, el barco perforador posee respuestas muy grandes de movimiento vertical. Ha sido posible reducir el rol en los barcos por medio de tanque estabilizadores. Pero no se ha podido reducir el movimiento vertical.

En 1999 se inició la perforación del pozo exploratorio Yumtsil-1 que se localiza en la División Marina Suroeste, con el barco perforador Discoverer 511.

El anclaje de los barcos perforadores es similar al empleado por los semisumergibles. Sin embargo hay un sistema adicional que ha sido desarrollado en barcos perforadores, sistema de torreta.

Los barcos perforadores son herramientas versátiles. Pero deben ser consideradas para usarse en áreas con olas de poca altura y vientos con bajas velocidades.

3.2.3.2.5 PLATAFORMAS CON PIERNAS TENSIONADAS (TLP).

Su instalación es más sencilla, ya no requiere barcasas grúa. Tiene una gran estabilidad en condiciones meteorológicas severas. Su costo incrementa al aumentar la profundidad, debido a los cables de anclaje.

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

Mientras que las unidades semisumergibles y los barcos de perforación se utilizan solo para perforación, las TLP's tienen mayor ventaja en cuanto a versatilidad para perforar, recuperar y producir pozos casi en forma simultánea.

La TLP (Tension Leg Platform) o plataforma de piernas tensionadas, posee un sistema semejante a la plataforma semisumergible, sólo que ésta se encuentra anclada en el fondo por medio de elementos verticales, los cuales se mantienen en tensión, debido al exceso de flotación en la plataforma.

Los elementos verticales o tensores se anclan al fondo marino por medio de una estructura fabricada a partir de acero estructural y cimentado mediante pilotes. Una parte esencial de la TLP son juntas flexibles. Estas juntas (llamadas Flex-Joins), fabricadas con acero y material elastómero, permiten que la estructura se desplace horizontalmente sin provocar flexión en los tensores.

Las TLP's se han instalado en aguas muy profundas. El mayor tirante en el que se ha instalado una TLP es de 536m.

Ventajas:

- Pozos superficiales.
- Cuenta con equipos de reparación y terminación de pozos.
- Su costo es moderado.
- Sistema recuperable en sus componentes principales.

Desventajas:

- Soportan un solo equipo de perforación.
- Es costoso en aguas someras.

3.2.3.3 EQUIPOS FIJOS DE PERFORACIÓN.

El desarrollo marino de la perforación se puede realizar a través de plataformas fijas. Están diseñadas de tal manera que se pueden instalar equipos de perforación, terminación y reparación de pozos. La penetración del subsuelo se lleva a cabo en un tirante de agua de hasta 100m., dependiendo de la configuración del mismo. Estos equipos pueden perforar en promedio 12 pozos.

Algunas plataformas son autosuficientes y albergan todos sus componentes tales como equipo y áreas de personal. Otras requieren utilizar una embarcación de apoyo.

Estos sistemas se caracterizan por encontrarse asentados sobre el suelo marino. Consisten en estructuras metálicas y/o de concreto, que se extienden desde el lecho marino hasta la superficie. Estas estructuras son estables con relación al fondo marino.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

En los últimos años las plataformas fijas han representado la solución estructural más común. Los principales sistemas fijos hasta ahora desarrollados en el ámbito mundial son:

3.2.3.3.1 PLATAFORMA DE CONCRETO POR GRAVEDAD.

Plataforma convencional de acero o tipo Jacket, cuentan con dos cubiertas lo suficientemente amplias para alojar, en su cubierta superior, la totalidad de la paquetería de perforación y su torre. Tienen grúas para maniobras de descarga, un módulo habitacional, un helipuerto y una zona de almacenaje de insumos en una cantidad suficiente para mantener por varios días las operaciones de perforación, en caso de que se interrumpiese el abastecimiento regular por mal tiempo u otra causa; y en su cubierta inferior están las instalaciones de equipo de producción, así como los tableros para control de pozos y lanzadores y recibidores de diablos.

Las dos cubiertas se localizan a 16 y 20 m. sobre el nivel medio del mar y están soportadas por ocho columnas. Estas plataformas tienen capacidad para perforar hasta doce pozos, aunque no siempre operan todos (Figura 3.12).

Por su construcción están preparadas para recibir doce conductores de 30pg. de diámetro; aunque no en todos los casos los 12 pozos sean perforados en su totalidad.



Figura 3.12. Plataforma fija de perforación.

Para su identificación, se tiene el conocimiento que el norte de la plataforma corresponda al área de conductores y al sur, al de la habitacional.

Están formadas por una subestructura, una superestructura y un módulo, que según el caso, será de perforación, de producción o habitacional. Las partes se fabrican separadamente en tierra y más tarde se trasladan y colocan en su posición definitiva (Figura 3.13).

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

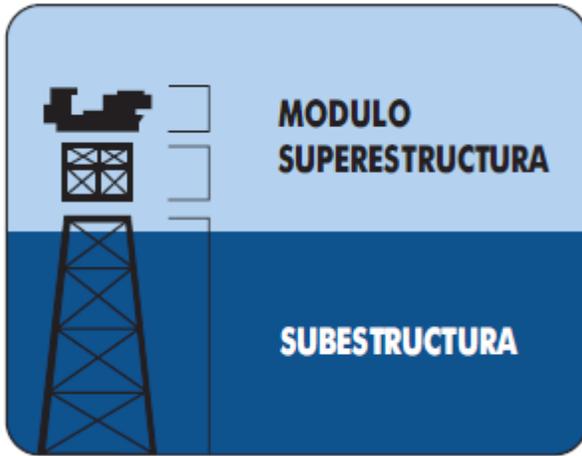


Figura 3.13. Componentes de una plataforma fija.

La superestructura tiene dos pisos:

1. De producción: Se encuentra a un nivel de 15.9 m. (52ft) del nivel del mar. Contiene las conexiones superficiales de explotación tales como árboles de válvulas, bajantes, líneas de recolección, equipos de medición de producción, tableros de control, etcétera.

2. De trabajo: se encuentra a una altura de 20.7m. (68 ft) del nivel del mar. En el se localizan los rieles de desplazamiento de la torre de perforación que parten paralelamente de norte a sur.

PLATAFORMAS FIJAS PROTECTORAS.

Las plataformas fijas protectoras son estructuras metálicas permanentes, construidas con dimensiones proporcionales. Para operar equipos con base deslizante (cantiliver) se preparan con tres o cuatro conductores de 30 in. de diámetro.

Se instalan al primer pozo perforado con equipo autoelevable, después de que haya concluido su etapa de perforación y el objetivo programado. Este tipo de plataformas, según su número de patas, se clasifican en:

- **Trípodos** (tres patas).

Son plataformas con estructuras y superestructuras de forma triangular sujetas por tres patas sobre pilotes de 36 in. de diámetro con espesores de 1.5 a 2 in. y tipos de acero ASTM-A-36 y ASTM-A-537. La penetración en el lecho marino de estos pilotes y conductores depende de la configuración del subsuelo que varía de 80 a 100m.

Generalmente, dentro de estas instalaciones se cuenta con preparación para tres pozos con conductores de 30 in. de diámetro. Para ubicar el número de conductores, se toma como referencia que el norte de la plataforma sea el costado de conductores, y el sur el área del helipuerto.

- **Tetrápodos** (cuatro patas).

Son plataformas con estructuras que se asientan en cuatro patas con pilotes de 48 in. de diámetro y espesores de 1.25 y 2.25 in. de acero tipo ASTM-A-36 y ASTM-A-537. Tienen preparación para un máximo de seis conductores de 30 in. de diámetro (Figura 3.14).

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.



Figura 3.14. Tetrápodo con plataforma autoelevable.

Por sus dimensiones en este tipo de plataformas no se pueden efectuar intervenciones de mantenimiento de pozos con equipo snubbing. Para la identificación del número correspondiente a cada conductor, se tienen como referencia que el norte de la plataforma corresponde al costado de conductores y el sur, al helipuerto. Ubicado frente a los conductores de espalda al helipuerto se enumeran progresivamente (Figura 3.15).

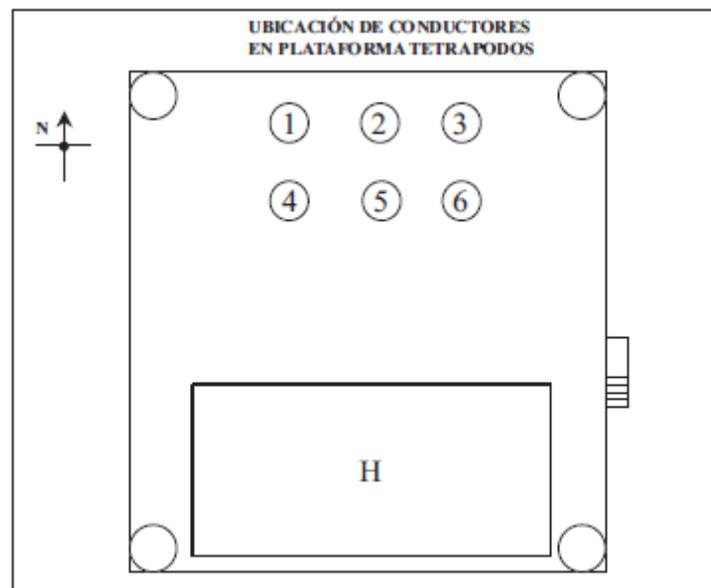


Figura 3.15. Ubicación de conductores de un Tetrápodo.

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

3.2.3.3.2 ESTRUCTURAS ALIGERADAS.

Son equipos de menor capacidad que los convencionales y su aplicación es para la perforación y reparación de pozos costafuera.

La distribución del equipo se lleva a cabo en tres niveles:

El primer nivel a 20.7m (68 ft.) del nivel del mar, consta de dos tanques de pirámide con patines sobre las viguetas principales de la plataforma, cuando se requiere deslizar con auxilio de gatos hidráulicos, entre conductores de norte a sur o viceversa. En este nivel se encuentran tres bombas de lodo, preventor de 13 5/8" 5M: Esférico, doble y de corte Cameron "U".

En el segundo nivel se tiene tres presas de lodo con capacidades de 95 m³ (600 bls) con vibradores electricos, embudo, consola, línea de succión, desgasificador y vibradores de alto impacto, eliminador de sólidos y separador de gas-lodo, eliminador de arcillas.

En el tercer nivel cuenta con el equipo de perforación , malacate con unidad de potencia eléctrica, mástil telescópico de tres etapas con Top Drive instalado, manifold de estrangulación y bomba koomey.

El equipo auxiliar es un paquete de máquinas. Se divide en cuatro secciones. Las partes del paquete son el patio de tuberías con tres generadores Stewar Stevenson de 1875 kva, Marathon y cuarto de control; grúa de 80 ton., la cual se instala con apoyo de la grúa del complejo de producción, cuatro contenedores con conexiones rápidas y mangueras. Para efectuar los cambios de localizaciones de estos equipos entre plataformas no se requiere el apoyo del barco grúa. Las unidades que componen el equipo se bajan a un barco abastecedor con apoyo de la grúa del mismo equipo.

3.2.4 CONSIDERACIONES EN AGUAS PROFUNDAS.

El concepto de aguas profundas comienza a utilizarse a partir de 1947. En 1961 se instaló el primer árbol a una profundidad de 17m. pero el verdadero progreso ocurrió en los setentas, cuando inició la producción del campo Cognac, en el Golfo de México, a un tirante de 312m.

Los campos en aguas profundas han requerido incorporar tecnologías recientes para la explotación de éstos, tomando en cuenta que existe un número importante de consideraciones para seleccionar el equipo de perforación como:

- Intervalos de profundidades del pozo.
- Tirante de agua a someter.
- Tamaños de agujeros que van a perforarse.
- Cargas de tuberías de revestimiento esperadas.
- Intervalos de velocidades requeridas.
- Sartas de perforación.
- Pesos y tamaños de los lastra barrenas.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

- Límites en los tamaños de los ensamblajes.
- Sistema de lodos, tanques o presas para lodo y múltiples de flujo.
- Servicios auxiliares y potencia requerida.
- Altura de la subestructura, espacio libre bajo ella.
- Equipo de prevención y control de reventones.
- Sistemas de control.
- Misceláneos (soporte para tubulares, herramientas, instrumentos y similares.).

En general para estos equipos se debe considerar, independientemente:

- El posicionamiento dinámico.

Significa permanecer en un punto del mar sin anclas y fue originalmente propuesto para el proyecto Mohole de la Fundación de Ciencias Naturales de los Estados Unidos. El posicionamiento era usado en barcos pequeños para extraer los núcleos de fondo del mar profundo, se adoptó esta tecnología para mantener automáticamente la posición de una unidad sin anclas, dentro de una tolerancia específica por el uso de vectores de empuje para contrarrestar las fuerzas del viento, de las olas y corrientes que tienden a sacar a la unidad, de la posición deseada (Figura 3.16).

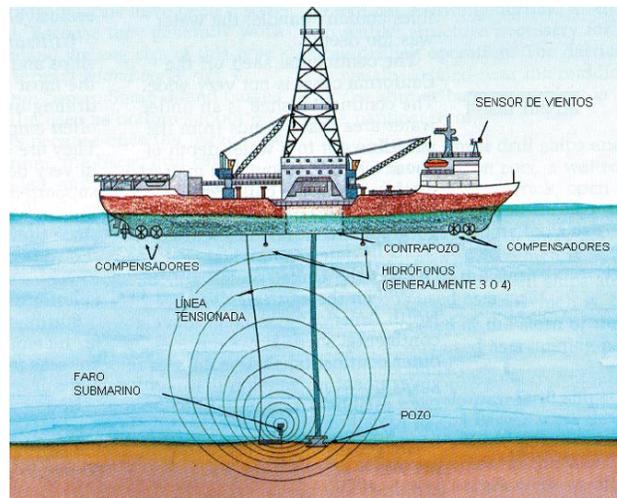


Figura 3.16. Posicionamiento dinámico.

La posición se define en términos de porcentaje de profundidad de agua. Este es el error horizontal de posición dividido por la profundidad del agua y multiplicado por 100, la tolerancia en la posición, expresada en porcentaje de profundidad de agua es conveniente porque define la posición y está relacionada con el nivel de esfuerzo en el conductor marino o en la sarta de perforación.

El error máximo permisible, respecto a los niveles de esfuerzo en los materiales tubulares desde la unidad flotante al fondo del mar, es el cinco por ciento.

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

Al aumentar la profundidad del agua, la tarea de posicionamiento dinámico se vuelve más fácil porque el mismo porcentaje de profundidad permite mayor movimiento en aguas más profundas.

- La compensación de movimiento en la superficie.

Compensadores de cable de registros eléctricos.

Existe un compensador de movimientos para contrarrestar el movimiento vertical de la unidad de perforación flotante durante las operaciones de toma de registros, se cuelga debajo del gancho y usa un cable de acero guarnido, desde la parte superior del conductor marino pasando por la polea compensadora de movimientos y se fija al piso de perforación. La polea de registros se conecta a esta polea compensadora, la cual está colgada de un tensionador neumático.

- El compensador de movimiento vertical. (CMV)

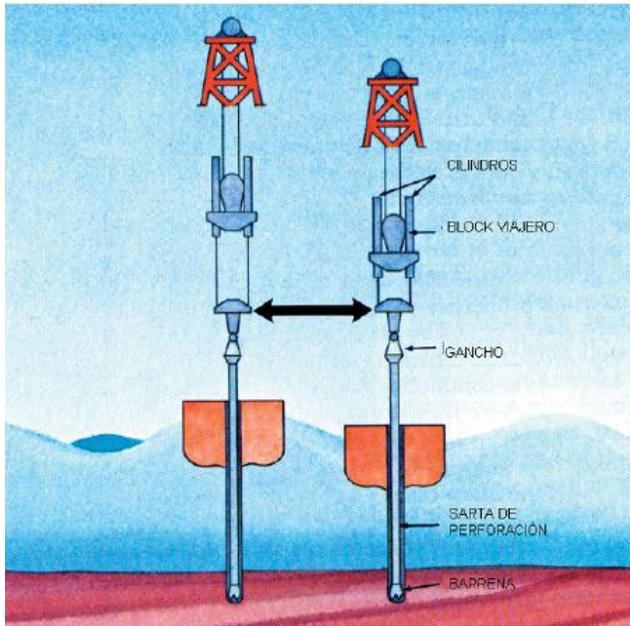


Figura 3.17. Sistema compensador de movimientos verticales.

La aplicación más importante de este mecanismo es contrarrestar el movimiento vertical de la unidad de perforación que se transmite a la sarta de perforación (Figura 3.17).

Esta anulación de movimiento mejora operaciones como:

- Perforación. El CMV mantiene virtualmente un peso constante sobre la barrena, mejora la velocidad de perforación y aumenta significativamente la vida de ésta, permite cambios fáciles e instantáneos en el peso sobre la barrena al ajustar la presión en el CMV sin tener que hacer viajes de tuberías para agregar o quitar lastrabarrenas.
- Instalando el conjunto de preventores. Con el CMV se logra un sentado suave del conjunto de preventores sobre el cabezal del pozo, no sólo en forma más segura, sino aún en condiciones más severas de movimiento vertical, lo que no sería posible sin dicho elemento.
- Instalación de tubería de revestimiento. El CMV permite también que la tubería de revestimiento sea alojada con suavidad en su cuenca, hasta en condiciones de oleaje o de movimiento vertical.
- Seguridad en el control del pozo. El CMV hace que se cierren los arietes sobre la tubería de perforación eliminando el movimiento vertical, por lo tanto, el desgaste de los elementos de empaque de los arietes y del preventor anular.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

- Operaciones variadas. El uso de CMV permite realizar operaciones que podrían no llevarse a cabo, ser obstaculizadas o suspendidas porque la sarta de perforación se mueve simultáneamente con la unidad de perforación.
 - El sistema de tensionadores de líneas guías en plataformas semisumergibles.

Para que sean efectivos los cables guía del cabezal submarino deben estar tensionados. (Figura 3.18)



Figura 3.18. Tensionadores de líneas guías

- Los conductores marinos (RISER).

Un conductor marino o riser se puede describir como un conducto desde la plataforma al fondo del mar, por medio del cual circula el lodo de perforación (Figura 3.19; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Existen dos clases de conductores marinos: los usados para operaciones de perforación y los usados para operaciones de producción.

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

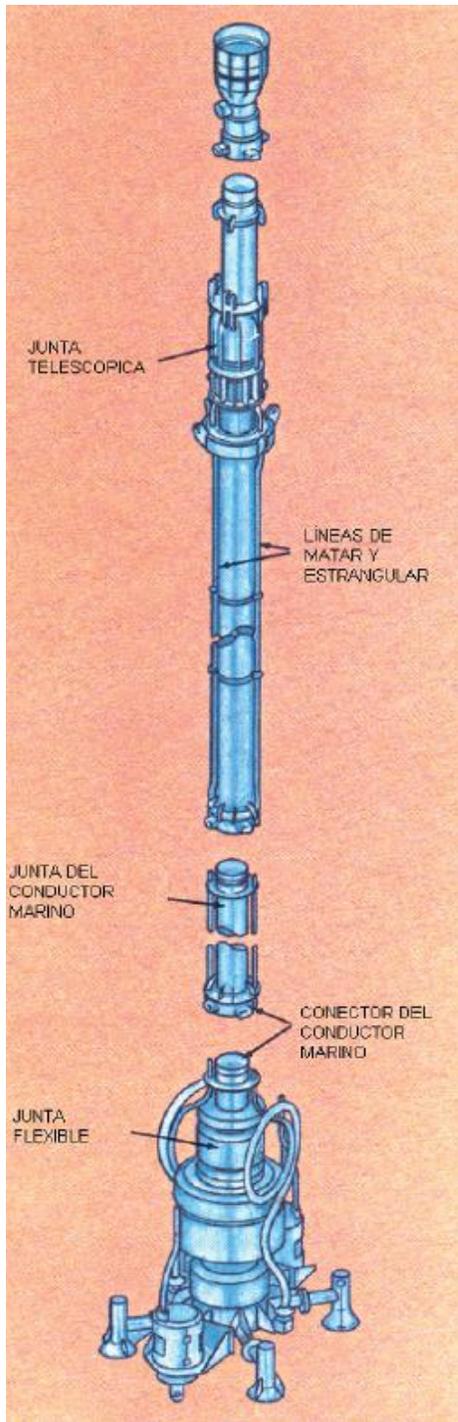


Figura 3.19. Sistema del conductor marino.

Los sistemas actuales usan líneas de matar y estrangular integradas al tubo del conductor. Cuando los tramos del conductor se están armando al sentar y conectar un tramo con otro, las líneas de matar y estrangular se conectan automáticamente. Los requerimientos del conjunto de preventores han sido el factor decisivo para determinar el diámetro y características del conductor marino y la fuerza requerida de los tensionadores.

- Los componentes básicos de un sistema conductor marino para perforación son:

La sarta del conductor para una unidad de perforación flotante está compuesta normalmente de tramos de 15.25m de largo, almacenados en cubierta durante el tránsito hacia la localización. Los extremos de cada tramo tienen juntas integrales de acoplamiento rápido. La junta telescópica, que se encuentra en el extremo superior del conductor, normalmente se diseña para un movimiento vertical entre 4.57 a 9.14 m.

El sistema tensionadores se conecta al extremo fijo del barril exterior de la junta telescópica, para proporcionar la fuerza axial suficiente y prevenir que la sarta del conductor se flexiones. El barril exterior y la sarta del conductor marino tienen movimientos laterales, inducidos por el movimiento lateral y longitudinal de la unidad, pero no tienen movimiento vertical. Cuando ésta se mueve verticalmente, se mueve junto con la camisa interior de la junta telescópica. Las juntas esféricas colocadas en cada extremo del conductor marino permiten la rotación en cualquier dirección entre 7 y 10 grados. Por lo regular, pocos operadores instalan dos juntas esféricas, lo que es más confiable, pero resulta más costoso y su instalación toma tiempo de equipo.

El arreglo más común es usar una junta esférica en la parte superior del conjunto de preventores, que se sienta en el cabezal del pozo. Este se une a la base guía, la que queda colocada en el conductor de 30 in.

- Juntas de conductor marino.

Los sistemas actuales usan líneas de matar y estrangular integradas al tubo del conductor. Cuando los tramos del conductor se están armando al sentar y conectar un tramo con otro, las líneas de matar y estrangular se conectan automáticamente.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

- Líneas de matar y estrangular.

Estas líneas corren a lo largo del conductor hasta el conjunto de preventores a la altura de la junta esférica. Existen varios diseños pero el más utilizado consta de tubos con vueltas de 360° para dar flexibilidad requerida al extremo inferior del conductor marino. Las líneas de matar y estrangular ayudan a controlar los cabeceos evitando que éstos se conviertan en reventones.

Cuando se detecta un brote potencial, se bombea lodo por la línea de matar hasta el conjunto de preventores para restablecer el equilibrio de presiones en el agujero. Cuando se presenta gas en exceso, se cierra el preventor esférico y el de arietes alrededor de una tubería de perforación. El gas en el múltiple de estrangulación se elimina usando una línea de estrangulación.

- Junta telescópica.

Existen dos tipos de juntas telescópicas usada en los conductores marinos. La más común es la de sistema de tensión constante, debido a que su mantenimiento es más fácil y porque mantiene una fuerza igual en los cables de acero conectados a la camiseta exterior de la junta telescópica. Este método utiliza un sistema de guarnido debajo del piso de perforación.

Otro tipo de junta usa el sistema tensionador axial directo. Este es un mecanismo donde los sellos y el anillo guía de la junta telescópica, están diseñados para compensar por presión interna y tiene la doble función de permitir el movimiento vertical de la unidad de perforación y actuar como un pistón tensionador directo.

En el extremo superior de la junta telescópica, se instala un desviador de flujo mediante el cual, dependiendo de la magnitud del cabeceo, se envía el lodo gasificado a la temblorina a través de la línea de flote o las líneas de venteo a babor, estribor, a popa o proa de la unidad.

3.3 PROBLEMAS TÍPICOS EN LAS OPERACIONES EN AGUAS PROFUNDAS Y ULTRAPROFUNDAS.

Existen parámetros, tanto oceanográficos como técnicos a considerar son:

- Las corrientes Océánicas.

Las fuerzas físicas y geográficas que producen la circulación de la atmósfera también afectan las aguas de los océanos. Tanto el aire como el agua reaccionan al calentamiento y enfriamiento, ambos tienen peso y fluidez y ambos están sujetos a los efectos de rotación de la Tierra.

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

➤ La corriente de Lazo.

La circulación del Golfo de México está relacionada con la influencia de las aguas cálidas y salinas que entran a través del Estrecho de Yucatán y salen por el de Florida.

Parte del agua que penetra al Golfo por el Canal de Yucatán se devuelve por contracorrientes. A su paso por la Cuenca del Golfo, un volumen de las aguas de corriente forma anillos que se desplazan al interior, generando movimientos en sentido opuesto, constituyendo remolinos ciclónicos.

El resto de las aguas continúan su viaje hacia el Estrecho de Florida formando un meandro. Este comportamiento configura una franja ligeramente plegada hacia el este a manera de un cordón a lazo, de ahí proviene su nombre: Corriente de Lazo.

Esta corriente es un flujo de agua de alta salinidad de 36.7 ‰ y temperaturas superficiales durante el verano de 28 a 29 °C, que se reducen durante el invierno a 25 y 26 °C.

➤ Las Masas de agua.

En 1971 se estableció la existencia de varias capas o masas de agua en el Golfo de México. La capa superficial es conocida como capa de mezcla. Normalmente ocupa los primeros 100 o 150 m, por lo que se ve muy afectada en sus características físicas y circulación por fenómenos climáticos atmosféricos (principalmente vientos) y por el flujo de aguas cálidas y salinas que constituyen a la Corriente de Lazo, la cual penetra al Golfo de México por el Canal de Yucatán.

Los meses de invierno y verano son los más extremos en el patrón de circulación superficial. Durante el invierno se presentan las temperaturas más bajas del ciclo anual, que resultan de los frentes polares y vientos fríos, por lo cual la influencia cálida de la corriente de Lazo puede ser fácilmente observada mediante las isotermas superficiales.

El patrón de salinidad en invierno es semejante al de la temperatura. Las salinidades menores se presentan en el norte del Golfo, donde a pesar de ser una zona somera, la época y la influencia de los ríos abaten las salinidades hasta niveles de 32.16 ‰.

➤ La densidad.

La densidad del agua puede cambiar en función de la profundidad, en ocasiones de manera brusca, constituyendo una pycnoclina (capa de discontinuidad que en los mares y en los lagos profundos separa la capa superior, de agua menos densa, de la parte inferior, más densa).

Esta capa suele estar muy asociada a una termoclina (capa de discontinuidad que en los mares y en los lagos profundos separa la capa superior, de agua más cálida, de la parte inferior, más fría) y a contenidos bajos de oxígeno, de modo que su profundidad se ve modificada dentro de las cuencas del Golfo de México y el Mar Caribe por sus patrones de circulación.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

➤ Las mareas.

La densidad del agua puede cambiar en función de la profundidad, en ocasiones de manera brusca, constituyendo una pycnoclina (capa de discontinuidad que en los mares y en los lagos profundos separa la capa superior, de agua menos densa, de la parte inferior, más densa).

Esta capa suele estar muy asociada a una termoclina (capa de discontinuidad que en los mares y en los lagos profundos separa la capa superior, de agua más cálida, de la parte inferior, más fría) y a contenidos bajos de oxígeno, de modo que su profundidad se ve modificada dentro de las cuencas del Golfo de México y el Mar Caribe por sus patrones de circulación.

➤ Oles y oleaje.

Las olas se forman debido al contacto de fricción del viento que sopla sobre la superficie del agua. Los vientos raramente están calmados ya que hay diferencias de presiones horizontales y verticales.

Los vientos actúan sobre el agua del mar transmitiendo la energía y poniéndola en movimiento, produciendo ondulaciones en las capas superficiales, formando el oleaje que se observa en todas las aguas del mundo y que desde el origen de los océanos han golpeado las costas de los continentes.

➤ La selección del sistema de explotación.

Un punto clave en el desarrollo de campos en aguas profundas es determinar cuál es el sistema utilizar: flotante o submarino. El sistema flotante se ha desarrollado mucho en los últimos años, aunque la industria petrolera está aceptando que el sistema submarino o el submarino combinado con el flotante tendrán que ser el medio para alcanzar los campos ultraprofundos.

➤ Problemas de posicionamiento del equipo.

Para mantener el equipo es su localización se utilizan sistemas computarizados de posicionamiento dinámico, que reducen el riesgo de costosas interrupciones provocadas por incapacidad para mantener la posición. Todos los equipos deben tener la capacidad de identificar y estar preparados en cualquier momento si se presenta una falla en el sistema de posicionamiento dinámico. Los problemas mas serios de posicionamiento dinámico son el drive-off (desviación) y el drift-off (la deriva). Durante el drive-off, el equipo es accionado hacia una posición lejos del pozo, ocurre cuando el sistema de posicionamiento dirige al equipo lejos de la localización. Puede ser provocado por una mala interpretación del sistema. El drift-off sucede cuando el equipo pierde potencia y las fuerzas ambientales lo empujan fuera de la localización. En ambas situaciones, los preventores deben cerrar el pozo y al riser antes de que el sistema del mismo, el cabezal o la tubería de revestimiento sufran daños.

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

➤ Manejo de la energía.

El manejo de la energía es clave para minimizar la posibilidad de un apagón que el drift-off pueda provocar. Este sistema ha sido diseñado para que automáticamente, ponga en línea a los dos motores cuando sea necesario, debido a variaciones de corriente. El sistema de manejo de energía está configurado para darle preferencia a los sistemas de posicionamiento antes que a cualquier otro, como podría ser el piso de perforación o las bombas de lodo. El sistema de manejo de energía debe identificar efectivamente la potencia disponible y consumida, con el fin de mantener un margen de primera adecuado para mantener el equipo en la localización.

3.3.1 Consideraciones ambientales.

- Corrientes cíclicas.

El Golfo de México, es una zona de fuertes corrientes, cercanas a la superficie se han encontrado corrientes mayores a cuatro nudos. La corriente cíclica provoca problemas de posicionamiento y manejo de risers. La mayor fuerza ambiental resulta cuando el viento y la corriente cíclica se encuentran desfasados 90°. Aun si el equipo se mantiene en posición, la corriente cíclica puede generar un ángulo en el riser, el cual no permite perforar.

- Abandono por huracán.

Cuando se está operando en aguas profundas el abandono por huracán es preocupación importante. Por lo general, los equipos de perforación se moverán de localización, alejándose de la trayectoria de la tormenta. El tiempo que se necesita para asegurar el pozo y recuperar el riser puede obligar a iniciar los procedimientos de abandono antes de tener la seguridad de que la tormenta afectará la localización.

- Problemas de control de los preventores.

Los equipos para aguas ultraprofundas requieren de preventores eficientes. En una falla de cualquier sistema, deben asegurar el pozo y liberar el riser antes de que las condiciones meteorológicas hagan fallar al sistema de posicionamiento o al pozo mismo. Los equipos para aguas ultraprofundas utilizan un sistema electrohidráulico múltiplex para control de los preventores. Las funciones del arreglo se controlan por medio de una señal eléctrica enviada para liberar la presión hidráulica almacenada en los acumuladores de los preventores submarinos. Durante una desconexión de emergencia, se pueden realizar 47 operaciones del arreglo en 30 segundos. En el diseño y fabricación del sistema de control de los preventores es importante analizar por completo fallas y sus efectos a fin de eliminar puntos potenciales de riesgo.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

El mejor método para minimizar los problemas en el campo es comprobar de manera rigurosa el sistema, lo que incluye: pruebas de precalificación de cada uno de los componentes; así como del sistema, simulando condiciones ambientales.

- *Conector inferior del riser (LMRP, Lower Marine Raiser Package).*

El componente más crítico del arreglo que debe funcionar durante una desconexión de emergencia es el conector LMRP. Si esta conexión no se libera cuando el equipo se mueve de la localización, puede dañarse el riser, al arreglo de preventores, el cabezal y la tubería de revestimiento conductora. Para evitarlo, es necesario realizar previamente, una prueba de campo del sistema de desconexión de emergencia. Otro aspecto crítico es el alineamiento para una reconexión del conector.

- *Otros sistemas para el control de preventores.*

La mayor parte de los arreglos de preventores para aguas ultraprofundas cuentan con el apoyo de vehículos operados a control remoto (ROV) para intervenir. Normalmente, ambos conectores y de dos a tres preventores simultáneamente pueden operarse a través de una línea hidráulica temporal proporcionada por el ROV. Esto suministra redundancia, aunque se pueden requerir varias horas para lanzar el ROV.

Existen sistemas de control, llamados de “hombre muerto”, que cierran el pozo si se pierde potencia eléctrica, hidráulica y comunicación con la superficie. El beneficio de este control es asegurar al pozo y proteger el ambiente si hay una falla catastrófica del sistema del riser.

Con frecuencia, como un sistema de respaldo o emergencia, se proponen los controles acústicos para preventores. Aunque estos sistemas han sido diseñados para funcionar bajo condiciones normales de aguas profundas, existe inquietud de que el ruido provocado por un reventón en el pozo, enmascare la señal acústica de control y haga inútiles a estos sistemas.

- *Problemas de manejo de los risers.*

El sistema de manejo de risers para aguas ultraprofundas debe desplegar, controlar y recuperar el riser, el cual puede tener un periodo axial natural cercano al periodo de tirón del equipo. Igual que los otros sistemas de los equipos de aguas ultraprofundas, éste está diseñado para desconexiones de emergencia. Además, después de la desconexión, el riser debe quedar liberado y sin carga hidrostática generada por la densidad del lodo. Los tensionadores del equipo, deben mantener un ángulo mínimo del riser para reducir el desgaste potencial del mismo y del equipo de perforación en general.

Otro gran problema es la predicción exacta del comportamiento del riser liberado y colgado, especialmente durante tormentas. El arrastre ejercido sobre el riser depende del movimiento de la embarcación y del perfil de las corrientes, lo que varía significativamente en toda su longitud. El indicador de peso con un riser libre de 6 mil pies varía de 800 a 1200 kip (1kip= 1000 lb). Como la tensión acumulada en el riser se libera rápidamente

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

durante una operación de desconexión de emergencia, la secuencia de desconexión se diseña para permitir que los tensionadores levanten el LMRP del arreglo de preventores y evitar que estén en contacto.

3.3.2 Problemas de control de pozos.

- ♦ Pérdidas de presión por fricción.

En pozos en aguas ultraprofundas, las pérdidas de presión por fricción provocadas por la circulación a través de estranguladores y líneas de matar, son mayores que las generadas en pozos en aguas someras, esto se debe a la mayor longitud de la línea de matar y a las mayores viscosidades del fluido, provocadas por las temperaturas más bajas. Muchos de los nuevos equipos diseñados para perforar en tirantes de agua mayores a los 10 mil pies, utilizarán estranguladores y líneas de matar con diámetros internos de 4 ½ in en lugar de 3 in, que son los que utilizan actualmente. Las líneas con diámetros internos mayores reducen la contrapresión aplicada al pozo cuando se circula y permiten mayores gastos de circulación.

- ♦ Formación de hidratos.

Los pozos en aguas ultraprofundas son más susceptibles a la formación de hidratos por sus temperaturas más bajas que las registradas en los tirantes convencionales de perforación costa fuera y la mayor columna hidrostática generada hace más difícil inhibir las condiciones de formación de hidratos. Los hidratos pueden ser un problema tanto en el agujero como en el exterior del arreglo en pozos ultraprofundos. La mayor parte de los problemas por formación de hidratos que se enfrentan durante la perforación, ocurren después de un periodo en el que no exista circulación. El método del perforador para circular brotes, que no requiere esperar para densificar el fluido control puede reducir la posibilidad de que se formen. Circular el fluido proporciona una verdadera inhibición cinética y agrega calor proveniente del equipo de bombas.

Los diseños del sistema del cabezal y de las conexiones han sido mejorados para minimizar la formación de hidratos en y alrededor de los preventores submarinos.

También el fluido caliente circulando en los preventores a un gasto máximo contribuye a desestabilizar los hidratos que se habían congelado en el conector de los preventores. Sin embargo, algunos pozos se han tenido que abandonar permanentemente, cortando la tubería de revestimiento, porque el conector no pudo ser liberado debido a los hidratos.

- ♦ *Problemas en la instalación de la tubería de revestimiento.*

La pegadura de tuberías de revestimiento re presenta un gran problema para cualquier equipo flotante, aunque es más crítico en los equipos de posicionamiento dinámico para aguas profundas. Los equipos toman precauciones especiales cuando van a introducir tuberías de revestimiento, como el mantener a un técnico electrónico en el cuarto de control de posicionamiento dinámico, un electricista en el cuarto de control del generador,

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

el técnico de perforación en el piso y al capitán monitoreando las condiciones climatológicas.

El colapso de la tubería de revestimiento también ha sido un problema en aguas profundas, en ocasiones, debido a que fue introducida sin llenar la sarta de tubería de perforación utilizada para introducirla. Normalmente, esto ocurre cuando la tubería de perforación se mantiene vacía.

- ♦ *Requerimientos de personal.*

La construcción de equipos para aguas ultraprofundas está en su apogeo. Podrían llegar a requerirse entre 5 mil y 6mil personas para operar la flota de 25 a 30 equipos en aguas ultraprofundas. Por tanto es necesario entrenamiento especializado, aun cuando muchas de las operaciones en estos nuevos equipos sean similares a las que se realizan en los ya existentes. La industria debe reconocer que es necesario un enfoque de capacitación para asegurar que el personal tenga las habilidades de realizar operaciones en aguas ultraprofundas de manera segura y eficiente.

3.4 PRINCIPALES DERRAMES PETROLEROS

Los derrames de hidrocarburos constituyen una de las principales fuentes de contaminación de los suelos, aguas superficiales y subterráneas, flora y fauna silvestre. Los hidrocarburos presentan actividad carcinogénica en detrimento del hombre y los animales, la presencia de estas sustancias químicas, en el agua subterránea o marítima, representan un enorme peligro para la salud humana (ITM, 2002).

Los derrames petroleros son causados por accidentes que pueden originarse en las instalaciones petroleras durante actividades de explotación, transformación, comercialización o distribución de petróleo y sus derivados. Los derrames se presentan en tierra, aguas continentales o en el mar (PEMEX, 1999).

En lo referente a barcos accidentados o a ruptura de tanques se ha observado que en un 10 % de los casos el derrame es total, como ocurre en el hundimiento de un barco o falla en la soldadura de un tanque , mientras que en el 90% de los casos solo se derrama un 60% de su contenido como ocurre por ejemplo en las colisiones o encallamientos de los buquetanque, en cuyo caso el derrame es masivo y , tratándose del descontrol de un pozo o de la ruptura de un oleoducto se origina un derrame que va suministrando aceite de manera no masiva, pero mas o menos continua, y se cuentan con métodos de control.

Las prácticas para explotar el recurso en el subsuelo marino han sido un reto para el hombre, así pues tiene sus complicaciones, una de ellas es la pérdida de control sobre el pozo perforado, el cual causa inconvenientes de gran magnitud, sobre todo por su afección al medio ambiente.

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

Los derrames históricos más significativos (Tabla 3.1) dan un margen de comparación con los ocurridos en el Golfo de México.

BARCO O POZO	LUGAR	PAÍS	FECHA	AÑO	DERRAME EN TONELADAS.
Guerra del Golfo.	Golfo Pérsico.	Kuwait, Arabia Saudita e Irak	23 de enero	1991	1,770,000
Deepwater Horizon.	Golfo de México.	Estados Unidos.	20 de abril	2010	594,000
Ixtoc-I	Golfo de México.	México	3 de junio	1979	467,000
Atlantic Empress-Aegean Captain.	Mar Caribe.	Trinidad y Tobago.	19 de julio	1979	287,000
Fergana Valley	Uzbekistan.	Uzbekistan.	2 de marzo	1992	285,000
Nowruz (plataforma).	Golfo Pérsico.	Irán.	4 de febrero	1983	260,000
ABT Summer	Oceano Atlantico	Angola.	28 de mayo	1991	260,000
Castillo de Belver	Bahía de Saldanha.	Sudáfrica.	6 de agosto	1983	252,000
Amoco Cadiz	Bretaña-Francia	Francia.	16 de marzo	1978	223,000
Amoco/MT Haven	Mar Mediterraneo.	Italia	11 de abril	1991	144,000
Odyssey	Nueva escocia.	Canadá.	10 de noviembre.	1988	132,000
Torrey canyon.	Islas Sorlingas-Cornualles.	Reino Unido.	18 de marzo.	1967	121,000
Sea Star.	Golfo de Omán.	Omán.	19 de diciembre.	1972	115,000
Morris J. Verman.	Puerto Rico.	Puerto Rico.	7 de enero	1994	109,000
Hawaiian Patriot.	Honolulu, Hawai'i.	Estados Unidos.	26 de febrero	1977	101,000
Irenes Serenade.	Mar Mediterraneo.	Grecia		1980	100,000
Urquiola.	La Coruña.	España.	12 de mayo	1976	100,000

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

MT Independenta.	Bósforo.	Turquía.	15 de noviembre	1979	95,000
Jakob Maersk.	Oporto.	Portugal.	29 de enero	1975	88,000
Braer.	Shetland.	Reino Unido.	5 de enero	1993	85,000
Ekodisk Bravo.	Mar del Norte.	Noruega.	22 de abril	1977	81,000
Greenpoint.	Nueva York	Estados Unidos		1940	76,300
Khark 5	Costas de Marruecos.	Marruecos.		1989	75,000
Mar Egeo.	La Coruña.	España.	3 de diciembre	1992	74,000
Katina P.	Maputo.	Mozambique.		1992	72,000
Nova	Golfo de Iran.	Irán.		1985	70,000
Betelgeuse.	Bantry Bay.	Irlanda.	8 de enero	1979	64,000
Prestige.	Costa de la Muerte, Galicia.	España.	13 de noviembre	2002	63,000
Exxon Valdez.	Prince William Sound, Alaska.	Estados Unidos.	24 de marzo	1989	37,000
Erika.	Golfo de Vizcaya.	Francia.	12 de diciembre	1999	20,000

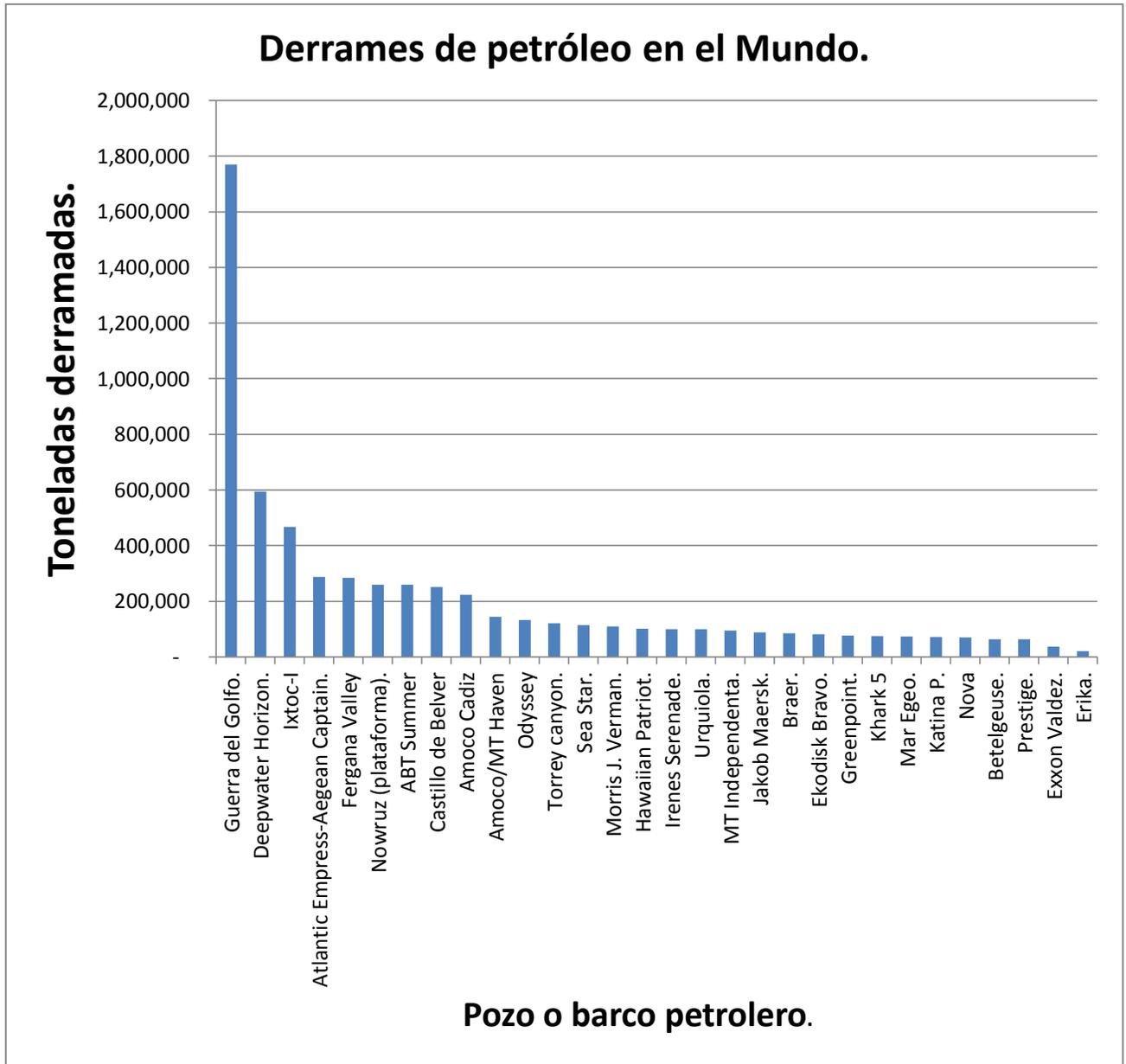
Tabla 3.1. Derrames más representativos en el mundo.

Los derrames más representativos de hidrocarburos en el mundo, se deben a la mala praxis en el traslado de estos, los derrames mencionados anteriormente en su mayoría son por el colapso, choque o encallamiento de buquetanques, que trasladaban importantes cantidades de petróleo, de su zona de extracción a su zona de tratamiento.

El derrame más importante de petróleo en el mundo se debe a una situación bélica en países del medio oriente y Estados Unidos de Norteamérica, los dos siguientes en importancia son referidos a los ocurridos en el Golfo de México, el más reciente que pertenece a la compañía British Petroleum y el caso del pozo Ixtoc I, ambos se deben a fallas técnicas en la perforación de pozos.

En la Gráfica 3.1 se ilustran los derrames más representativos a escala mundial.

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México



Gráfica 3.1. Derrames más representativos en el mundo.(Guerrero, 2013).

3.5 LA GUERRA DEL GOLFO PÉRSICO.

El conflicto bélico causado en el Golfo Pérsico (Figura 3.20) en 1991, dio origen al derrame de hidrocarburos más grande del mundo.

La intención de invasión y adhesión de Kuwait por Irak violaba la soberanía y el principio de autodeterminación de los pueblos, consagrados en la carta de la ONU, esto

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

desencadenó la guerra entre los países antes mencionados, esta guerra llegó a ser denominada “La tercera guerra mundial”, pues enfrentó a Irak con una alianza militar formada por 28 naciones, encabezada por Estados Unidos de América.

El 2 de agosto de 1990 el ejército iraquí invadió el Emirato de Kuwait, dando así el comienzo de la Guerra del Golfo, este conflicto desató distintas reacciones en sectores de la comunidad internacional, por lo cual la Organización de las Naciones Unidas, determinó que este conflicto debería de solucionarse, sin uso de fuerza, la actuación del Consejo de seguridad planteó desde la condena por la invasión de Kuwait y la solicitud de retiro de las tropas iraquíes de ese territorio, pasando por el embargo económico, el embargo aéreo, y la resolución 678 (tomada por 12 votos a favor, 2 en contra (Cuba y Yemen), y una abstención (China)) en donde autoriza el empleo de “los medios necesarios para obligar a Irak a retirarse de Kuwait”, y fija el 15 de enero de 1991 como fecha límite, si no se ha cumplido el retiro, para dar cumplimiento a esta decisión.

Ubicación de la explosión de pozos, Boletín de la OIEA, 1993.

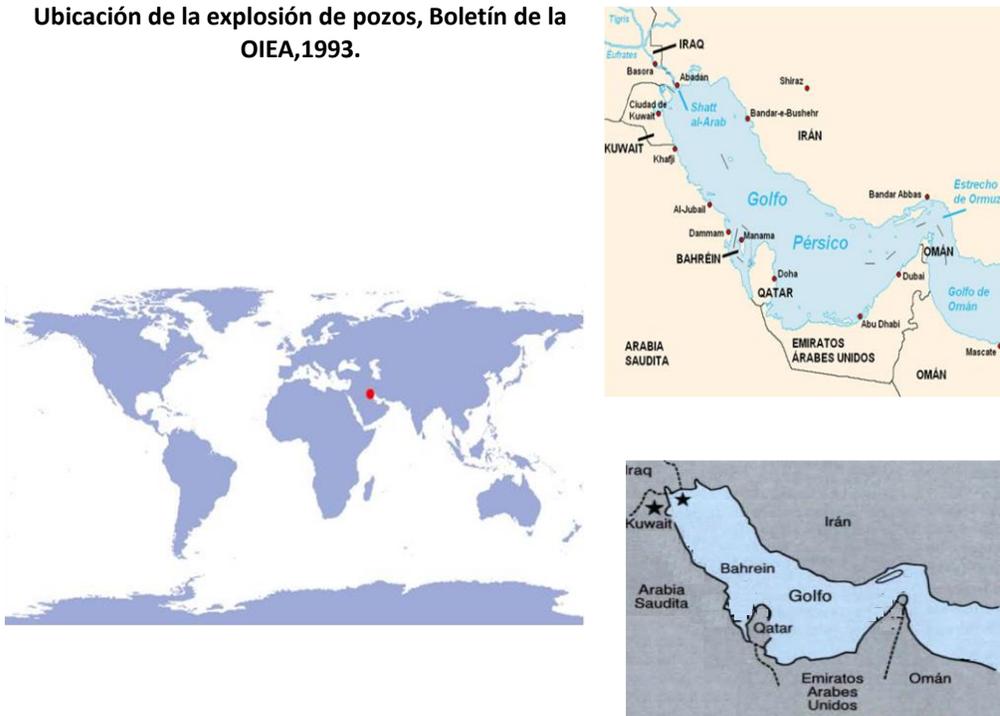


Figura 3.20. Ubicación del Golfo Pérsico.

El 16 de enero de 1991 la coalición encabezada por Estados Unidos de América inició una campaña para expulsar al ejército iraquí de Kuwait. La campaña terrestre de la Guerra del Golfo fue muy breve, y el ejército iraquí se replegó rápidamente, en su retirada se detonaron explosivos en los pozos petroleros kuwaitíes provocando el incendio de los mismos.

Los incendios comenzaron en enero de 1991 y fueron totalmente controlados en noviembre del mismo año.

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

El vertido contribuyó a la destrucción casi total de la flora y fauna de la zona, con la muerte de cientos de aves y de peces, mermando así la producción piscícola y marisquera.

La zona en donde se presentó este conflicto era un ejemplo de biodiversidad, con especies endémicas de flora y fauna.

Las tortugas, de carey y verde, se alimentaban de algas que ahí se desarrollaban, las poblaciones de aves, tanto transitorias como locales se vieron afectadas, ya que las aves migratorias que se desplazan desde el centro de Siberia hasta África Oriental, se detienen en esta zona.

Las aves embadurnadas morían por diversas causas en menos de 24 horas, causas como:

- Ingestión de crudo, resulta sumamente tóxico e impiden la asimilación de comida.
- Hipotermia, como el resultado de la impregnación de petróleo en las plumas y de la oclusión de las glándulas responsables de los productos impermeabilizantes.
- Inanición producida por la desaparición del plancton.

La invasión de productos tóxicos afectó a estuarios, albuferas y marismas abundantes, que eran importantes y consideradas de interés ecológico.

Las especies más afectadas fueron las tortugas, los delfines, los dugongos, diversas especies de cetáceos, las aves zancudas y marinas y los arrecifes coralinos.

La contaminación atmosférica debida a la combustión de crudo provocó a corto plazo, una emisión a la atmosfera de productos como azufre, CO_x e hidrocarburos, se provocó un enfriamiento del clima debido a que el humo ocultó las radiaciones solares, se produjeron alrededor de 15,000 toneladas de hollín que se emitían diariamente a la atmosfera, lo que causó un descenso de temperatura alrededor de 5°C. La complicación del apantallamiento de la radiación solar se originó por la absorción de hollín y la de cenizas, que impidieron el calentamiento de las capas bajas de la atmósfera. Estos efectos se vieron reflejados en lluvias negras y ácidas sobre Irán, con eventuales incidencias en los monzones de verano.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

3.6 DERRAME DEL POZO MACONDO.

El 20 de abril de 2010, la Deepwater Horizon, una de las plataformas semisumergibles para perforación en aguas profundas de diseño más innovador en el mundo, se encontraba operando en el pozo Macondo de BP (British Petroleum), que descubrió un yacimiento cuyas reservas se estimaban en 100,000 millones de barriles en el bloque 252 del Cañón del Misisipi, Golfo de México (Figura 3.21).



Figura 3.21. Ubicación de la plataforma perforadora del pozo macondo.

El pozo Macondo, tenía una profundidad programada de 5976m (19,600 ft) con 1662m (5067ft) de tirante de agua y atravesaba dos formaciones de interés, pero debió de detenerse a los 5598m (18360ft) (Figura 3.22) ya que se produjo una pérdida de circulación que se presentó al atravesar la primera formación productora.

Cuando se presentó el descontrol las operaciones de perforación tenían 43 días de retraso respecto a la planificación requerida, en renta de plataforma alrededor de 21.5 millones de dólares, en este contexto, el operador se vio influido para la toma de decisión de continuar perforando.

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

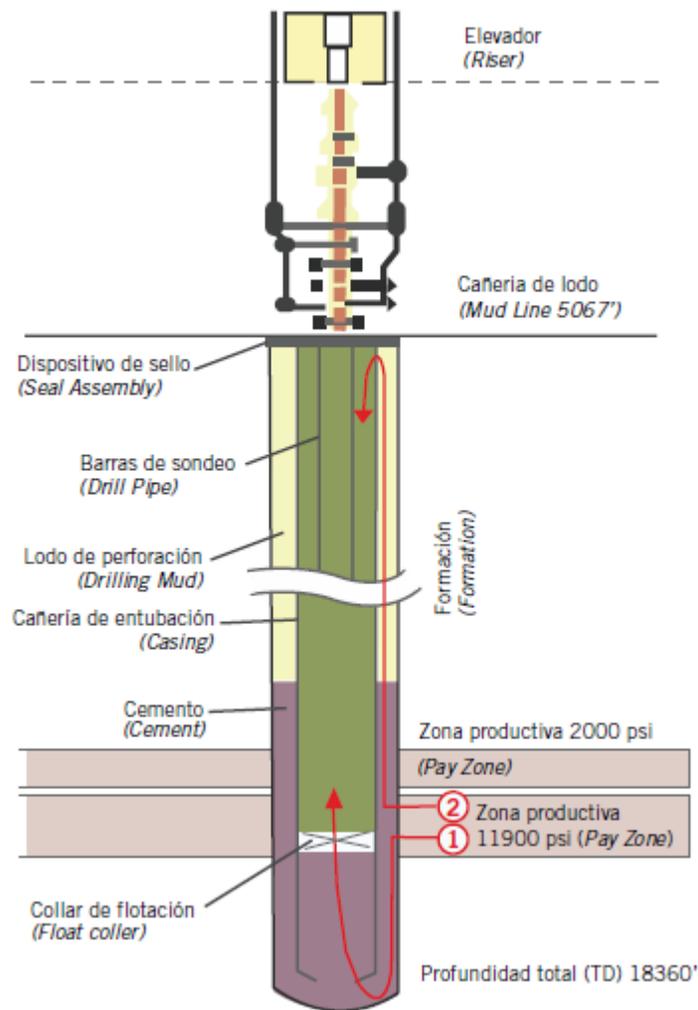


Figura 3.22. Diseño con pocas barreras de contención de gas, Petrotecnia, 2010.

El comité estadounidense identificó cinco decisiones cruciales del operador:

1. Se decidió usar un diseño de entubación que presentaba pocas barreras en la migración de gas. (Figura 3.23)
2. Se decidió usar un número insuficientes de centralizadores, que evitan la canalización del cemento.
3. Se decidió no efectuar el registro de adherencia del cemento (CBL).
4. No se normalizo el lodo del pozo de manera adecuada antes de bombear la lechada de cemento, solo se circuló treinta minutos, y para un pozo de 5600m de profundidad mínimo se necesitan de seis a doce horas de circulación para homogeneizar y desgasificar convenientemente el lodo.
5. No se fijó la camisa de bloqueo que asegura la empaquetadura del colgador de la tubería de producción en la cabeza del pozo.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

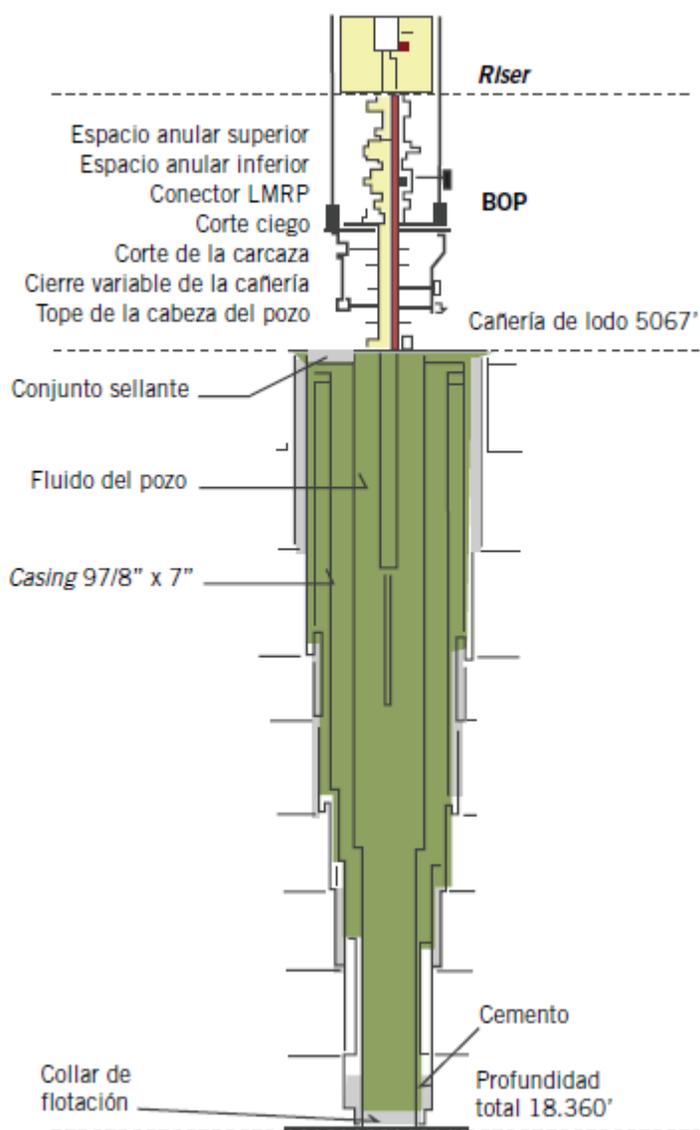


Figura 3.23. Arreglo de perforación del pozo macondo, Petrotecnia, 2010.

El 29 de octubre de 2010, el laboratorio de Ensayos de Chevron informó que las pruebas realizadas con lechada de laveolar o foam cement- lechada de cemento que contiene pequeñas burbujas de nitrógeno para disminuir la densidad empleada en cementar cañería de producción del pozo Macondo- "era inestable".

Las acciones del operador, el no fijar el seguro de bloqueo y el cemento fraguado en el espacio anular, propician que el casing se mantenga asentado, por la fuerza de gravedad generada por el peso de su longitud libre, en ciertas condiciones de presión, el casing puede flotar elevándose en la cabeza del pozo y genera la posibilidad de que los hidrocarburos se filtren a través de la cabeza del pozo, atraviesen el BOP e ingresen al riser y se manifiesten en la superficie, es por eso la importancia de la camisa de bloqueo.

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

Las empaquetaduras del cabezal de pozo se vieron sometidas a una presión de alrededor de 14,000 psi (980 kg/cm²), y el cabezal de ese pozo se probó para aproximadamente 10,000 psi (700 kg/cm²) y superó una prueba de 6,000 psi (420 kg/cm²), por lo que estaba en desventaja ya que la presión generada por el arreglo del pozo macondo superaba su capacidad.

El 20 de abril a las 20 horas el operador se mostró satisfecho con los controles realizados en la boca de pozo, y ordenó proceder con el programa trazado que consistía en terminar de desplazar el lodo con agua de mar y efectuar un taponamiento provisional hasta que el otro equipo se hiciera cargo de su puesta en producción.

A las 21:45 horas, se percataron que se producía un desplazamiento del lodo remanente y del agua salada, el pozo se estaba manifestando, ante esto, se debieron de haber cerrado automáticamente los BOP y desconectado el riser, pero no se llevó a cabo, se pudo saber que la misma presión del gas vulneraría el empaque de la cabeza del pozo, y que esta se pudo haber desprendido, levantado y forzado trozos de la tubería dentro del BOP, y quizás por eso no se obtuvo respuesta automática.

La ausencia de una segunda barrera en el espacio anular dio lugar a la expansión del fluido cuando se inició la surgencia de gas y petróleo.

En la emergencia, el personal intentó cerrar desde la plataforma por medio del sistema redundante sin resultado.

Tampoco se logró cerrar los numerosos botones de accionamiento automático para emergencias graves, como este caso.

El sistema de conexión LMRP (Lower Marine Riser Package) entre el riser y el BOP tampoco se pudo desconectar.

En el informe que presentó la British Petroleum, presenta las siguientes conclusiones:

- La lechada de cemento que se utilizó para construir la barrera aislante en la zapata de la tubería, en el fondo del pozo, falló su función de retener los hidrocarburos en el yacimiento, esto permitió su desplazamiento por la tubería y se presentó la surgencia.
- La prueba de presión que arrojó como resultado, negativo, fue negada por BP y Transocean, a pesar de que no se estableció la integridad del pozo.
- La reacción de la cuadrilla de la plataforma Deepwater Horizon fue tardía, demoró alrededor de cuarenta minutos, de tal modo que cuando las maniobras se llevaron a cabo, los fluidos del yacimiento se encontraban ya dentro del riser.
- Cuando los hidrocarburos alcanzaron la plataforma, fueron derivados al separador de gas del circuito de lodo que ventaba el gas en el moon pool, donde se encuentra todo el circuito de lodo directamente sobre el equipo en lugar de desviarlo directamente fuera de borda.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

- El gas soplabla directamente sobre la sala de motores a través del sistema de ventilación y creaba así un peligro de ignición que el sistema contra incendio de la plataforma no tenía previsto.
- Después de que la explosión y el fuego inutilizaran los controles del BOP de la plataforma operados por la cuadrilla, los controles automáticos no respondieron.

Como consecuencia del naufragio de la plataforma, al no haberse podido desconectar el riser del BOP, este quedó tendido sobre el lecho marino y permitió que le surgieran gas y petróleo a través de las dos roturas producidas, directamente en las aguas del Golfo.

Tiempo después, se cortaron el riser y el sondeo que estaba en su interior al ras del BOP por medio de los robots "Rov". Posteriormente, se colocó una campana con una conexión "LMRP" para el montaje de otro riser con el fin de recolectar un volumen importante del petróleo, dado que parte del petróleo era derivado por las compuertas laterales del dispositivo para evitar la formación de hidratos de gas que podrían obstruir. En simultáneo, estaba en construcción un nuevo BOP especialmente diseñado para instalarse en la cabeza de pozo, en condiciones de surgencia después de retirar el instalado en el pozo, que se hallaba dañado e imposible de operar y con la cual no podían pescarse los trozos de barra de sondeo que se encontraban en la boca de pozo. Por último, esta nueva BOP restituyó el control total del pozo y detuvo el derrame contaminante.

La superficie contaminada fue de 86,500 a 180,000 km^2 .

British Petroleum calculó que en el peor de los casos el derrame sería de 162,000 bpd, casi tres veces el caudal que ocurrió.

En otro plan de respuesta al derrame para todo el Golfo de México, la compañía afirmaba que podía recuperar casi 500,000 bpd usando tecnología estándar de manera que en el peor de los casos causaría el mínimo impacto en la pesca y la vida silvestre, incluyendo morsas, nutrias y leones marinos, en el Golfo de México no hay nutrias ni morsas, ni leones marinos, este plan incluía en su lista para casos de emergencia un biólogo marino que había muerto hacía años y daba la dirección de un lugar de entretenimiento en Japón como un sitio de abasto para adquirir el equipo de respuesta para los derrames (National Geographic, "El Golfo de México, capas de vida", Octubre 2010).

Varios intentos de sellar la tubería del pozo que producía el derrame fracasaron -campana de hierro e inyección de lodo pesado y cemento-, el último, mediante inyección de lodo y cemento o top kill, el 27 de mayo de 2010. El 13 de julio de 2010 British Petroleum colocó una nueva campana con la pretensión de acabar con la fuga incontrolada cerrando las válvulas progresivamente, para detener el escape, canalizando el petróleo a barcos en la superficie.

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

3.7 POZO IXTOC-I.

En la Sonda Campeche a 94 km al noroeste de Ciudad del Carmen, se localizó el pozo Ixtoc-I, con una latitud de 19° 21' 29" norte y una longitud de 92° 19' 36" oeste. El pozo, era un pozo exploratorio, se perforó con una plataforma semisumergible, en un tirante de agua de 50.5m y con un espacio entre la mesa rotaria y el fondo marino de 83.7m.

Se inició la perforación en día 1° de diciembre de 1978, cuando la barrena estaba perforando a 3,627m, se presentó una pérdida de total de circulación de lodo de perforación en rocas carbonatadas, porosas y fracturadas, se intentó restablecer la circulación bajando la densidad del lodo, y agregándole materiales obturantes, fibrosos y granulares hasta una elevada concentración.

Se estudió el caso por seis horas, y se procedió a extraer la sarta de perforación, la barrena y el lastrabarrena y se regresó a perforar con barrena franca, para colocar tapones y obturar la zona de pérdida.

El día dos de junio por la noche, se comenzó a sacar la tubería y al siguiente día se observó que el pozo empezó a fluir, estando apoyados en este momento los lastrabarrenas en la mesa rotaria por medio de cuñas, con el collarín de seguridad instalado y la última fase de tubería de perforación suspendida del elevador.

Comenzó a salir aceite y seguido gas a presión, se formó una cortina densa que imposibilitó al personal continuar laborando en el piso de trabajo por lo que se abandonó la plataforma.

El incendio comenzó cuando la plataforma empezó a evacuarse, se inició en la torre a la altura del changuero, pudiendo ser evacuada por los 71 trabajadores sin ninguna pérdida humana, enseguida, la torre, la tubería estibada en ella y parte del equipo se derrumbaron sobre el conjunto de preventores.

Mediante buzos y cámaras de revisión submarina se verificó que el conjunto de preventores podía ser utilizado para control del pozo, se conectaron líneas necesarias de operación y una manguera por donde se intentó bombear fluidos de control. A finales de junio y antes de iniciar la inyección de fluidos, todo el flujo del pozo era al interior del conjunto de preventores, y no hubo evidencias de que existiera el flujo fuera del cabezal.

El día 24 de junio se cerraron los arietes de la válvula superior y los de corte, cesando así el flujo del pozo y apagándose el incendio. Durante tres horas se bombearon por la manguera agua de mar, lodo de perforación, bolas selladoras de neopreno, trozos de hule y gelatina. Al terminar la operación se manifestó el flujo franco de aceite y de gas en la superficie del mar, se detuvieron las operaciones de inyección ya que se consideró una ruptura de gran magnitud bajo los preventores.

Se decidió perforar dos pozos direccionales de alivio, para bombear a través de ellos los fluidos de control. El primer pozo tenía como objetivo localizar la profundidad de la

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

tubería del pozo descontrolado y así afinar la trayectoria del segundo pozo de alivio, con el objeto de llegar al yacimiento productor lo más cerca posible del fondo del pozo Ixtoc-I.

Trazado el plan, se iniciaron las acciones a lo largo de diez meses para resolver el problema que dejó como consecuencia severos daños al medio ambiente.

El derrame se mantuvo alrededor de 282 días, desde el 3 de junio de 1979 al 9 de marzo de 1980, los trabajos de taponamiento terminaron el 25 de marzo de 1980.

El total de fluidos derramados fue de 3,100,000 barriles de petróleo de los cuales, una vez descontados los hidrocarburos quemados, los evaporados y los que se recolectaron en superficie se estimó que el derrame fue de 1,023,000 barriles.

El volumen de hidrocarburos que quedó libre en el mar represento en promedio 3,461 bpd, el derrame no se presentó uniforme, tuvo un máximo en los primeros días estimado en 30,000 bpd.

El derrame máximo se presentó en junio y julio de 1979, y el mínimo se presentó de agosto a noviembre hasta su taponamiento definitivo.

Al entrar el petróleo crudo con el agua de mar la densidad y la viscosidad de los hidrocarburos se alteraron. La densidad aumento de 0.879 a 0.997 g/cm^3 y la viscosidad subió de 92 seg. Saibolt Universal a 25° a 2000 seg. Saibolt Universal a la temperatura de 25°.

- OPERACIONES INICIALES DE REDUCCIÓN DEL FLUJO.

Para reducir el flujo de gas y aceite del pozo Ixtoc-I, mientras se perforaban los pozos direccionales se inyectaron fluidos obturantes, lodos de perforación, bolas de neopreno, bolas de plomo y balines de hierro. Mediante dichas acciones se logró disminuir el flujo del pozo de 30,000 hasta 10,000 bpd.

El 17 de noviembre de 1979 se suspendieron estas operaciones para no interferir con la inyección de fluidos desde el pozo Ixtoc-IB.

- POZOS DE ALIVIO Y TAPONAMIENTO DEL POZO IXTOC-I.

Se perforaron dos pozos de alivio, el Ixtoc-IA y el Ixtoc-IB.

El pozo Ixtoc-IA se perforo con una plataforma autoelevable, que se instaló a 736m al norte del pozo Ixtoc-I

El pozo Ixtoc-IB se perforo utilizando una plataforma autoelevable localizada a 847m al sur del pozo Ixtoc-I.

El día 9 de marzo se logró extinguir la pequeña llama que era la última evidencia del descontrol del pozo Ixtoc-I. El 17 de marzo de 1980 las manifestaciones de flujo en la

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

superficie del mar se mermaron por completo, considerándose así que el pozo ya estaba controlado completamente.

El 23 de marzo de 1980 se inyectó el primer tapón de obturamiento y después de cinco tapones más se consideró totalmente taponado el 25 de marzo de 1980.

- OPERACIÓN SOMBRERO.

Dentro de las actividades que se emprendieron para contener la derrama de aceite, se instaló un sistema recolector fijo, que consistía en un embudo invertido sumergido en el mar que se ubicó encima del cabezal de válvulas del pozo, esta campana consistía en un embudo de base octogonal de 12 metros de diámetro y 6 metros de altura, con un peso de 365 toneladas.

El sistema se mantuvo en operación durante 40 días, se recuperó aceite y lo quemó con buenos resultados. El hidrocarburo recuperado con este sistema se envió a una instalación de separación y quemado montada sobre otra plataforma.

- RECUPERACIÓN Y DISPERSION DEL ACEITE.

El trabajo de recolección del petróleo se inició 15 días después de suscitado el accidente, entre junio y septiembre se recuperaron alrededor de 330,000 barriles de emulsión agua-aceite, aproximadamente 100,000 barriles de hidrocarburos. Estas actividades se suspendieron el 20 de septiembre debido al mal tiempo.

El derrame del pozo Ixtoc-I se usó como campo de prueba para las tecnologías de limpieza, se probaron los equipos más avanzados para la recuperación de petróleo. El equipo que se utilizó tenía una capacidad mayor a la del derrame, debido a las dificultades que implica esta labor en mar abierto, el 33% del aceite derramado permaneció a la deriva en el mar. Se consideró que los métodos de limpieza fueron satisfactorios, pues se recuperó una importante cantidad de hidrocarburos.

El material que no se recuperó, fue sometido a diversas acciones, una porción se dispersó químicamente con sustancias tenso-activas como el coexit, aplicados desde aviones y embarcaciones especiales, la mayor parte se dispersó debido a los efectos naturales, vientos y mareas. El aceite disperso se degradó en forma acelerada, una parte se evaporó, otra parte se oxidó por acción química y fotoquímica y una porción fue metabolizada por los microorganismos existentes en el fitoplancton.

El aceite no dispersado se desplazó siguiendo las corrientes marinas superficiales, formando bandas –en los primeros días- con dimensiones aproximadas de 25km de largo y 2 km de ancho. En su desplazamiento las manchas perdían continuamente fracciones de hidrocarburos, reduciéndose día a día.

Pese a las acciones tomadas y los efectos naturales, no se evitó que las manchas alcanzaran el litoral, porque fue necesario el uso de diversas labores para la limpieza de las

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

costas. Se comprobó que el material que arribo a la zona costera era prácticamente asfalto, carente de alta toxicidad.

En agosto y septiembre de 1979 se formaron vientos y corrientes superficiales que favorecieron el desplazamiento de las manchas fuera de su curso normal hacia Veracruz, localizando perturbaciones en costas en Tabasco, Campeche y Yucatán.

Al llegar el aceite a la costa, se originó una perturbación y contaminación en las playas y en ciertos estuarios, como en la Laguna de la Mancha en Veracruz y en las Lagunas del Carmen y Mecoacán en Tabasco. En consecuencia se efectuaron trabajos de limpiezas de costas con ecólogos tanto nacionales como extranjeros y concluyeron, que después de estas acciones los litorales se encontraron como antes del derrame.

Por lo que se refiere a las operaciones realizadas en el área, se puso a prueba mucha tecnología de punta y se puso en evidencia la existencia de muchos falsos conceptos e ineficiencia operativa de sistemas y equipos en los que se confiaba como herramientas fundamentales de acción.

Los primeros resultados positivos de recolección del aceite se obtuvieron mediante equipos recolectores anclados, desplegándose barreras de contención y apoyándolas en los extremos de los chalanes de la formación y uniéndolas con una boya sujeta con un ancla de 5 toneladas.

El aprendizaje aportado por el derrame en cuanto a herramientas es que, la borda de los chalanes de recolección debe de ser tangencial, y desarrollo un sistema de colocación de las barreras amarrándolas a sotavento de los chalanes, provocando la formación de un remanso con poco oleaje y con acumulación máxima de aceite; conocer la resistencia de las barreras, las que soportaron periodos superiores a una semana de funcionamiento fueron las robustas y pesadas barreras específicas de mar abierto.

3.8 EFECTOS ADVERSOS DEL PETRÓLEO DURANTE LOS DERRAMES.

Los efectos a corto plazo son los que se producen tras las primeras horas del derrame, y perduran durante algunos días. Afectan sobre todo a los estuarios acuáticos a los que llega la luz del Sol, mueren los huevos, las larvas de los organismos marinos, el fitoplancton no realiza la fotosíntesis y se interrumpe y se trastorna toda la red trófica marina. El petróleo obstruye las branqueas de los peces, que mueren por asfixia y las aves marinas, impregnadas pierden la capacidad de volar y de mantenerse a flote.

Los efectos a largo plazo, se producen en las profundidades y en el curso de meses y años. Son debidos a las sustancias derivadas de la fotooxidación del crudo. Los moluscos y la carne de los peces supervivientes se vuelven incomedibles, por la acumulación de sustancias tóxicas. Los organismos vegetales y animales que viven en el fondo quedan gravemente dañados o muertos por residuos de crudo que con el tiempo se depositan al

Causas de derrames de petróleo en el Golfo de México

fondo. Los arrecifes de coral que se encuentran en la zona mueren ante la imposibilidad de penetración de los rayos del Sol, impidiendo así el calentamiento del agua, sucede algo semejante con los criaderos de perlas y de mariscos.

En general, los hidrocarburos causan una fuerte afección sobre el medio ambiente (Cuadro 3.4), éste es permanente. Una tonelada de petróleo contamina hasta 12 km^2 de superficie oceánica (RIANOVOSTI,2010).

TIPO DE PETRÓLEO.	PROPIEDADES FÍSICAS/QUÍMICAS.	EFFECTOS ADVERSOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE.
Petróleos livianos a volátiles.	Se esparcen rápidamente. Tienden a formar emulsiones inestables. Evaporación y solubilidad altas. Pueden penetrar el substrato. Se limpian con agitación y lavado a baja presión.	La toxicidad está relacionada con el tipo y concentración de las fracciones aromáticas. La toxicidad de las fracciones aromáticas depende de la media vida biológica en las diferentes especies. Tóxico a la biota cuando está fresco. Los manglares y las plantas de pantano pueden verse afectadas debido a la penetración y persistencia de los compuestos aromáticos en los sedimentos.
Petróleos moderados a pesados.	Viscosidad moderada a alta. Tienden a formar emulsiones estables en ambientes de alta energía marina. La penetración depende del tamaño de las partículas del substrato. La inmiscibilidad ayuda en la separación del agua. La degradación debido al clima produce bolas de alquitrán.	Efectos adversos a los organismos marinos resultan de la toxicidad química y la sofocación. Toxicidad variable dependiendo de las fracciones livianas. Los efectos se reducen en climas tropicales, debido a la rápida evaporación y a la degradación debido al clima. Los residuos de baja toxicidad tienden a sofocar plantas o animales. Las fracciones livianas contaminan las aguas intersticiales.
Asfalto fuel-oil #6 (combustible), Bunker C, desecho.	Forman bolas de alquitrán a temperaturas ambientales. Resistentes a la dispersión y pueden hundirse. Pueden ablandarse y fluir cuando se exponen al calor del sol. Son difíciles de recoger en agua. Fáciles de recoger manualmente de la superficie de las playas con equipo convencional.	Efectos adversos inmediatos y a largo plazo, debido a pequeñas fracciones aromáticas y a la degradación debido al clima. La mayoría de los efectos tóxicos se deben a su incorporación sedimentaria. La absorción del calor irradiado impone un esfuerzo térmico adicional sobre el medio ambiente. Menos efectos tóxicos en plantas marinas que en animales.

Cuadro 3.4. Propiedades fisicoquímicas y posibles efectos adversos de los tipos comunes de petróleo durante derrames.

La contaminación directa de petróleo es la que se visualiza inmediatamente, como que el petróleo se adhiere a las plumas, el pelaje, las escamas, impidiendo así el aislamiento térmico, los movimientos, así como las funciones vitales de los seres vivos, en el mar ocasiona la muerte de peces, mamíferos y aves.

Altera la circulación de gases, reduciendo así el contenido de oxígeno en el agua, provocando la muerte del plancton, vital para la cadena trófica marina, y los peces.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

El petróleo envenena a la fauna marina, penetrando en su sistema digestivo, en su cubierta cutánea y mucosas, generando la muerte y trastornos en peces, moluscos, mamíferos marinos, reptiles y aves, e indirectamente intoxicación a quienes se alimentan de éstos, como el ser humano.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

"Casi todo cuanto realice será insignificante, pero es indispensable que lo haga".

Mahatma Gandhi.

4 CONTROL Y TRATAMIENTO DE LOS DERRAMES DE PETROLEO.

El control de un derrame se basa principalmente en la especialización, comprobación, fiscalización o intervención sobre un sistema, así como su regulación.

El tratamiento consiste en un conjunto de acciones que se emplean para mitigar o aliviar un suceso no deseado.

Cuando ocurre un derrame, se debe hacer todo lo posible en esfuerzo para contenerlo inmediatamente y evitar que se disperse.

4.1 LOS HIDROCARBUROS EN EL AGUA.

Desde la década de los 70's se ha investigado el comportamiento del petróleo en los sistemas costeros del Golfo de México, iniciando un programa de vigilancia de los ecosistemas donde se contempló el análisis de la columna de agua debido a la importancia que representa al ser el medio donde se llevan a cabo las interacciones entre los componentes bióticos y abióticos incluidos los contaminantes. Los estudios realizados en este aspecto, han incluido ambientes como lagunas, ríos y estuarios así como la zona marina adyacente y oceánica, con esto se compara las concentraciones reportadas con el criterio de calidad establecido por la UNESCO en 1976 para hidrocarburos dispersos de $10 \frac{\mu g}{l}$ (Tabla 4.1).

LOCALIDAD.	AÑO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO. (INTERVALO) $\left[\frac{\mu g}{l}\right]$
Río Tuxpan, Veracruz.	1983	20 (10-50)
Río Tonalá, Veracruz.	1983	9 (0.3-18)
Río Coatzacoalcos, Veracruz.	1982-1983	14 (2-62)
Laguna de Ostión, Veracruz.	1982-1983	12 (7-17)
Puerto de Veracruz.	1981	14 (<0.01-43)
Laguna del Carmen, Tabasco.	1980	4 (3-5)
Laguna Machona, Tabasco.	1980	5 (4-7)
Laguna Mecoacán, Tabasco.	1980	0.93 (0.22-2.8)
Laguna de Términos Campeche.	1984-1985	48 (<0.01-319)
Laguna Bojórquez, Quintana Roo.	1984-1985	4.4
Golfo de México.	1983-1985	11 (<0.01-49)
Caribe Mexicano.	1983-1985	15 (<0.01-46)
Sonda de Campeche.	1987-1988	8.8
Criterio de calidad para aguas costeras no contaminadas, UNESCO.	1976	10
Criterio de calidad ambiental USEPA.	1997	0.03
Concentración máxima permisible en la Unión Europea.	1997	0.2

Tabla 4.1. Niveles de hidrocarburos dispersos en aguas del Golfo de México y el Mar Caribe.

4.1.1 PROPAGACIÓN DEL PETRÓLEO EN AGUA.

Cuando un aceite puro se vierte en una superficie de agua limpia, el aceite forma una lente cuyo espesor depende del tipo de aceite (la propagación de éste depende de la temperatura del agua y del aire); el espesor puede llegar a ser apreciable, cuando el aceite vertido en agua pura es una cantidad pequeña, el aceite se esparce rápidamente formando una película delgada, la cual muestra colores iridiscentes característicos de éste.

La propagación depende de los agentes tensoactivos que contiene el petróleo.

En el agua de mar limpia sin influencias de viento o marea, el petróleo derramado se extenderá formando una mancha circular muy rápidamente.

Los derrames de petróleo se clasifican de acuerdo a su volumen inicial en tres grupos (Tabla 4.2), esta clasificación se basa en el modelo propuesto por Fay (1971) y PEMEX lo empleo en 1988, y considera que existen tres fases sucesivas de dispersión mecánica horizontal reguladas por las fuerzas de gravedad, viscosidad y tensión superficial:

- Derrames menores, cuando el volumen derramado es $< 30m^3$, su configuración es variable, casi imprevisible, con espesores que por lo regular miden 1.76mm a los 12 minutos, hasta 0.023 mm a las 20 horas. Su color varía desde oscuro a brillo plateado, en función del espesor. Ésta se divide en tres fases, la primera dura 12 minutos, la segunda es de 3 horas y la tercera es de 20 horas. Su recuperación no resulta económica porque el espesor es muy delgado.
Se presentan durante la carga y descarga de hidrocarburos para su traslado pueden sus consecuencias son menores, puede ser debido a:
 - Fuga en las juntas de tubería y mangueras en la carga y descarga de buquetanques
 - Esgurrimiento de las plataformas marinas
 - Derrame del lastre.

- Derrames medianos, el volumen derramado se encuentra entre 30 y 800 m^3 se observa la forma de manchas compactas de un área que típicamente mide entre 260 m^2 a los 36 minutos, 1600 m^2 durante el primer día y 15000 m^2 a los cuatro días y sus espesores varían entre los 2.95 mm y 0.0529mm. Dependiendo de factores como el viento, las corrientes, la temperatura y el tipo de crudo, la mancha toma diferentes formas, en la periferia de las manchas de petróleo por lo regular encontramos iridiscencias.
Se pueden presentar durante la carga, descarga o transporte de los hidrocarburos, éstas representan una amenaza a la salud pública y/o bienestar

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

del área inmediata al punto del derrame. Los derrames de este tipo se pueden presentar en:

- Fuga en líneas de conducción
 - Fuga en monoboyas
 - Desbordamiento de buquetanques.
- Derrames mayores, el volumen de petróleo derramado es mayor a los $800m^3$. Los derrames que llegan a incurrir en más de $1600 m^3$ continúan compactos alrededor de 2 días y los de mayor volumen hasta por 8 días, dependiendo de las características del petróleo, separándose luego en manchas sueltas. Llegan a formar manchas alrededor de $25000m^2$, entre los 6 y 19 días, cuando el volumen derramado está entre 1600 y $16000m^3$ respectivamente, la coloración de la mancha es oscura hasta alcanzar un espesor de $0.45mm$. Son los derrames de hidrocarburos que por su magnitud, carácter o intensidad representan una amenaza a la salud pública y/o al bienestar tanto del área inmediata al punto de derrame como áreas lejanas al incidente. Como:
- Encallamiento de buquetanques que ocasiona la ruptura de sus tanques de almacenamiento
 - Colisión entre buquetanques.
 - Descontrol de pozos productores.

Volumen. (m^3)	Fase.	Tiempo.	Área. (km^2)	Espesor. (mm)	Aspecto.
32	1 ^a	12 min.	0.018107	1.76	Colores oscuros
	2 ^a	2.7 h.	0.0661	0.48	Color mate con bandas brillantes.
	3 ^a	20 h.	1.3	0.023	Colores de brillos plateados hasta llegar a tonalidades de arcoíris.
800	1 ^a	36 min.	0.269	2.95	Colores oscuros durante los primeros cuatro días, cambiando a colores mate, hasta llegar a iridiscencias.
	2 ^a	24 h.	1.6	0.496	
	3 ^a	4 días.	15	0.0529	
1,600	1 ^a	45 min.	0.47	3.37	La mancha de petróleo continúa oscura hasta alcanzar un espesor de $45mm$., a partir de ese punto pasa por coloraciones como en los casos anteriores van desde mate hasta iridiscencias, colores del arcoíris.
	2 ^a	39 h.	3.4	0.46	
	3 ^a	6 días.	25.1	0.063	
16,000	1 ^a	97 min.	3.26	4.86	en los casos anteriores van desde mate hasta iridiscencias, colores del arcoíris.
	2 ^a	179 h	34.6	0.45	
	3 ^a	19 días	141.5	0.112	

Tabla 4.2. Características de la clasificación de los derrames de hidrocarburos (Fuente: PEMEX, 1988).

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

4.2 CONTROL Y TRATAMIENTO.

El modelado del esparcimiento de crudo es muy complicado debido a la variabilidad e independencia de factores como:

- Composición inicial.
- Degradación climática.
- Condiciones ambientales.

Conscientes del conocimiento de un derrame, la primer acción que se debe desempeñar es mitigar la fuente de aporte al medio.

El conocimiento del camino de un derrame es crucial para la contención de éste (Figura 4.1), conocer las corrientes que lo afectan, los vientos, la temperatura e incluso la estación del año en que se suscitó facilitará la realización de un plan de acción.

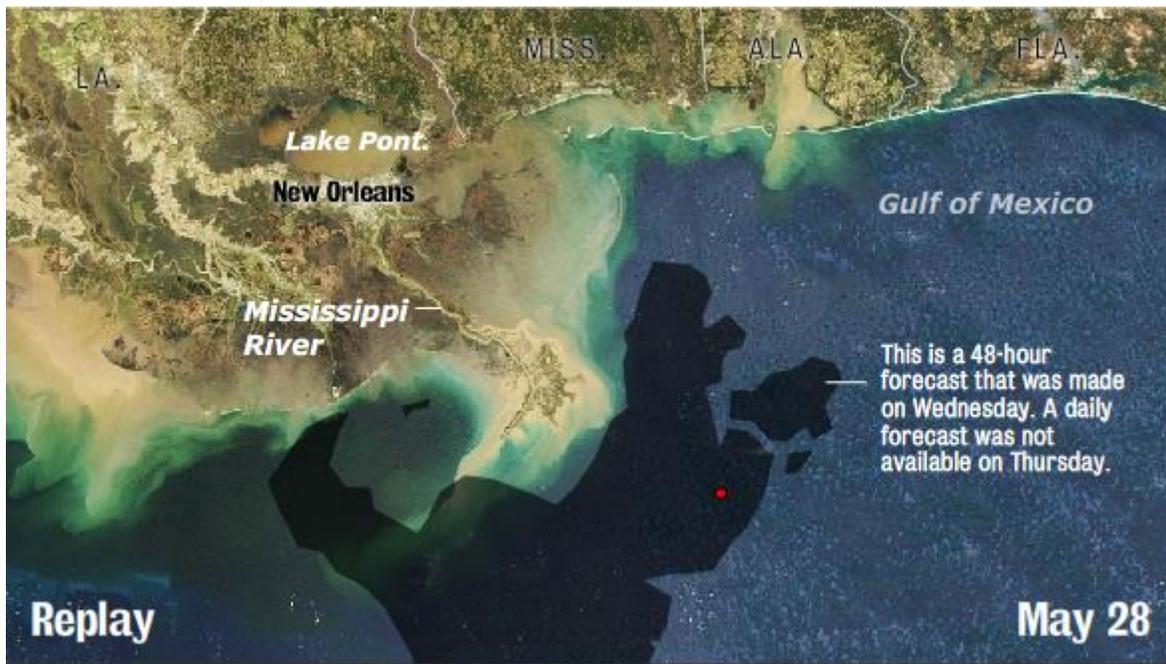


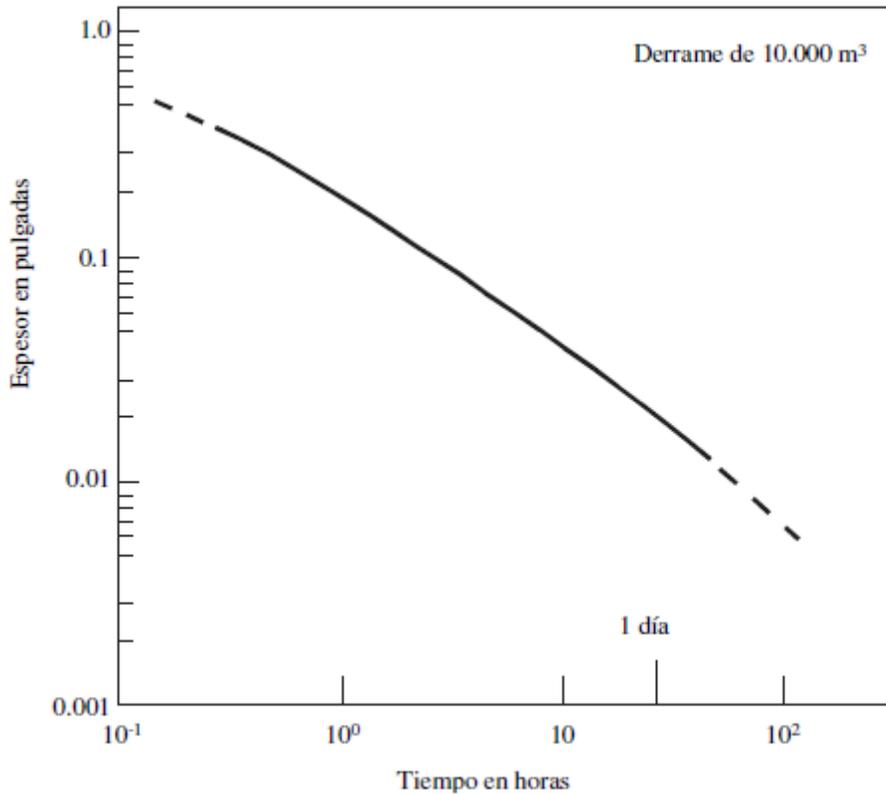
Figura 4.1. Ruta de los hidrocarburos del derrame del pozo Macondo, 28 de mayo del 2010. U.S Coast Guard, The Associated Press.

Se han creado modelos para predecir el esparcimiento de los derrames, más no son fiables, debido a las diferentes condiciones en las que se presentan. Es difícil su modelado ya que en su mayoría son derrames accidentales y no se prevé el estudio inmediato de éstos.

En 1980, Mackey et. al desarrollaron un algoritmo, que actualmente se usa en algunos modelos computarizados para predecir el esparcimiento de hidrocarburos, este algoritmo asume que el esparcimiento de petróleo consta de dos capas, una capa delgada casi iridiscente y una capa gruesa, la capa gruesa se encuentra en las cercanías de la fuente

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

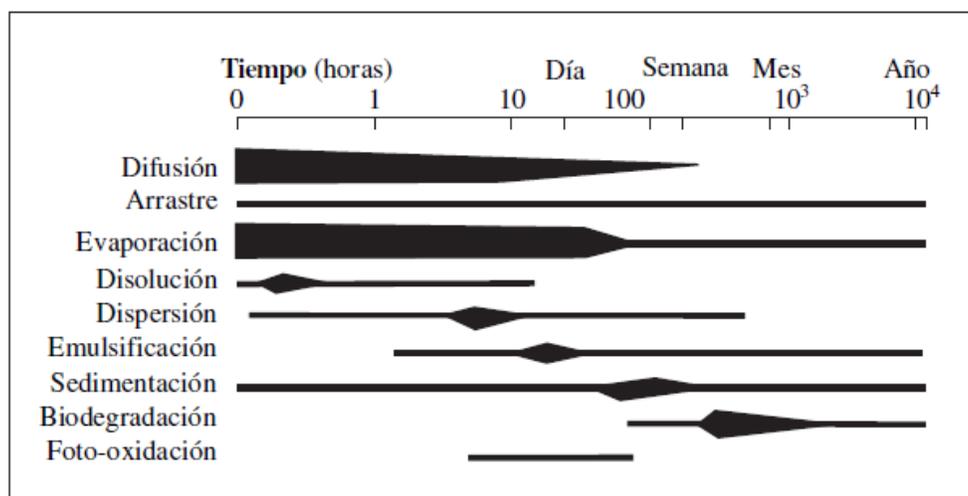
de aportación al medio, tomando como referencia que la capa delgada ocupa un 90% del área del derrame. La capa gruesa alimenta a la capa delgada, dependiendo de constantes empíricas, la gráfica (Gráfica 4.1) muestra el espesor promedio de la capa de petróleo con respecto al tiempo, en un mar tranquilo con vientos ligeros, únicamente la tendencia prevista del espesor en función del tiempo, es un derrame hipotético, pues el espesor varía con cada capa de petróleo y depende de las características y el volumen del petróleo derramado, las condiciones del viento, las olas, las corrientes y las temperaturas del agua y el aire.



Gráfica 4.1 Comportamiento de la parte gruesa de una capa de petróleo en agua. (Manual de campo para respuesta a derrames de petróleo, ExxonMobil,2008).

Las propiedades físicas y químicas del petróleo derramado y las condiciones ambientales predominantes determinarán el comportamiento del petróleo. Los procesos básicos y los plazos de tiempo (Gráfica 4.2) en que presentan dependen además de todas las condiciones y características del derrame y de las características y propiedades del petróleo.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.



Gráfica 4.2. Procesos contra tiempo transcurrido desde el derrame. (Manual de campo para respuesta a derrames de petróleo, ExxonMobil,2008).

Una respuesta rápida es esencial para una limpieza efectiva del derrame. Un plan de contingencia efectivo ayudará a garantizar la pronta respuesta y un uso eficiente de recursos.

Cuando se efectúa la eliminación de la fuente, evitando que el derrame progrese, se lleva a cabo el uso de recursos en el control y tratamiento del derrame, como son:

4.2.1 Seguimiento y vigilancia.

En estas operaciones se debe tomar en cuenta el tamaño y la ubicación de la capa de petróleo así como las predicciones sobre su comportamiento, ya que estos factores son críticos en la planeación de las contramedidas para responder a la contingencia.

4.2.1.1 PROCESOS NATURALES QUE INTERVIENEN EN LOS DERRAMES DE PETRÓLEO.

Cuando ocurre un derrame de petróleo en un cuerpo de agua, éste normalmente se divide en varias manchas y se disipa en el medio a medida que transcurre el tiempo. La disipación es la suma de procesos físicos, químicos y biológicos que actúan sobre el derrame de hidrocarburo cambiando su extensión y composición inicial.

La disipación se puede clasificar en dos procesos: Biodegradación cuando se refiere a procesos biológicos, y meteorización a los procesos físicos y químicos.

La meteorización a su vez se produce por medio de la disipación natural, la cual permite que la parte del hidrocarburo se precipite o disperse verticalmente, otra que se disuelva o se evapore y otra forme una emulsión, quedando una fracción de crudo remanente difícil de meteorizar o mineralizar.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

La biodegradación de los hidrocarburos residuales es lenta y generalmente tiene lugar luego de los procesos físicos y químicos, ésta está asociada al aprovechamiento de los nutrientes por parte de los microorganismos presentes en el medio o en el hidrocarburo.

La acción de los procesos físicos, químicos y biológicos (Figura 4.2) depende del tipo de hidrocarburo derramado. Las propiedades físicas como la densidad, viscosidad y punto de evaporación, determinan en gran medida la forma como se comporta el derrame.

Las condiciones meteorológicas (viento, radiación solar, temperatura y otras), hidrodinámicas (oleaje, corrientes y mareas), y las características del área en donde ocurre el derrame, deben considerarse.

Los procesos de escurrimiento, evaporación y dispersión, son muy importantes en las primeras etapas del derrame, mientras que la oxidación-reducción, sedimentación y degradación son más importantes en etapas posteriores; para comprender su interacción es necesario conocer su relación con las condiciones ambientales. Es posible establecer relaciones con base en modelos empíricos, que clasifican el petróleo según su densidad y vida media (tiempo necesario para que el 50% del petróleo sea disipado en el mar, ITOPF, 1999). Los de baja densidad son menos persistentes, sin embargo algunos livianos pueden comportarse de forma parecida a los pesados debido a su contenido de parafinas.

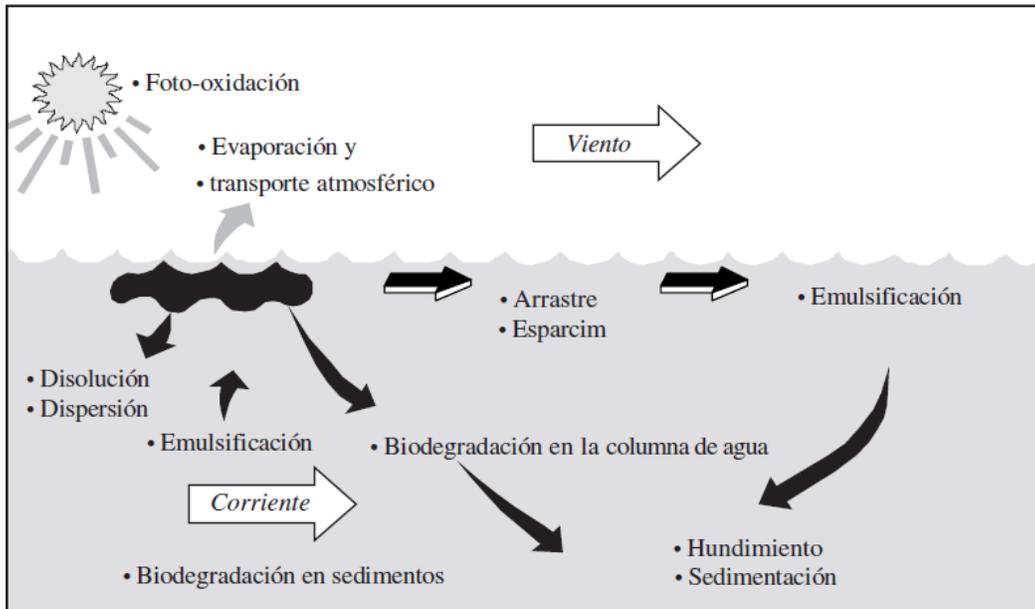


Figura 4.2. Procesos naturales que actúan sobre el petróleo derramado.

La mayoría de estos procesos ocurren por lo regular en el siguiente orden, después de un derrame: Dispersión mecánica, evaporación, disolución, emulsificación, auto oxidación, biodegradación, hundimiento y afloración a la superficie después de lo cual el proceso se repite nuevamente. Mientras estos fenómenos ocurren, la mancha de petróleo puede también estarse moviendo.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

En general, luego de seis vidas medias, se puede decir que el petróleo remanente es menor al 1% del inicial, esto depende de las condiciones meteorológicas y climáticas.

4.2.1.1.1 DISPERSIÓN MÉCANICA.

Teóricamente, si un volumen de petróleo es derramado sobre un cuerpo de agua en calma, en el cual no existe interacción con el viento, ni corrientes de agua, ni mareas, este volumen de petróleo se dispersaría uniformemente por equilibrio de las fuerzas de gravedad inicialmente, de viscosidad enseguida y finalmente por la de tensión superficial. A este fenómeno de ocurrencia en condiciones ideales se le conoce como escurrimiento, dispersión mecánica, expansión o dispersión horizontal.

Tan pronto como el petróleo es derramado, éste comienza a deslizarse uniformemente sobre la superficie del cuerpo de agua y posteriormente se ve afectado por las corrientes, el viento y el oleaje, fragmentándose en barras paralelas a la dirección del viento. La velocidad de crecimiento de la mancha depende de las propiedades de los fluidos y las condiciones ambientales, por lo que los derrames varían en su forma tamaño y espesor. Esta evolución física es prácticamente imposible de representar a través de modelos matemáticos; sin embargo se ha logrado interpretar los fenómenos físicos que predominan en este mecanismo (Blokker, 1964; Fay 1969 y 1971; Hoult, 1972; Mackay, 1980).

4.2.1.1.2 EVAPORACIÓN.

Es el proceso mediante el cual los compuestos de bajo peso molecular con puntos de ebullición relativamente bajos se volatilizan pasando a la atmosfera. Este fenómeno depende de las presiones de vapor, la viscosidad de los componentes del petróleo y de las condiciones ambientales. La evaporación reduce el volumen de aceite y su inflamabilidad, e incrementa la viscosidad y la densidad del residuo, en conjunto estos factores tendrán un efecto retardante sobre la velocidad de extensión. Las mayores pérdidas debidas a la evaporación ocurren durante los primeros días del derrame.

La evaporación junto con la dispersión vertical son los procesos de remoción de masa más importantes de una mancha de petróleo.

Los modelos numéricos desarrollados para representar el flujo de evaporación (masa / tiempo - área) se han desarrollado en función del coeficiente de transferencia de masa y la presión de vapor. Sin embargo una de las complicaciones que se presenta es el cambio de la presión de vapor a medida que cambia la composición de la mancha de petróleo, mientras que la difusividad se puede considerar constante (Stiver y Mackay, 1984).

Los petróleos crudos ligeros se evaporan entre 20 y 60%, mientras que los petróleos medios pueden perder entre un 20 y 30% en las primeras 24 horas.

4.2.1.1.3 DISPERSIÓN VERTICAL.

Las olas y la turbulencia (la turbulencia en los grandes cuerpos de agua es causada principalmente por el viento, mientras que en los ríos es causada principalmente por las orillas y el fondo del cauce en mayor proporción), causan parte o toda la ruptura de la

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

mancha, dividiéndola en fragmentos y gotas de diferentes tamaños (ITOPF, 1999). Estas pequeñas gotas pueden llegar a mezclarse en diferentes niveles de la columna de agua. Las gotas pequeñas tienen mayor tendencia a permanecer dispersas en suspensión cuando su diámetro es menor a 70 μm , mientras que para las de mayor diámetro, las fuerzas de cohesión las vuelven a unir, formando una nueva mancha que se esparce en finas películas (NOAA, 1995).

La dispersión aumenta el área superficial de la mancha, favoreciendo la disolución, la biodegradación y la sedimentación. La estructura del espectro de gotas de petróleo es independiente del tipo de hidrocarburo y la energía de las olas y está ligada directamente a la turbulencia, que es la que define el diámetro de las gotas suspendidas, mientras que la velocidad de la dispersión depende de la naturaleza del petróleo (viscosidad, tensión superficial, composición de livianos) y la agitación del mar. En ocasiones la adición de dispersantes químicos favorece la dispersión (ITOPF, 1999).

4.2.1.1.4 DISOLUCIÓN.

La disolución es el proceso por el cual los compuestos de bajo peso molecular y los compuestos polares (está íntimamente relacionada con otras propiedades como la solubilidad, el punto de fusión, el punto de ebullición, las fuerzas intermoleculares, etc.) se asocian a las moléculas de agua, desprendiéndose de la masa del petróleo, pasando a formar parte de la gran masa de agua. La velocidad de este proceso está influenciada por muchos parámetros, incluyendo el tipo de petróleo, viscosidad, grado de oxidación y degradación microbológica que producen constantemente compuestos polares, los cuales se disuelven finalmente en el agua.

La disolución usualmente solo representa el 1% de la masa perdida, pero los productos disueltos pueden llegar a ser de gran importancia por sus efectos tóxicos, por lo que en ocasiones se requiere de una descripción detallada del petróleo para su estimación.

La disolución también puede provenir de las gotas de petróleo dispersas en el agua debido a la difusión turbulenta del petróleo en el agua y aunque este fenómeno podría representar un porcentaje similar al disuelto en forma directa, aun no se cuenta con algoritmos que representen este fenómeno (Cohen et al. 1980).

La disolución de los hidrocarburos del petróleo dentro del agua presenta riesgos para los organismos acuáticos, porque generalmente los productos solubles en el agua son bastante tóxicos.

4.2.1.1.5 EMULSIFICACIÓN.

Una emulsión es una dispersión coloidal de un líquido en otro inmiscible en él, es formada por la combinación de dos líquidos, en la cual uno de los dos permanece suspendido en el otro. Las emulsiones agua - petróleo ocurren por medio de la mezcla de pequeñas gotas de agua, que quedan suspendidas en el petróleo, siendo la fase continua el petróleo, mientras que las emulsiones de petróleo - agua ocurre por la mezcla de pequeñas gotas de petróleo en agua, en este caso la fase continua es el agua, esta emulsión es

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

perfectamente estable, ambos tipos de emulsión son provocados por la mezcla física promovida por la turbulencia del mar (ITOPF, 1999).

La vida de esta emulsión puede abarcar varios meses esto es debido a los agentes emulsificantes del petróleo como:

- Compuestos parafínicos pesados.
- Ácidos nafténicos pesados.
- Ácidos del petróleo.
- Compuestos asfálticos.
- Sólidos orgánicos.
- Sólidos inorgánicos.

Kullenber (1982), consideró que una buena emulsión se presenta cuando la fase continua es el agua, pues en este caso el tamaño microscópico de las gotas de petróleo proporciona mayor superficie de contacto para su degradación microbiana. El caso contrario se presenta cuando la fase continua es el petróleo y el contenido de agua es del orden del 80%, dado que esta mezcla es capaz de flotar y no se degrada con facilidad, en particular cuando se encuentran presentes los asfaltenos; dando origen a lo que se conoce como barras flotantes.

El petróleo con alto contenido de asfaltenos (mayor de 0.5%), tiende a formar emulsiones estables las cuales pueden permanecer durante meses después de ocurrido el derrame. Los petróleos con bajo contenido de asfaltenos tienen menor tendencia a formar emulsiones, aumentando su tendencia a disiparse. Un factor que contribuye al rompimiento de las emulsiones es el aumento de la temperatura, lo que tiene lugar en el mar en calma y en la playa.

Las emulsiones aumentan la capacidad contaminante del petróleo en 3 o 4 veces, retrasando los procesos de disipación natural. En general se puede decir que las emulsiones estables provienen de:

- Crudos pesados con alta viscosidad.
- Crudos y productos refinados con alto contenidos de asfaltenos.
- Crudos con alto contenido de impurezas.

Las emulsiones varían de un crudo a otro, y el rompimiento de la emulsión depende de las características químicas y físicas del petróleo así como de las condiciones climáticas a las que está sujeto el derrame. La consideración de las características de la emulsificación contribuye a la elección del desemisificante.

4.2.1.1.6 FOTOXIDACIÓN.

Este fenómeno tiene dos fuentes principales, la auto oxidación y la degradación microbológica, esta última, puede ser aeróbica o anaeróbica conocida también como foto-oxidación.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

La auto-oxidación es una reacción catalizada por la luz, reaccionando los hidrocarburos con el oxígeno atmosférico, siendo catalizada por compuestos órgano-metálicos tales como los naftalenos, mientras que los compuestos de azufre actúan con efecto contrario, esta reacción está influenciada por la temperatura, la presencia del aire y la superficie de contacto entre el agua y el aire. Los productos de este fenómeno son cetonas, aldehídos, alcoholes y ácidos carboxílicos los cuales se caracterizan por ser compuestos polares, los cuales se disuelven fácilmente en el agua y además actúan como agentes emulsificantes o detergentes.

El resultado final de este proceso es el rompimiento de las largas cadenas de hidrocarburos y la formación de compuestos solubles y persistentes llamados alquitranes. La oxidación - reducción es un proceso muy lento y es posible que en películas delgadas de hidrocarburo, tan solo 0.1% del petróleo presente se oxide por día.

4.2.1.1.7 BIODEGRADACIÓN.

Existen muchos microorganismos que pueden parcial o totalmente degradar el aceite en compuestos solubles en el agua y eventualmente a bióxido de carbono y agua.

La degradación microbiológica, también conocida como biodegradación es un proceso multifacético, favorecido por la presencia de nutrientes, especialmente el fósforo y el nitrógeno.

La velocidad de este proceso está en función de la temperatura, la densidad de la población de microorganismos que se alimentan con el petróleo y la presencia de formas de vida superior que se alimentan de estos microorganismos.

Entre las especies que utilizan hidrocarburos e hidrocarburos oxidados químicamente como fuente de alimentación, podemos citar bacterias como; *Corynebacterium* y *Mycobacterium*, actinomicetos y filamentos fungi entre otros.

Sin embargo, algunos componentes no son susceptibles a la biodegradación. Los factores que mayor influencia tiene sobre este proceso son el contenido de nutrientes en el agua como el fósforo, el nitrógeno y el contenido de oxígeno disuelto. La presencia del oxígeno es indispensable para este proceso y por lo tanto solo ocurre en la interface agua-aceite. La dispersión vertical en pequeñas gotas de aceite por acción natural o química, incrementa el área superficial del hidrocarburo y el área disponible para la actividad de los microorganismos.

4.2.1.1.8 SEDIMENTACIÓN.

Algunos derivados pesados del petróleo tienen densidades mayores de $1,000 \text{ kg/m}^3$, de tal manera que se precipitan en agua fresca. Sin embargo el agua salada tiene una densidad aproximada de $1,025 \text{ kg/m}^3$ y en muy pocos casos un crudo tiene una densidad tan alta como para precipitarse, por lo que la precipitación ocurre en estos casos por la adición de partículas suspendidas o material orgánico. Generalmente las aguas

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

permanecen con muchos sólidos en suspensión que esperan las condiciones propicias para sedimentar.

Cuando el petróleo es depositado en las orillas del cuerpo de agua, se mezcla con la arena y luego de ser lavado por acción del oleaje tiende a sedimentarse.

4.2.1.1.9 HUNDIEMIENTO.

La evaporación, disolución y oxidación de los hidrocarburos ligeros causan un incremento en la densidad del petróleo. Este aumento en la densidad del petróleo ocasiona que se hunda yéndose hasta el fondo del mar, donde la oxidación microbiológica anaeróbica hace el proceso más importante en la biodegradación.

4.2.1.1.10 RESURGIMIENTO DEL PETRÓLEO EN LA SUPERFICIE.

Si la densidad del petróleo se reduce suficientemente por la oxidación anaeróbica el petróleo resurge a la superficie. Empezando así un nuevo ciclo de degradación hasta que el petróleo se degrada o arriba a la tierra.

4.2.1.1.11 COMPORTAMIENTO DE LOS HIDROCARBUROS EN EL HIELO.

El petróleo tiende a expandirse fácilmente en el hielo, siguiendo el curso irregular de la superficie del hielo, su extensión depende de la viscosidad, gravedad específica, punto de derrame y tensión superficial del petróleo.

La superficie del hielo es en la mayoría de los casos completamente porosa y en pocas pulgadas de la superficie puede absorber un 25% del volumen del petróleo. Cuando el petróleo está presente en el hielo se genera una gran absorción de la energía solar, causando un incremento de la velocidad de fusión del hielo. Éste puede por lo tanto fundirse durante el día y congelarse en la noche, con lo cual el petróleo puede migrar a través del hielo y contaminar la tierra o el agua profundamente.

Cuando el petróleo en el agua está bajo el hielo, éste flota junto con el hielo quedando atrapado en el mismo, formando las mismas irregularidades de la superficie del hielo, si existe cualquier corriente ésta tiende a mover el petróleo.

El petróleo que llega a penetrar el hielo, se establece ahí por largos periodos, la biodegradación puede empezar, pero el abastecimiento de oxígeno es restringido, lo que ocasiona que este proceso sea demasiado lento.

Una vez derramados, todos los petróleos se degradarán debido a las condiciones climáticas, sin importar sus propiedades físicas y químicas, la tasa de degradación depende de las condiciones predominantes en el momento del derrame y de las características del producto derramado.

4.2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS HIDROCARBUROS QUE INFLUYEN EN UN DERRAME.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

Las características de los hidrocarburos (Tabla 4.3) influyen sobremanera en el control, tratamiento así como en la remediación del medio ambiente, ya que de estas dependen las acciones.

Propiedad.	Descripción.
Tensión superficial.	<p>Es la fuerza perpendicular a la superficie del líquido y dirigido hacia el seno de éste. Este fenómeno se debe a las fuerzas de atracción intermoleculares en el seno del líquido, se define como la fuerza en dinas que actúa en dirección perpendicular sobre toda la línea de 1 cm de longitud en la superficie (dinas/cm).</p> <p>La medida de la tensión superficial se usa para evaluar la velocidad de extendimiento de petróleo crudo en el agua, disminuyendo dicha tensión superficial por la presencia de gases disueltos en el petróleo crudo, así como un aumento de la temperatura, mientras que la alta gravedad específica (grados API) y la presencia de sales tienden a incrementarla.</p> <p>Peso específico. Es la relación de su densidad a la densidad del agua a una determinada temperatura de referencia.</p> $S = \frac{d_o}{d_w}$ <p>Dónde: S: peso específico. d_o: Densidad (masa por unidad de volumen) del petróleo. d_w: es la densidad del agua (1 g/ml).</p> <p>El peso específico está directamente relacionado con la densidad y afecta fácilmente la dispersión en el agua. El peso específico del agua es uno comparado con el peso específico del petróleo crudo que es de 0.6 a 1.2.</p> <p>Cuando se tiene bajo peso específico se tiene un número elevado de grados API (petróleo ligero), y al tenerse alto peso molecular se tiene un número bajo de °API.</p>
Gravedad API.	<p>Es una densidad relativa, la medida de Grados API es una medida de cuánto pesa un producto de petróleo en relación al agua. Si el producto de petróleo es más liviano que el agua y flota sobre el agua, su grado API es mayor de 10. Los productos de petróleo que tienen un grado API menor que 10 son más pesados que el agua y se asientan en el fondo.</p> <p>Se calcula con el procedimiento:</p> $Densidad (\rho) \text{ } ^\circ API = \frac{141.5}{\gamma_o} - 131.5$ <p>Implica la densidad relativa del petróleo. Es una clasificación estándar de la American Petroleum Institute.</p>
Viscosidad.	<p>Es una medida de resistencia al flujo. Existen dos conceptos:</p>

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

	<p>a) Viscosidad absoluta b) Viscosidad cinemática.</p> <p>a) Viscosidad absoluta: es la fuerza requerida para mover un área de superficie plana de un centímetro cuadrado libre otra superficie plana a la velocidad de un centímetro por segundo cuando las dos superficies están separadas por una capa de líquido de un centímetro de espesor.</p> <p>b) Viscosidad cinemática: Es la relación de la viscosidad absoluta a la densidad del petróleo a la temperatura a la cual la viscosidad es medida. Las bajas viscosidades facilitan el flujo, la viscosidad está influenciada por la temperatura por lo que a baja temperatura el petróleo representa una alta viscosidad y viceversa.</p>
Punto de derrame (Pour point).	Es la más baja temperatura a la cual el petróleo fluiría. También se define como la temperatura a la cual el petróleo se solidifica. Esto es debido a la formación de una estructura interna por microcristales de cera, tiene efecto directo sobre la viscosidad y la tensión superficial.
Punto de inflamación (flash point).	El punto de inflamación de un petróleo es la temperatura a la cual produce suficientes vapores inflamables para encenderse. Este término no debe de ser confundido con el punto de fuego de un petróleo, éste se encuentra en un intervalo de 10° a 70° más alto que el punto de inflamación.
Punto de oscurecimiento (Cloud Point).	Es la temperatura a la cual las parafinas de un petróleo se cristalizan (éstas se encuentran normalmente en solución) causando oscurecimiento en el petróleo.
Contenido de cenizas.	Es la cantidad de material no combustible en el petróleo.
Punto de fluidez.	El alto contenido de ceras/asfaltenos en petróleos degradados pueden ser tan altos que el petróleo deja de fluir a temperaturas ambientales. Cuando esto se empieza a presentar obtiene el nombre de punto de fluidez.
Solubilidad.	En su mayoría los petróleos no son solubles en agua, y generan emulsiones, es importante conocer su solubilidad para saber en qué tiempo se puede actuar.
Gravedad específica (líquido).	Los hidrocarburos, por lo regular poseen una gravedad específica más baja que la del agua, por lo tanto flotan, existen hidrocarburos que se pueden hundir comúnmente llamados asfalto y el betún.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

Gravedad específica (vapor).

Los vapores de la mayoría de los combustibles son más pesados que el aire. Esto afecta las actividades de respuesta cuando los vapores se acumulan como resultado de las operaciones de confinamiento de la capa de petróleo con barreras, en espacios confinados y a raíz de otros factores que concentran los vapores.

Las capas de petróleo son arrastradas por el efecto del viento y de las corrientes de la superficie. Los efectos combinados de las corrientes son aproximadamente 3-4% de la velocidad del viento y son vectorialmente aditivos (Figura 4.3), es decir, se suman los vectores de la marea y las corrientes impulsadas por el viento para estimar cuándo llegará la mancha de petróleo a la costa, se debe de estimar la dirección “hacia” para la corriente y “desde” para el viento.

Tabla 4.3. Propiedades del petróleo. (Procesos que actúan sobre derrames de petróleo, estrategias, técnica e impacto ambiental, 1984 y Manual de campo para respuesta a derrames de petróleo, 2007).

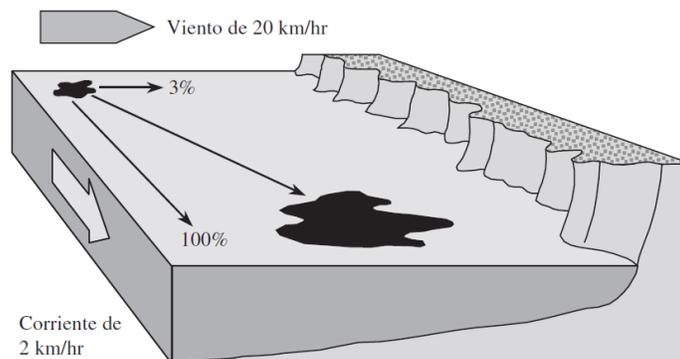


Figura 4.3. Movimiento del petróleo sobre el agua.

4.2.1.2.1 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE LAS CAPAS DE PETRÓLEO.

Es complejo estimar el volumen derramado, sin embargo podemos usar los métodos a nuestro alcance como:

- La tasa de flujo a través de una tubería (oleoducto) y la duración del derrame antes de cortar el flujo.
- El tamaño y número de tanques de carga rotos en una embarcación encallada,

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

- El color y el tamaño de las capas.

Para poder estimar los volúmenes de las capas hay que considerar que:

- El espesor de la capa de petróleo puede variar considerablemente, aun en una sola capa. Si la capa tiene parches de color negro o café oscuro, significa que la mayor parte del petróleo está localizada en esas áreas más oscuras.
- Las bandas coloridas o plateadas indican una capa de petróleo extremadamente delgada; estos colores pueden verse a los extremos de la mancha.

El seguimiento de derrames se lleva a cabo por diferentes métodos (Tabla 4.4):

OBSERVACIÓN VISUAL Y FOTOGRAFÍA.

- Se han usado las fotografías aéreas como recurso en altamar para poder trazar una trayectoria de la mancha de petróleo.

BOYAS DE SEGUIMIENTO

- Se utilizan para el seguimeintos de patrones de las corrientes, es de gran utilidad para predecir la trayectoria de un derrame.

DETECCION A DISTANCIA.

- Existen sensores aéreos para ayudar en la detección y el levantamiento de mapas de los derrames. Los más usados son:

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

Sensores infrarrojos.

- El petróleo absorbe la radiación solar y emite radiación infrarroja (IR) a una longitud de onda diferente a la del agua circundante; por ello, los derrames de petróleo en masas grandes de agua se pueden detectar con cámaras infrarrojas. Se ha comprobado que los videos infrarrojos, sumados a videos y fotografías a color real, constituyen herramientas útiles a la hora de determinar y documentar la localización de los derrames de petróleo. Sus limitantes son la nebulosa, el cambio de temperatura, como en la desembocadura de ríos; las corrientes de marea, etc.

Sensores ultravioleta.

- Las capas de petróleo reflejan la radiación ultravioleta (UV) aún en capas muy delgadas, posibilitando trazar las capas de petróleo mediante el uso de sensores UV.

Detección remota por satélite.

- Los sensores satelitales se han usado para saber la ruta del derrame, más sus limitantes son amplias, ya que requiere que el satélite pase por el área del derrame y cielos despejados.

Radar.

- Detecta capas de petróleo debido a las diferencias en el reflejo de señales de radio enviadas y recibidas por una superficie de agua libre de petróleo y una superficie contaminada con petróleo en agua dulce, aguas picadas o tranquilas, lechos de algas y diversos efluentes.

Fluorosensores de láser.

- Absorben la luz ultravioleta y emiten alguna de esta energía en una longitud de onda distinta y visible. Los sistemas aéreos son capaces de clasificar el petróleo y otros contaminantes marítimos en el agua, tanto de día como de noche, también en condiciones de hielo roto o sólido.

Tabla 4.4. Métodos de seguimiento de derrames de petróleo.

4.2.2 Barreras.

Las barreras son obstáculos físicos flotantes, utilizados para controlar el movimiento del petróleo.

Son utilizadas para:

1. La detención de las capas de petróleo, con el fin de recogerlas por medio de “skimmers” o a través de la quema in situ del producto.
2. Desviar o guiar las capas de petróleo hacia un área de acopio o para alejarla de recursos susceptibles.
3. Excluir las capas de petróleo de las áreas seleccionadas y proteger las costas marinas y sitios de recreación.
4. Para recoger el petróleo después del uso de absorbentes.

4.2.2.1 Componentes de las barreras.

Sus componentes básicamente son, flotador, faldón, tensores y lastre (Figura 4.4). El área de libre francobordo (obra muerta) y el calado son las porciones del flotador y del faldón que, respectivamente, están por encima y por debajo de la línea de flotación, de acuerdo a la descripción de la Tabla 4.5.

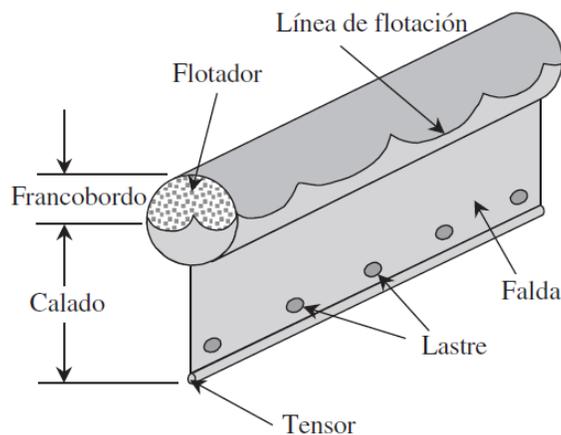


Figura 4.4. Diseño básico de la barrera.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

BARRERA.

Flotador.

- El flotador mantiene la barrera en la superficie del agua.
- Generalmente, el compartimento del regulador de inmersión contiene espuma o aire.
- Las barreras más pesadas, que se utilizan en aguas agitadas y condiciones de mar adentro, exigen una flotación mayor que las barreras livianas utilizadas en aguas tranquilas y cercanas a la costa.

Faldón.

- El faldón sirve para evitar el escape de petróleo por debajo de la barrera.
- La fuerza de las corrientes que actúan sobre la barrera aumenta con la profundidad del faldón y puede causar una falla en el faldón, dejando escapar del petróleo.

Tensor.

- Los tensores apoyan las cargas impuestas por la acción de remolque, los vientos, las olas y las corrientes.
- Los tensores de uso más frecuente son cadenas, cables o redes que corren a lo largo del faldón o del flotador.

Lastre.

- El lastre (o peso) ayuda a mantener el faldón en posición vertical en el agua.
- El lastre puede ser una cadena, cable de acero o pesas de plomo ubicadas a lo largo del borde inferior del faldón. Si es cadena o cable, puede servir también como tensor.

Francobordo.

- El área de francobordo de la barrera es una cota de seguridad que evita que el petróleo derramado se desborde por la barrera.
- La fuerza que el viento ejerce sobre una barrera aumenta con el área de superficie de francobordo. Si la altura del francobordo excede 4–8 pulgadas (10–20 centímetros), el desempeño de la barrera puede verse severamente afectado por los vientos fuertes (típicamente de 20 nudos o 37 kilómetros por hora).

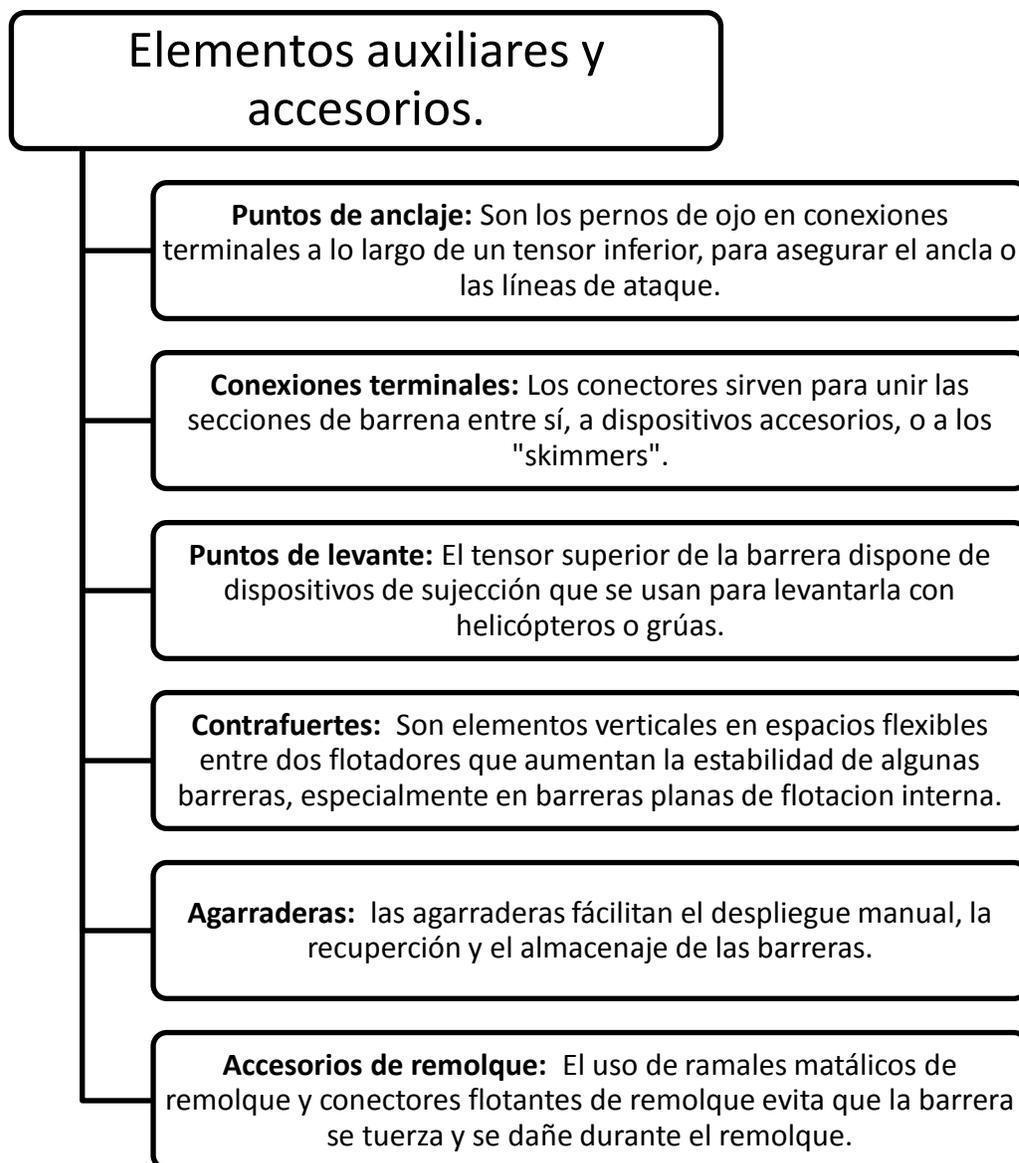
Calado.

- El calado evita que el petróleo escape por debajo de la barrera en aguas de corrientes suaves.
- El faldón de poco calado reduce la tensión de la barrera.

Tabla 4.5. Componentes básicos de las barreras

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Las necesidades específicas de operación de una barrera no solo dependen de sus componentes básicos, ya que estos dependen también de sus elementos auxiliares y accesorios (Cuadro 4.1).



Cuadro 4.1. Accesorios y elementos auxiliares de las barreras.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

4.2.2.2 Factores de operación.

Es necesario evaluar los factores de funcionamiento de las barreras para poder elegir que barrera funciona mejor en cierta aplicación.

Los factores a Evaluar son bastos, los más generales y de influencia directa son los que se presentan en el Cuadro 4.2:

Factores de operación.

Rigidez de rodaje. Es la resistencia que opone la barrera para girar sobre sí misma en condiciones de corrientes y vientos fuertes. Las barreras con mas rigidez de rodaje son las de inflado a presión.

Respuesta vertical. Se refiere a la capacidad de la barrena de adaptarse a las olas y minimizar la pérdida de petróleo por encima y por debajo de ella. Las barreras de inflado automático y a presión tienen mayor respuesta vertical.

Francobordo y faldón. La optimizacion del área libre entre el francobordo y la profundidad del faldón, garatizan una menor pérdida de petróleo por encima de la barrera, y la profundidad del faldon incremneta la carga sobre la barrera y resulta en respuesta vertical menor.

Resistencia a la tracción y resistencia a pinchazos. Son factores muy importantes al considerar el despliegue de la barrera en altamar o cuando es necesario remolcarla, el material y los elementos tensores de la barrera se combinan para resistir estos factores.

Facilidad de almacenaje y despligue. Debe de considerarse la capacidad de almacenamiento y retiro, para su mayor ergonomía.

Otros factores. Es necesario considerar el volumen ocupado por la barrera, el número, tipo y calidad de los accesorios, la visibilidad de la barrena (colores llamativos), las superficies lisas, para prevenir la pérdida de petróleo, el diseño de los flotadores, las uniones y la duración de los materiales.

Cuadro 4.2. Factores operacionales de las barreras.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

4.2.2.3 Limitaciones de las barreras.

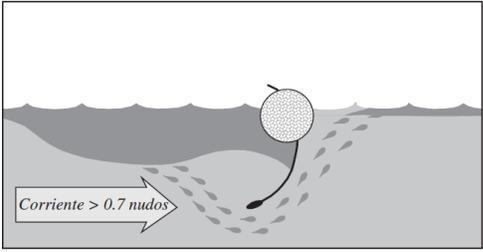
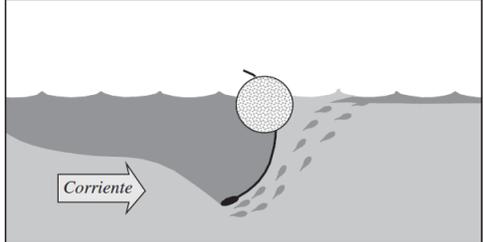
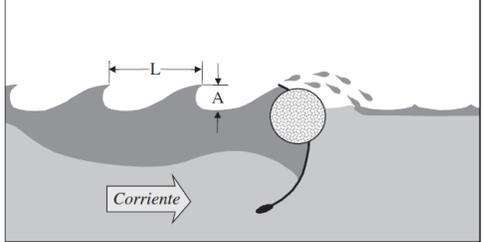
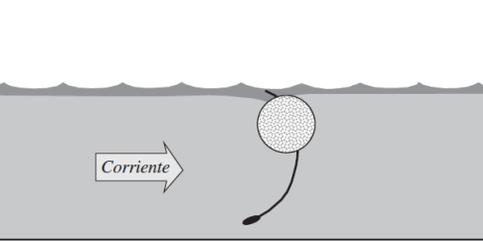
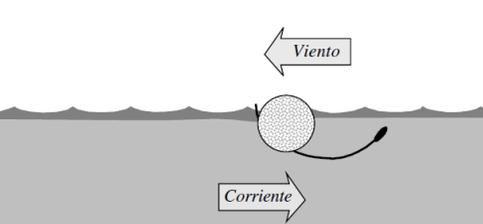
LIMITACIONES.	DESCRIPCIÓN.	
<p>ARRASTRE.</p>	<p>Esta limitación ocurre cuando la corriente está entre 0.7 y 1.0 nudos (0.4 y 0.5 metros/segundo). La velocidad a la cual las gotas de petróleo fluyen por debajo del faldón, se le llama velocidad crítica. Esta se puede prevenir desplazando la barrera a un ángulo menor a 90° o usando barreras porosas en corrientes fuertes. El ángulo sugerido aproximado respecto a la corriente, como función de la velocidad es:</p> <p>1 nudo: 45-90°. 2 nudos: 20-30°. 3 nudos: 15-20° 4 nudos: 10-15°</p>	
<p>DRENAJE.</p>	<p>Sucede cuando se utiliza una barrera pequeña para delimitar a una cantidad significativa de petróleo, éste fluye por debajo del faldón. Se soluciona aumentando la profundidad de éste.</p>	
<p>ESCAPE POR ENCIMA.</p>	<p>Puede ocurrir en aguas picadas cuando la altura de la ola (A) es mayor que la altura del francobordo de la barrera y la proporción de longitud de altura de la ola (L/A) es menor 10:1.</p>	
<p>SUMERSIÓN.</p>	<p>Sucede cuando el despliegue o el anclaje de la barrera se hacen en una corriente fuerte o cuando se remolca a alta velocidad. Un exceso de flotabilidad reduce la tendencia a sumergirse.</p>	
<p>APLANAMIENTO.</p>	<p>Los vientos y corrientes fuertes que se mueven en direcciones opuestas ocasionan el aplanamiento de la barrera (la inclinación de la barrera sobre la superficie del agua).</p>	

Tabla 4.6. Limitaciones de las barreras.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

4.2.2.4 Usos.

De acuerdo a la intensidad de oleaje el mar se considera como: mar tranquilo, mar protegido y alta mar (masas grandes de agua), son este criterio se seleccionan las barreras.

Su eficiencia según las condiciones marítimas es:

Viento.	Olas.	Corriente.	Eficiencia.
0-10 nudos. (0-20 km/h)	Calmadas, mar de leva.	0-0.5 nudos. (0.25 m/s)	 Buena.
>20 nudos. (>40 km/h)	<3-4 pies. (<1m)		 Mala.

Sus aplicaciones principales:

- Contención: Se usan en corrientes mínimas o aguas tranquilas para aislar un derrame, controlar un derrame, su esparcimiento, concentrar el petróleo derramado y facilitar su recuperación por medio de “skimmers”.
- Desviación: Las barreras se despliegan a un ángulo de la capa de petróleo que está siendo arrastrada por la corriente con el fin de desviar el petróleo de áreas susceptibles o hacia un punto de acopio.
- Protección: se utilizan las barreras para evitar el contacto de la capa de petróleo con costas marinas expuestas, en conjunto con materiales absorbentes que pueden emplearse para recoger el petróleo derramado.

La selección de una barrera depende de cuán rápido uno la requiera, la facilidad de despliegue, su resistencia y durabilidad.

4.2.2.5 Tipos de barreras.

El tipo de barrera a seleccionar, depende de varios factores, ya que para cada derrame es diferente debido a las condiciones climáticas y tipo de crudo. La forma de adaptación a las olas, la facilidad de despliegue y la capacidad para retener el petróleo son las características más usadas para la elección de las barreras.

4.2.2.5.1 Barreras de flotador de espuma.

Las barreras de flotador de espuma interna son las más usadas, ya que son las que tienen mayor disponibilidad en el mercado.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

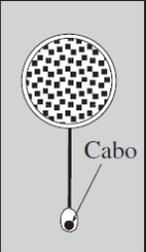
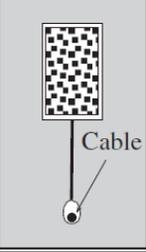
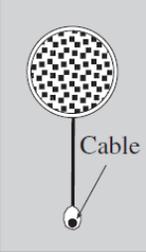
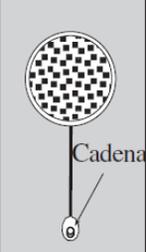
TIPO DE BARRERA.	ADAPTACIÓN A LAS OLAS.	FACILIDAD DE DESPLIEGUE.	RETENCIÓN DE PETRÓLEO.	VENTAJAS.	DEVENTAJAS.
	BUENO.	BUENO.	REGULAR.	Muy liviana si no lleva lastre.	Mayor probabilidad de falla si no hay elementos de refuerzo adicionales (el cabo de fondo en un elemento de refuerzo).
	BUENO.	BUENO.	REGULAR.	-Las pesas de plomo tienen menor probabilidad de corroerse en inmersiones prolongadas. -Mejor rodaje con lastre de plomo.	Las perforaciones en material donde se fijan las pesas de plomo pueden ser puntos de falla.
	MALO.	BUENO.	REGULAR.	El flotador rectangular se puede doblar en un carrete pequeño.	Mala adaptación a las olas.
	BUENO.	BUENO.	BUENO.	-Resistente, debido al cable de refuerzo y al lastre. -Mejor rodaje y respuesta vertical que con el flotador rectangular.	
	BUENO.	BUENO.	BUENO.	La cadena proporciona un miembro tensor más fuerte y un lastre más pesado.	

Tabla 4.7. Barreras de flotador de espuma.

Se recomienda este tipo de barreras para desviar capas de petróleo en aguas de corrientes suaves (<1nudo o 0.5 m/s) , en uso prolongado, en olas de hasta 3 pies (1 m) es factible.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

4.2.2.5.2 Barreras de inflado automático.

Comúnmente se usa para la contención estacionaria o la desviación de capas de petróleo en aguas tranquilas y corrientes suaves, como en aguas cercanas a la costa, con presencia de olas de 3-4 pies (1-1.2m) de altura y corrientes de hasta 0.5 nudos (0.25 m/s) (Tabla 4.8)

Este tipo de barreras es excelente en términos de manejo, de almacenamiento y despliegue rápido, cubriendo también la mayoría de los requerimientos.

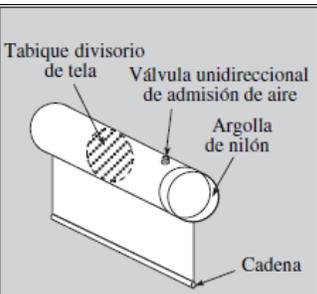
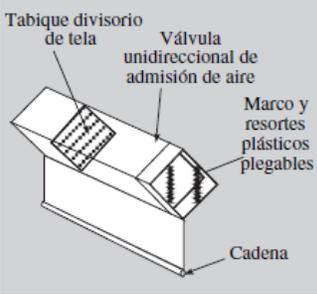
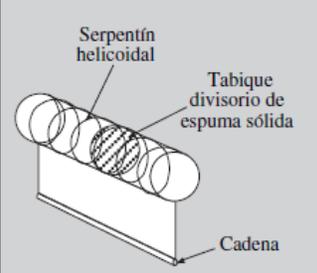
TIPO DE BARRERA	ADAPTACIÓN A LAS OLAS.	FACILIDAD DE DESPLIEGUE.	RETENCIÓN DE PETRÓLEO.	VENTAJAS.	DESVENTAJAS.
 <p>Tabique divisorio de tela Válvula unidireccional de admisión de aire Argolla de nilón Cadena</p>	BUENO.	BUENO.	BUENO.	Compartimentos sellados. - se puede compactar en estantes o plataformas (paletas)	-Escape de petróleo por encima a causa de un área libre de francobordo redonda y sin aleta. -El petróleo atrapado en la válvula de admisión de aire puede interrumpir su funcionamiento. -Si falla una válvula, esa sección puede perder la capacidad de flotación.
 <p>Tabique divisorio de tela Válvula unidireccional de admisión de aire Marco y resortes plásticos plegables Cadena</p>	BUENO.	BUENO.	BUENO.	-Se puede poner en carretes y almacenar en plataformas. -El más fácil de compactarse en su tipo. -Compartimentos sellados.	-Pierde área libre de francobordo porque puede virar de lado debido a las fuerzas del agua y el viento. -Los resortes internos causan problemas de mantenimiento. El petróleo atrapado en la válvula de admisión de aire puede interrumpir su funcionamiento. -Es difícil empacarla porque hay que extender resortes.
 <p>Serpentín helicoidal Tabique divisorio de espuma sólida Cadena</p>	BUENO.	BUENO.	BUENO.	-Se puede almacenar en carrete. -Fácil de usar. -No tiene válvulas, sólo entradas de aire.	El agua puede pasar de un compartimento al siguiente por encima de la hendidura para aire ubicada en el tabique divisorio.

Tabla 4.8. Barreras de inflado automático.

4.2.2.5.3 Barreras de inflado a presión.

Estas barreras son de fácil almacenamiento y traslado, tiene alta proporción de flotación a peso (Tabla 4.9).

Se recomienda usar para operaciones costeras o mar adentro, cuando las olas llegan a alcanzar hasta dos metros. No son recomendadas para despliegues de más de una semana, debido a la pérdida potencial de aire.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

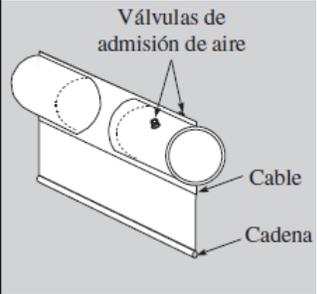
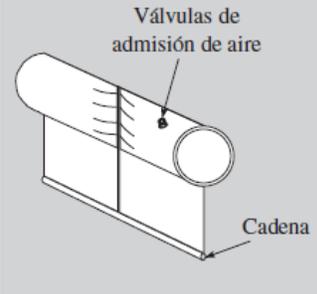
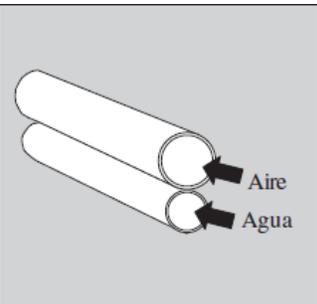
TIPO DE BARRERA.	ADAPTACIÓN A LAS OLAS.	FACILIDAD DE DESPLIEGUE.	RETENCIÓN DEL PETRÓLEO	VENTAJAS.	DEVENTAJAS.
	BUENO.	REGULAR.	REGULAR.	<ul style="list-style-type: none"> - Si la barrera se pincha, las divisiones de los cilindros de aire resulta en una pérdida parcial del área de francobordo. -Se puede desplegar manualmente. -Se puede almacenar en carretes. 	Lenta para desplegar porque cada medio cilindro se tiene que inflar por separado.
	BUENO.	REGULAR.	BUENO.	<ul style="list-style-type: none"> -Tener un solo cilindro de aire grande reduce el tiempo de inflado. -Se puede almacenar en carretes. 	<ul style="list-style-type: none"> -En caso de pinchazo hay pérdida total del área libre de francobordo en la respectiva sección de la barrera. -Muy pesada para el despliegue, se requiere el uso de un torno de cable para su recuperación.
	BUENO.	BUENO.	REGULAR.	<ul style="list-style-type: none"> -Con un carrete es fácil de desplegar y recogerla. - Excelente barrera para sellar costas. 	<ul style="list-style-type: none"> -No hay tensor en la parte baja. -La recuperación de la barrera requiere carretes con motor. -Durante el despliegue, se necesita un motor permanente para el funcionamiento del compresor de aire y la bomba de agua. - Un pinchazo causa la pérdida total de la barrera. -Es muy difícil volverla a poner en su posición correcta después de que se ha llenado de agua la parte baja de la barrera.

Tabla 4.9. Barreras de inflado a presión.

4.2.2.5.4 Barreras de valla.

Estas barreras se usan en situaciones de despliegue rutinario o permanente, aguas tranquilas con corrientes suaves de 0.5 nudos (0.25 metros/segundo), altura de olas baja. También usan para la contención y concentración de petróleo en zonas cercanas a las costas para facilitar su recolección, cuando se requiere la resistencia a escombros y son eficientes para uso prolongado (Tabla 4.10).

Las barreras de valla con tela rígida o semirrígida proporcionan un cerco resistente en la dirección vertical y flexible en dirección horizontal.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

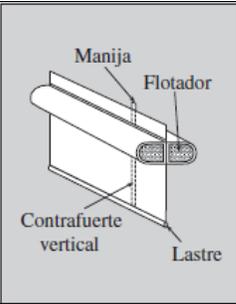
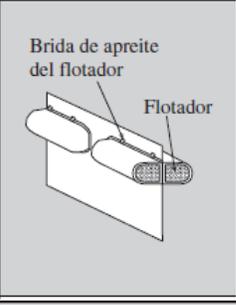
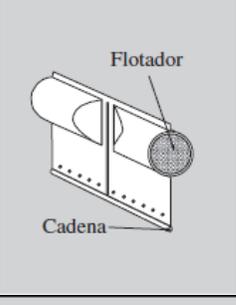
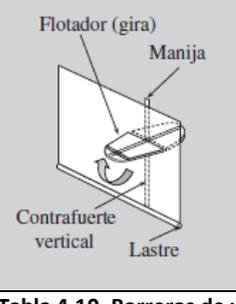
TIPO DE BARRERA.	FORMA DE ADAPTARSE A LAS OLAS.	FACILIDAD DE DESPLIEGUE.	CAPACIDAD PARA RETENER EL PETRÓLEO.	VENTAJAS.	DEVENTAJAS.
 <p>Manija Flotador Contrafuerte vertical Lastre</p>	MALO.	BUENO.	BUENO.	<ul style="list-style-type: none"> -Todo el material pesado es moldeado. -Buen rodaje. 	<ul style="list-style-type: none"> -Tiene una baja proporción de flotación a peso. -Mala respuesta vertical. -Es difícil de desplegar y recuperar.
 <p>Brida de apriete del flotador Flotador</p>	MALO.	BUENO.	BUENO.	<ul style="list-style-type: none"> -Flotadores reemplazables. -Buen rodaje. 	<ul style="list-style-type: none"> -Mala respuesta vertical. -Es difícil de desplegar y recuperar. -No es buena donde existen escombros porque pueden desalojar los flotadores.
 <p>Flotador Cadena</p>	MALO.	MALO.	BUENO.	<ul style="list-style-type: none"> -Es la más liviana de las barreras de valla. -Flotadores reemplazables. -Relativamente fácil de desplegar. 	<ul style="list-style-type: none"> -Mala respuesta vertical. -El rodaje es regular.
 <p>Flotador (gira) Manija Contrafuerte vertical Lastre</p>	MALO.	BUENO.	BUENO.	<ul style="list-style-type: none"> -Los flotadores amplios resisten bien la rotación en modelos de un metro o menos de la altura total. -La barrera se puede invertir en el agua para liberarla del crecimiento de organismos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Es susceptible a daños en el flotador y a quedarse enganchada en muelles, botes, etc. -Mala respuesta vertical. -Difícil de desplegar. -Los flotadores pueden retener escombros.

Tabla 4.10. Barreras de valla.

4.2.2.5.5 Barrera de tela metálica.

Este tipo de barrera, es una barrera sumergida, se usan para interceptar, detener y/o recoger el petróleo derramado que está debajo de la superficie del agua, en general, son adecuadas para recolectar petróleo pesado, crudos degradados o emulsionados y bolas de alquitrán, no se usa esta barrera para petróleos livianos, ya que se filtran a través de la malla metálica de la barrera debido a su baja viscosidad.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Las barreras de tela metálica es apropiada para recoger el petróleo a lo largo de las playas y las costas marinas con oleaje significativo. Para prevenir que el petróleo toque tierra y penetre en el suelo, se puede instalar este tipo de barrera justo por debajo de la línea de marea alta para retener cualquier petróleo degradado o emulsión. Se puede retirar la tela metálica para limpiarla y volver a colocarla antes del próximo ciclo de la marea o puede incinerarse.

4.2.2.5.6 Anclaje de la barrera.

Para el anclaje de la barrera (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) son necesarios conocimientos específicos sobre el equipo, accesorios y técnicas en cuestión. Antes de desplegar la barrera se deben de consultar las tablas de marea, la gente de la localidad y los pronósticos del tiempo.

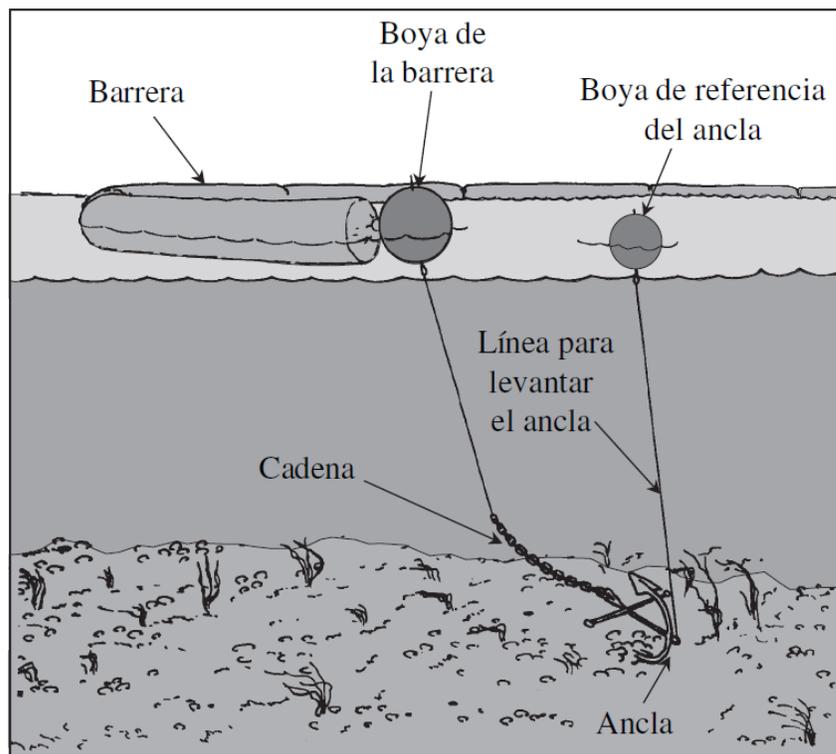


Figura 4.5. Configuración de anclaje de una barrera.

Para el anclaje en aguas marinas. Con barreras grandes y operaciones múltiples de contención en corrientes, es indispensable fijar primero las anclas y después desplegar y colgar la barrera para asegurar su instalación correctamente, las líneas de anclaje se pueden asegurar directamente en los puntos de remolque, se usan boyas de anclaje; si se despliegan sin puntos de anclaje, los flotadores son un medio efectivo de amarre para que la barrera no se hunda con un cambio de marea.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

4.2.2.5.7 Remolque de barreras.

Para contener y recuperar los derrames, la barrera se remolca en varias configuraciones con botes. La velocidad de estos es por lo regular menor a un nudo (0.5 metros/segundo). Las configuraciones más empleadas son:

➤ Configuración en U.

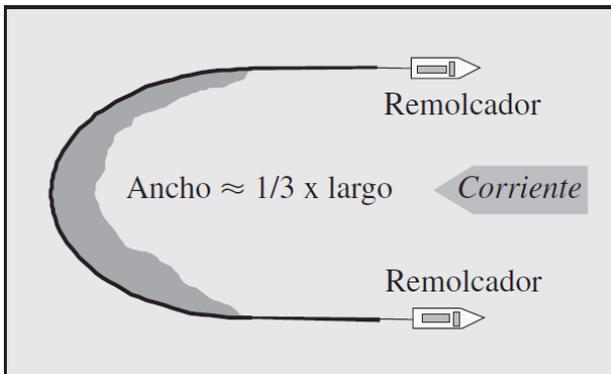


Figura 4.6. Configuración de barrera en U.

Dos embarcaciones remolcan una barrera en forma de U (Figura 4.6) dejándose llevar por corriente aguas abajo, manteniéndose en posición estacionaria o avanzando aguas arriba hacia la fuente del derrame.

Es una configuración eficiente en aguas tranquilas con una barrera de flotación interna, con inflado a presión e inflado automático; en aguas protegidas con barreras de flotación interna, inflado a

presión e inflado automático y en alta mar con barreras de flotación interna e inflado a presión.

➤ Configuración en V.

Esta configuración utiliza tres embarcaciones y un “skimmer”, por lo regular es necesario hacer un amarre para que la configuración en V no se pierda (Figura 4.7).

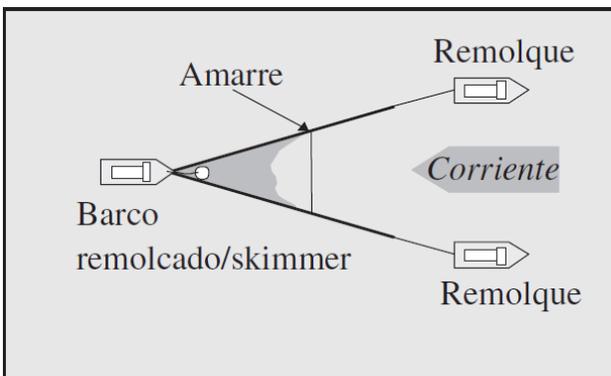


Figura 4.7. Configuración de barrera en V.

La aplicación de esta configuración se recomienda en aguas tranquilas y protegidas sea con una barrera de flotación interna, de inflado a presión o de inflado automático; y en alta mar con barreras de flotación interna o inflado a presión.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

➤ Configuración en J.

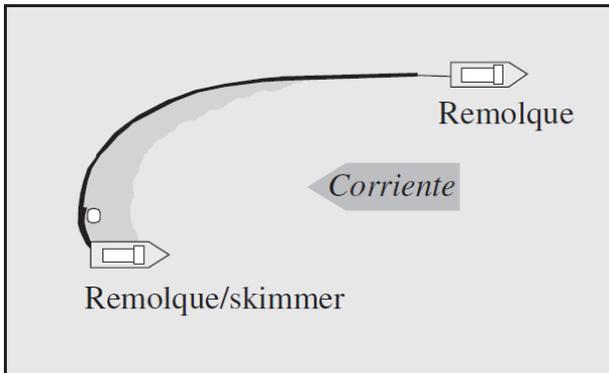


Figura 4.8. Configuración de barrera en J.

La barrera configurada en forma de J desviará el petróleo hacia un “skimmer”, permitiendo así, la recuperación y contención simultáneas (Figura 4.8).

Este arreglo se recomienda para aguas tranquilas y protegidas con uso de barrera de flotación interna, inflado a presión y de valla; y en altamar con uso de barreras de flotación interna e inflado a presión.

4.2.2.5.8 Aplicación de barreras en casos especiales.

- Barrera para proteger costas (Figura 4.9). Con el fin de mantener la costa protegida, se pueden desplegar barreras con el fin de sellar las orillas, este tipo de configuración se usa en lodo o arenas planas en costas marinas con superficies rugosas o rocosas.

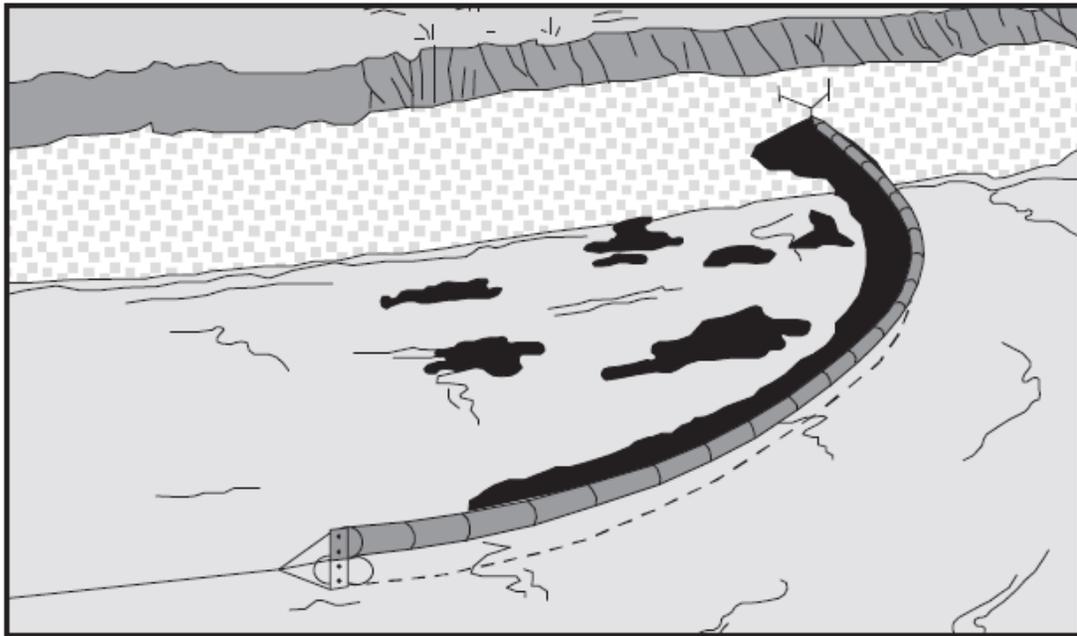


Figura 4.9. Barrera para sellar costas.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

4.3 PROTECCIÓN DE LAS COSTAS MARINAS.

Todos los esfuerzos deben depositarse en evitar que el petróleo derramado alcance la costa para así reducir los impactos ambientales, la duración de las operaciones de respuestas y la generación de residuos. Si los esfuerzos no son suficientes, habrá que utilizar métodos para desviar las capas de petróleo a zonas menos susceptibles.

La protección de costas marinas debe de tomar en cuenta el tipo de costas, ya que en cada una la atención es diferente, por lo estudiado y entendido por la susceptibilidad de éstas.

Así, dependiendo de sus características, se desarrollaron las estrategias de respuesta más conveniente de cada tipo de costa marina (Tabla 4.11).

Costa marina mareal.	Consideraciones de respuesta.
Farallones de rocas sin vegetación y plataformas rompeolas.	*El reflejo de las olas mantiene la mayor parte del petróleo costa afuera. *Es posible que la limpieza no sea necesaria.
Estructuras de construcción sólida y playas de cantos rodados.	*Hay barrido de las olas, que usualmente causa erosión. *Los procesos naturales eliminarán el petróleo en algunas semanas. *Es posible que la limpieza no sea necesaria.
Playas de arena de grano fino a mediano.	*Baja densidad de población biológica. *El petróleo no penetra en la playa. *La recogida mecánica de la arena contaminada con petróleo es efectiva.
Playas de arena de grano grueso.	*Baja densidad de población biológica. *El petróleo puede penetrar/enterrarse rápidamente hasta 30 cm. Y dificulta la limpieza. *La recogida mecánica es efectiva.
Acantilados de tundra.	*La vegetación cubre el piso de turba y el suelo permanentemente helado. *Retirar el petróleo por absorción con turba u otros métodos manuales.
Playas de grava y guijarros.	*El petróleo puede penetrar rápidamente y dificultar la limpieza. *Se debe concentrar la limpieza en zonas con marea alta. *Retirar los escombros o desechos contaminados. *Se recomienda el uso de productos limpiadores de costas marinas para agilizar el proceso de limpieza.
Escollera.	*Principalmente rompeolas y malecones. *El lavado a alta presión puede resultar efectivo. *Debe de recogerse todo el petróleo derramado.
Esteros mareales expuestos.	*Biomasa entre baja y moderada. *Sedimentos móviles donde no penetra la mayor parte del petróleo. *La mayoría del derrame puede desaparecer en un año por procesos naturales.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Esteros mareales expuestos con vegetación.	<p>*Biomasa moderada.</p> <p>*Los sedimentos son menos móviles y la mayoría de los petróleos no penetran los sedimentos.</p> <p>*El petróleo llega a permanecer ahí hasta un año.</p>
Costas rocosas protegidas y farallones de arcilla.	<p>*El petróleo puede afectar la biomasa moderada a superior.</p> <p>*Los farallones de arcilla pueden tener numerosas madrigueras y túneles.</p> <p>*Zonas de protección de alta prioridad.</p> <p>*La recogida de concentraciones significativas de petróleo puede ser beneficiosa; usar sólo lavado a baja presión.</p>
Costas marinas de turba.	<p>*Frecuentes en las regiones árticas.</p> <p>*La opción preferible es la recuperación natural.</p>
Hondonadas de tundra inundadas.	<p>*Zonas árticas de asentamiento sujetas a inundación por el mar.</p> <p>*Las labores de limpieza pueden causar grandes daños.</p> <p>*Se recomienda la recuperación natural por ser menos nociva.</p>
Esteros mareales protegidos.	<p>*Numerosa población de animales y plantas.</p> <p>*La zona debe tener alta prioridad en la protección del contacto con el petróleo.</p> <p>*Poco oleaje.</p> <p>*La recuperación de acumulaciones significativas de petróleo pesado pueden ser benéficas.</p> <p>*El petróleo llega a permanecer ahí por largos periodos de tiempo.</p>
Ciénegas marinas.	<p>*Estas áreas son las más productivas entre los ecosistemas acuáticos.</p> <p>*Poca acción de las olas; la alta tasa de sedimentación incorpora el petróleo al sedimento.</p> <p>*El petróleo puede permanecer por años.</p> <p>*Las labores de limpieza pueden hacer más daño en estas áreas que la degradación natural del petróleo.</p>
Manglares.	<p>*Son uno de los más importantes hábitats marinos.</p> <p>*La protección de estas áreas tienen una prioridad alta.</p> <p>*Los manglares no deben de ser alterados por las actividades de respuesta.</p> <p>*Los agentes dispersantes o limpiadores pueden ser más benéficos que la limpieza mecánica.</p>
Arrecifes de coral y lagunas.	<p>*La protección de estas áreas es una prioridad alta.</p> <p>*El petróleo puede flotar sobre los arrecifes con impacto mínimo.</p> <p>*Se pueden usar agentes dispersantes cerca pero no sobre los arrecifes de coral.</p>
Lechos de hierbas marinas.	<p>*Ecosistema acuático altamente productivo.</p> <p>*Poco oleaje.</p> <p>*El petróleo flotara por encima.</p> <p>*Las labores de limpieza pueden causar más daño en estas áreas que permitir la degradación natural del petróleo.</p>
Algas.	<p>*Ecosistema acuático altamente productivo.</p> <p>*No sufre impacto por el aceite flotante.</p> <p>*Los agentes dispersantes no deben aplicarse directamente encima.</p>

Tabla 4.11. Tipos de costas marinas y consideraciones de respuesta.

Los tres últimos hábitats son de crucial importancia debido a su gran aporte al ecosistema marino.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

La selección de la técnica de protección depende, no solo del tipo de costa y su susceptibilidad, sino también de ciertos factores que afectan la selección de barreras que se deben de considerar en la atención de contingencias (Tabla 4.12).

Género del derrame.	*Cantidad y tipo de petróleo derramado.
Clima.	*Plazo de tiempo hasta el contacto del petróleo con la costa. *Condiciones actuales. *Pronósticos del tiempo.
Tipo de masa de agua.	*Lago, río, bahía, ciénaga, laguna, estuario, océano, fiordo, canal, estrecho, etc.
Recursos económicos y culturales.	*Riesgo inmediato de los recursos. *Consideraciones de temporada (anidación, desove)..
Movimiento del agua.	*Un ambiente que causa erosión o sedimentación (flujo alto o bajo). *Velocidad y dirección de la corriente, corriente de resaca. *Acción de la marea: diferencial, frecuencia, subida de la marea. *Olas que se rompen, olas que no se rompen.
Topografía de la costa marina.	*Profundidad del agua. *Suave, rocosa, arrecife, isla. *Precipicio, plataforma o puerto. *Gradiente, estabilidad del sedimento.
Facilidad de acceso.	*Acceso por tierra (carreteras adecuadas para el paso del equipo pesado). *Acceso por agua (una profundidad mayor al calado de los botes y capacidad de los mismos de operar en la capa de petróleo). *Acceso aéreo (terreno plano con pendiente de <math><10^\circ</math> para un helipuerto).

Tabla 4.12. Factores que afectan la protección de las costas marinas.

4.3.1 Medidas específicas de protección.

- Barreras de exclusión.

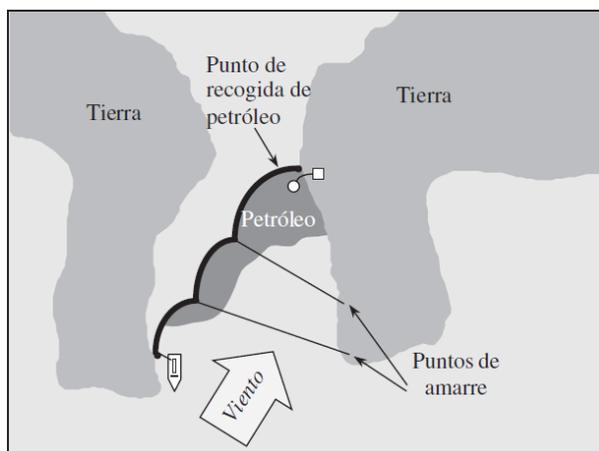


Figura 4.10. Colocación de barreras de exclusión.

La barrera se despliega a través o alrededor de las áreas que son susceptibles y es anclada. El petróleo que llega hasta ese punto es desviado o contenido por la barrera, sus usos principales son a través de bahías pequeñas, entradas a puertos, ensenadas, ríos y desembocaduras de riachuelos con corrientes menores a un nudo (0.5 m/s) y olas rompientes menores a 1.5 pies (0.5m) de altura (Figura 4.10). En el ambiente generan menores perturbaciones del sustrato en los puntos de anclaje de las costas marinas.

➤ Barreras de desviación.

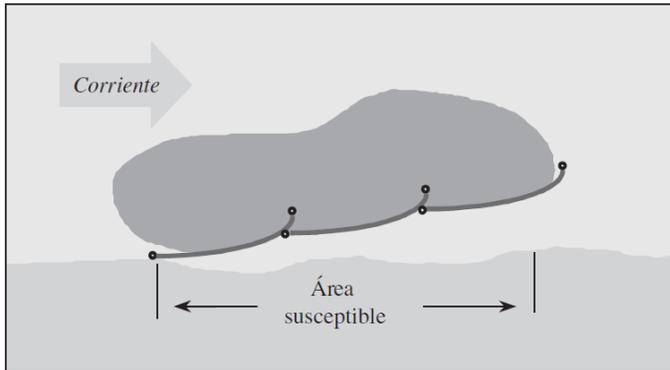


Figura 4.11. Colocación de barreras de desviación.

La barrera se despliega formando un ángulo con la capa de petróleo que se aproxima (Figura 4.11). Para su recogida, el petróleo se desvía del área susceptible hacía un lugar menos susceptible. Los usos principales de este arreglo son en arroyos interiores con corrientes menores a un nudo (0.5 m/s), a través de bahías pequeñas, entradas a puertos, ensenadas, y

desembocaduras de ríos y riachuelos con corrientes mayores a un nudo y olas rompientes menores de 1.5 pies (0.5m) y en áreas con líneas costeras rectas para recoger sitios específicos con olas rompientes menores de 1.5 pies (0.5m).

Para efectos ambientales, las perturbaciones se tornan menores del sustrato en los puntos de anclaje de las costas marinas y el petróleo desviado puede ocasionar contaminación grave de las costas marinas en las direcciones del viento y de la corriente.

➤ Barreras de río.

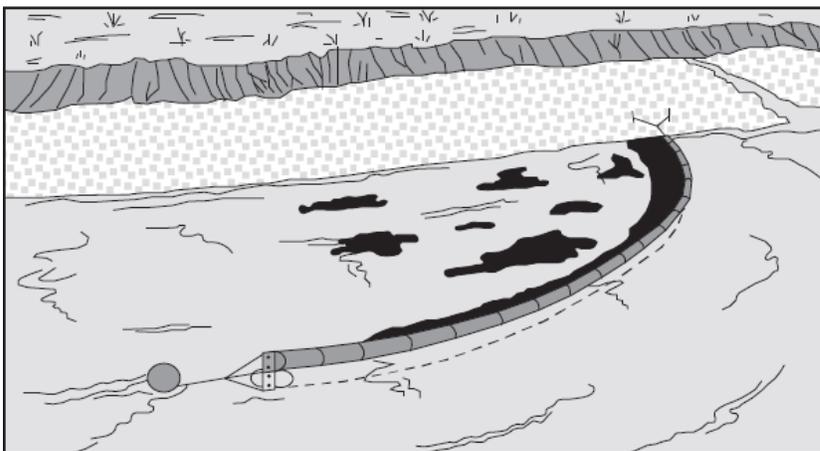


Figura 4.12. Colocación de barreras en los ríos.

Estas barreras son diseñadas especialmente para su uso en ríos, incluyen tanto tensores superiores como inferiores que ofrecen estabilidad vertical y más capacidad de desviación del petróleo en corrientes relativamente fuertes

como las cercanas de 2 a 3 nudos (1 a 1.5m/s)

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

(Figura 4.12). Estas barreras son más efectivas en donde el flujo es unidireccional, en estuarios costeros con mareas reversibles. Si la velocidad de la corriente excede los 0.75 nudos (0.4m/s), es necesario desplegar la barrera en un determinado ángulo, con el fin de reducir la fuerza de la corriente con relación a la barrera, la angulación de la barrera permite desviar el petróleo hacia la orilla donde es recogido.

➤ Barrera para sella las costas.

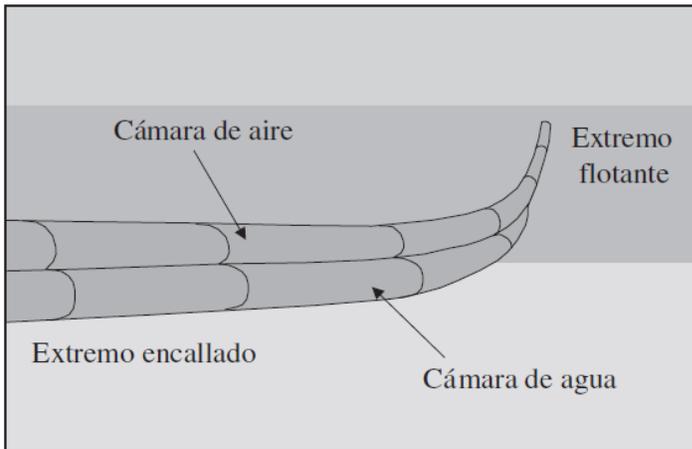


Figura 4.13. . Barrera para sellar costas.

Estas barreras cuentan con una cámara inferior y una superior de aire, se ajustan automáticamente a los cambios del nivel de agua, el extremo de la barrera, en la orilla, es fijo, para sellar las costas, mientras el otro extremo en el agua flota y está generalmente conectado a una barrera convencional(Figura 4.13).

Es importante saber el lugar definitivo de esta barrera, ya que una vez colocada es complejo el

cambio de posición, ya que las cámaras de agua se asientan en la orilla de la costa, con estas barreras se deben evitar los sitios con cantos rodados, salientes agudas, escolleras u otras condiciones que puedan dañar la barrera.

➤ Diques o bermas en playas.

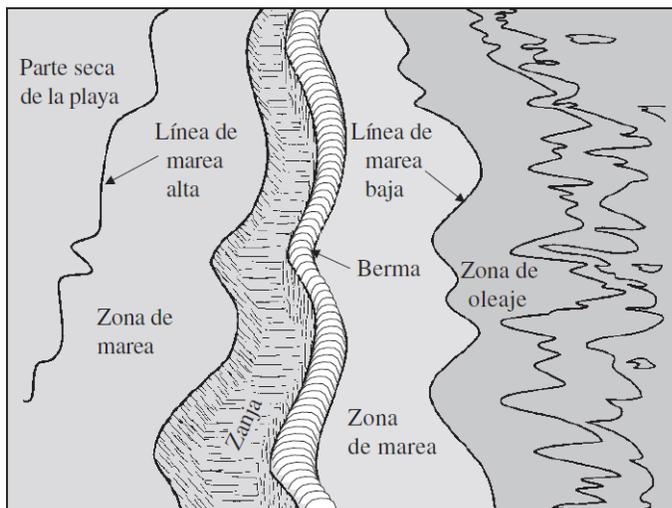


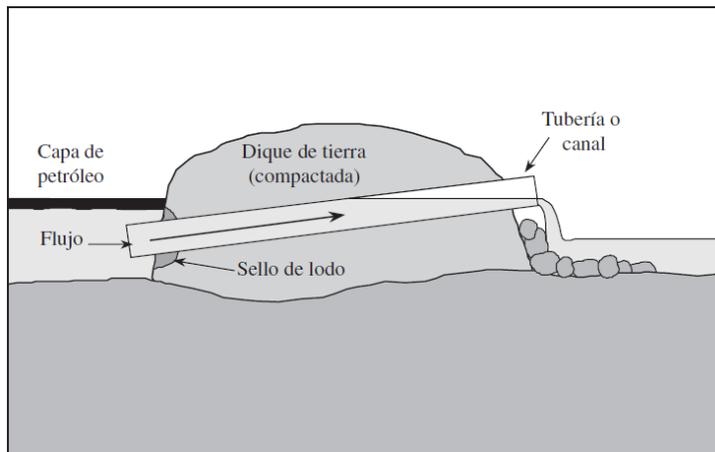
Figura 4.14. Berma en playa.

Los diques o bermas en las playas se construyen a lo largo de la parte superior de la zona de marea para evitar que las mareas entrantes depositen petróleo en las partes de playa ordinariamente secas (Tabla 4.14). Sus usos principales son, en playas de arena o grava, evitando la contaminación de la zona de marea a lo largo de la parte superior y de las partes de playa.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

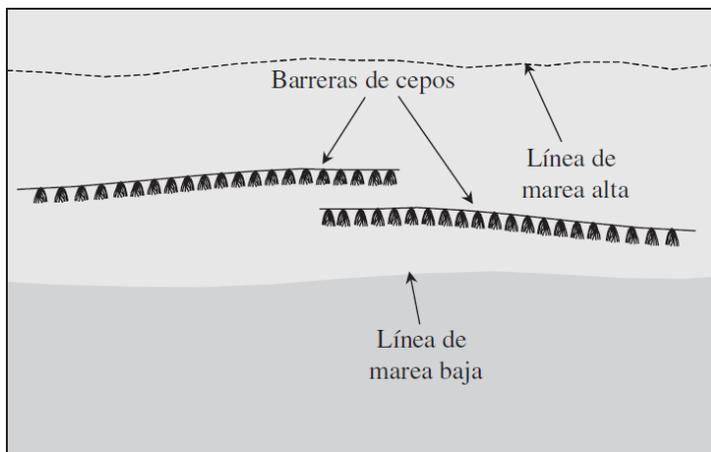
- Bermas, diques y vertederos invertidos en corrientes de agua

Figura 4.15. Vertedero invertido.



Los diques se construyen para detener completamente el flujo o para controlarlo con una provisión de flujo inferior. Las bermas se construyen para controlar el flujo por desviación o flujo inferior (Figura 4.15). Los usos de estos dispositivos son en corrientes o ríos poco profundos donde no se dispone de barreras o éstas no pueden ser desplegadas o en donde los diques son parte del sistema de control hidrológico.

- Absorbentes pasivos.



Las barreras de cepos (Pompones en un cabo) se colocan en la zona de marea con estacas. Se utilizan en playas de grava/gravilla, y estuarios de la marea. Su efecto ambiental es la perturbación del substrato (Figura 4.16).

Figura 4.16. Absorbentes pasivos.

4.4 AGENTES DISPERSANTES.

Los dispersantes son agentes químicos que se usan para romper las capas de petróleo en gotas pequeñas, que se dispersan en la columna de agua, cuando sucede esto, se evita el arrastre de petróleo hacia la costa debido a las corrientes o el viento, favoreciendo así la biodegradación por los organismos marinos.

El efecto que se genera a partir de la dispersión del petróleo incrementa grandemente la superficie de contacto del petróleo con el agua de mar, por lo tanto la velocidad de biodegradación aumenta ya que las bacterias pueden atacar solo la superficie del petróleo, por lo que a mayor superficie mayor rapidez en la descomposición de petróleo.

El objetivo de los dispersantes es reducir a la brevedad la concentración de aceite en el mar hasta niveles que estén por debajo de los que se consideran tóxicos en pruebas de laboratorio.

La aplicación de agentes dispersantes constan de dos tareas, la primera es el esparcimiento del químico, y la segunda es la agitación de este sobre la superficie del petróleo, si no es suficiente con la agitación de las corrientes y mareas será necesario el agitarlas con elementos, ya sea con mangueras de agua a presión o mecánicamente.

La dispersión del petróleo no es equivalente a removerlo del ambiente marino, por lo que, tanto el dispersante como el petróleo pueden causar daños a la vida marina.

Para la elección de un dispersante, se deben de tomar en cuenta ciertos parámetros cómo:

- Toxicidad para la vida marina. Este parámetro es significativa ya que no solo se considera la toxicidad del dispersante, sino, también la toxicidad dispersante/petróleo.
- Persistencia en el mundo marino. La persistencia del dispersante deberá ser del mismo orden de magnitud que la del petróleo a dispersar.
- Eficiencia bajo condiciones dadas de la utilización. Los materiales eficaces en el mar no necesitan serlo para la limpieza de la costa.
- Costos. El uso de material de baja eficiencia puede resultar más costoso que otro de mayor precio pero más eficaz.
- Conveniencia de uso. En este parámetro se toma en cuenta la inflamabilidad, la toxicidad humana, viscosidad en condiciones de frío, etc.

Existen en el mercado tres tipos de dispersantes: Concentrados; los productos base solventes y los base agua; y agentes recolectores que actúan como una barrera química de contención, confinando el petróleo a un área pequeña, permitiendo así su recolección por medio de sistemas mecánicos de recuperación

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Para una dispersión satisfactoria de petróleo flotante en condiciones controladas es necesario emplear porciones del orden de 1 a 2 partes de mezcla dispersante a 10 partes de petróleo, según el tipo y viscosidad del petróleo, la eficiencia del dispersante y la energía disponible para agitar la mezcla.

Dependiendo de la zona a tratar con dispersantes, considerar, que si se trata de una mancha de petróleo en mar abierto, es conveniente tratarlo del perímetro de la mancha hacía adentro de ésta, y si el derrame está cercano a la costa, conviene aplicar el dispersante de la parte que es paralela a la costa hacía mar adentro.

4.5 QUEMA IN SITU DEL PETRÓLEO DERRAMADO.

Por medio de la quema de petróleo se pueden reducir grandes cantidades de petróleo , con métodos controlados, esta práctica se puede llevar a cabo de la manera más segura y eficiente, no sustituye a la aplicación de agentes dispersantes o a la contención y recogida del petróleo derramado.

Los petróleos de baja viscosidad se esparcen rápidamente y su espesor es muy pequeño, y el agua ejerce un efecto refrigerante evitando así la combustión.

Debido a lo anterior se han desarrollado varios productos con el fin de facilitar la quema del petróleo, mencionando dos grupos:

- Cargas de ignición, o inflamadores; son mezclas de productos químicos de inflamación espontánea cuando se mojan con agua, lo cual simplifica el proceso de encendido, arden fuertemente, frecuentemente con una sustancia oxidante, durante un corto tiempo, proporcionando así suficiente calor, en teoría para la ignición del petróleo flotante, si la capa es demasiado delgada o si el petróleo no se presta, el inflamador produce un efecto escaso para que valga la pena.
- Dispositivos de mecha, se dice que el petróleo puede llegar a flotar sobre la superficie del mar gracias al efecto de capilaridad a través del material de mecha, se reduce el enfriamiento, son materiales flotantes que favorecen la quema del petróleo absorbiéndolo y facilitando su combustión, los inconvenientes en el uso de éstos, son que el material de mecha debe cubrir completamente el petróleo y solo son aplicables en petróleos de viscosidad suficientemente baja para permitirles ascender por el material de mecha.

Quemar el petróleo cuando está próximo al buque que lo derrama o cerca de las instalaciones de tierra puede dificultar la situación.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

Aún si fuere fácil y se tuviese éxito no se puede emplear en todos los casos; si las condiciones son favorables y la quema es factible, la combustión no es generalmente completa y siempre queda un residuo sin quemar.

Durante la combustión se generan grandes cantidades de humos y gases de hidrocarburos no quemados que pueden crear problemas de contaminación atmosférica.

Para llevar a cabo las operaciones de quema in situ es necesario considerar lo siguiente:

- El espesor de las capas de petróleo derramado debe ser de 2 a 3 milímetros o más para mantener la combustión.
- El petróleo no debe de contener demasiada agua.
- En grandes masas de agua, se utiliza una barrera resistente al fuego para mantener y contener en su sitio al petróleo durante la quema.

Su eficiencia depende de diversos factores, como:

- El espesor original del petróleo y que la combustión se alimente de forma continua, de manera que se mantengan las áreas de combustión a través de todo el proceso de incineración.
- Las capas gruesas de petróleo aproximadamente de 13 milímetros o más se queman normalmente con una tasa de reducción del espesor a 2.54 milímetros por minuto.
- Con una combustión mantenida de forma normal hasta un espesor final de 1 milímetro aproximadamente la eficiencia de la incineración sobrepasa el 90%.

Las condiciones ambientales debido al clima que afectan a la combustión son:

- Las capas de petróleo de más de 3 milímetros de espesor en agua puede prenderse en condiciones de viento y olas tranquilas, la quema de petróleo se puede llevar a cabo con una velocidad máxima de aproximadamente 27 nudos, 50 km/h y/o con olas de 1 a 1.5 metros (3-5 pies).
- La ignición y combustión sostenidas se pueden llevar a cabo en condiciones mucho más severas si el petróleo derramado es fresco y no emulsionado.
- La ignición del petróleo flotante es afectada por las pérdidas por evaporación, dispersión (química o natural) y emulsiones de agua en el petróleo. Un contenido de agua de 15 a 25% dificulta el encendido de algunos petróleos. En la mayoría de los casos un contenido de agua de 50 a 70% en el petróleo hace casi totalmente imposible la ignición a no ser que las áreas de ignición sean muy amplias, que haya agentes que sirvan como mecha y/o que se utilicen otros sistemas diferentes de promover el fuego.
- Los siguientes son los espesores mínimos que pueden encenderse (Buist, Interspill, 2004):

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

- Petróleo fresco: 1 milímetro.
- Petróleo crudo viejo no emulsionado y diésel: 2 a 5 milímetros.

La recuperación de residuos de petróleo no quemado pueden alcanzar un espesor de varios centímetros y tener una viscosidad suficiente para ser recogidos con equipo como bicheros, rastrillos con tamiz u horcas. Las redes de pesca de mallas con aperturas relativamente pequeñas (2.5 cm [1pulgada] o menos) pueden ser adecuadas para amontonar y recoger residuos.

En las operaciones de quema in situ del petróleo derramado se necesitan generalmente dos embarcaciones para el remolque de la barrera a prueba de fuego (Figura 4.17). También se requieren una o dos embarcaciones adicionales para brindar apoyo logístico como transporte de personal, recuperación de residuos. También se requiere de una aeronave de observación para ayudar en la localización de las capas de petróleo, para dirigir las operaciones del manejo de la barrera y en colaboración con la vigilancia para el cumplimiento de las normas de seguridad industrial.

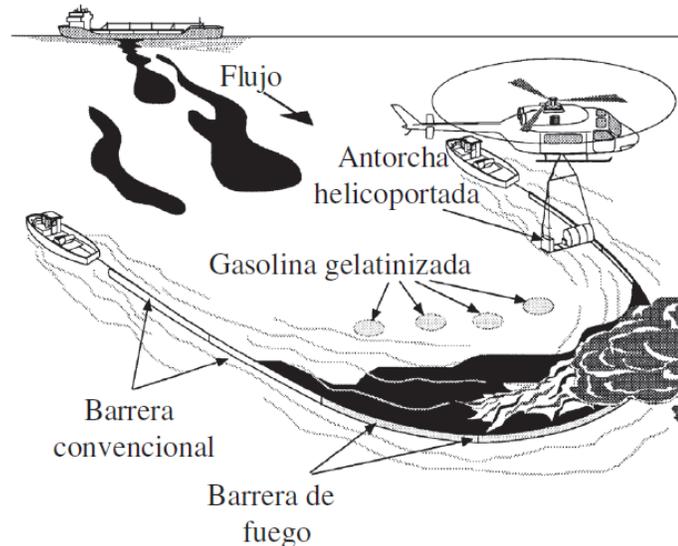


Figura 4.17. Operación típica de quema in situ de petróleo derramado.

El transporte y despliegue de las barreras de contención de fuego no presentan diferencias significativas con las barreras convencionales, las barreras resistentes al fuego son un tanto más pesadas que las barreras convencionales.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

4.6 MÉTODOS DE RECUPERACIÓN MÉCANICA DE DERRAMES .

Son mecanismos que retiran físicamente el petróleo libre o contenido en la superficie del agua.

Las ventajas del uso de skimmers son:

- Remoción del petróleo del ecosistema acuático.
- Son utilizables en todos los entornos.
- Es ampliamente aprobado su uso.
- Son equipamientos disponibles en todos los depósitos de equipo.

Sus desventajas:

- Tasas relativamente bajas de contención del petróleo.
- No es práctico su uso en altamar y corrientes fuertes.
- Se obstruye por escombros y hielo.

Se clasifican básicamente en cuatro categorías según el principio utilizado.

➤ Skimmers de vertedero.

- De vertedero sencillo.

El petróleo corre sobre un labio del vertedero y se recoge en un sumidero, el agua es expulsada por orificios situados por debajo del vertedero (Figura 4.18).

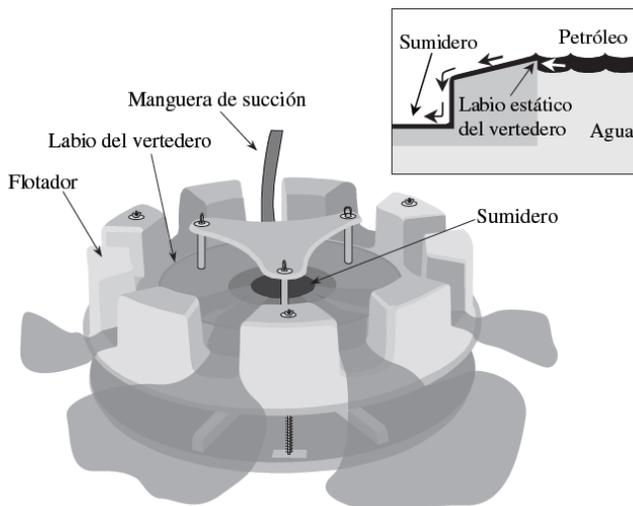


Figura 4.18. . "Skimmer" de vertedero sencillo.

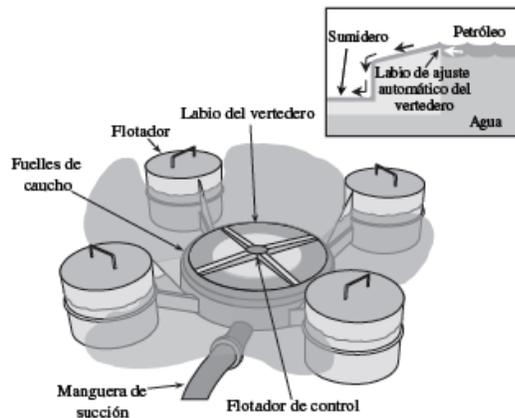
Es recomendable para petróleos de baja y media viscosidad.

Funcionan bien en capas gruesas de petróleo crudo liviano y fresco.

Estos dispositivos se recomiendan en un mar tranquilo, en condiciones estacionarias, no tolera los escombros, y su porcentaje de recuperación no es bueno.

- De vertedero de nivelación automática.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.



Es un mecanismo semejante a los vertederos sencillos, los vertederos de nivelación automática cuentan con un sistema de ajuste de altura, es decir, su altura cambia al aumentar o disminuir la tasa de bombeo y varía el nivel del líquido en el sumidero (Figura 4.19).

Figura 4.19. Vertedero de nivelación automática.

Su uso se optimiza ajustando la velocidad de la bomba y/o ajustando una válvula en línea de succión o ajustando los elevadores hidráulicos o de aire para controlar la altura del vertedero (Figura 4.20).

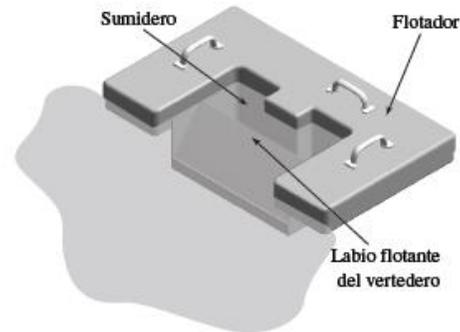


Figura 4.20. Vertedero de nivelación automática.

- De vertedero de tornillo en barrera.

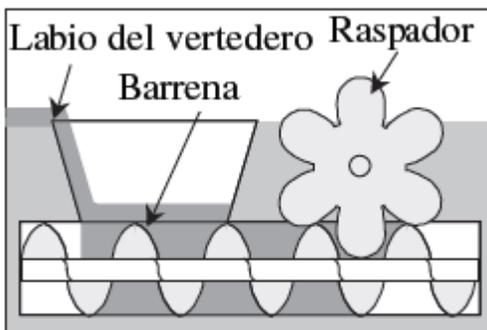


Figura 4.21. Mecanismo del vertedero de tornillo.

El mecanismo es a partir de un vertedero sencillo que recoge el petróleo en la capa superior del líquido, lo vierte en una tolva conectada directamente a una bomba reversible de barrera que puede ser horizontal (Figura 4.21) o vertical.

Los vertederos de tornillo en barrera pueden recuperar petróleos pesados y viscosos, estos deben de ser fluidos para que los skimmers funcionen bien, éstos procesan escombros.

- De vertedero de avance.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

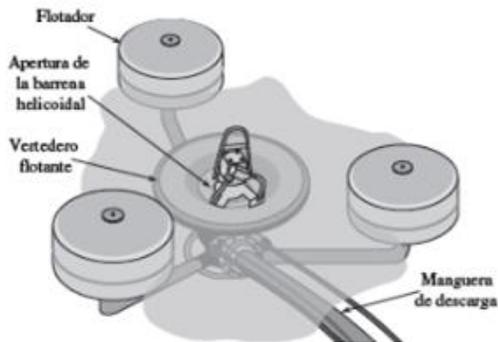


Figura 4.22. Vertedero de tornillo en barrena.

(Figura 4.22). Estos skimmers funcionan bien con petróleos entre media y baja viscosidad, y en aguas tranquilas, el porcentaje de recuperación del petróleo es bueno. Toleran los escombros (Figura 4.23).

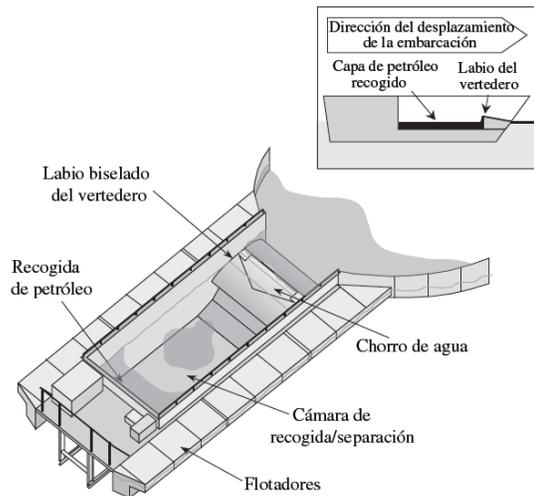


Figura 4.23. "Skimmer" con vertedero de avance.

- "Skimmer" con barrera de vertedero.

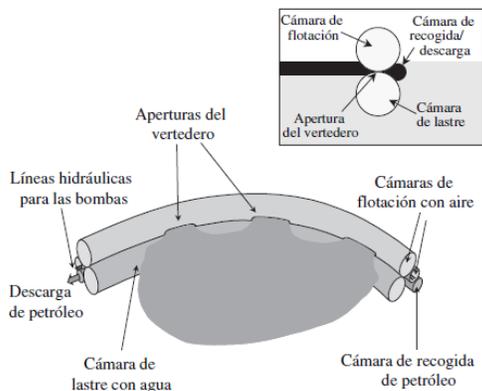


Figura 4.24. "Skimmer" con barrera de vertedero.

- La barrera se remolca en forma de curva catenaria hacia una capa de petróleo, o se ancla hasta que el petróleo llegue a ella, arrastrado por una corriente de agua o viento en el ápice de la configuración de la barrera se construyen vertederos para desnatar con hendiduras horizontales en secciones (Figura 4.24), el petróleo recogido se bombea a una embarcación para su almacenamiento. Estos skimmers se usan regularmente para recoger

capas gruesas de petróleo de viscosidad medio a baja, y en aguas poco profundas alrededor de 1.2 a 1.5 metros y deben ser remolcadas a velocidad menor de un nudo (0.5m/s).

➤ Skimmers oleófilos.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

- De tambor.

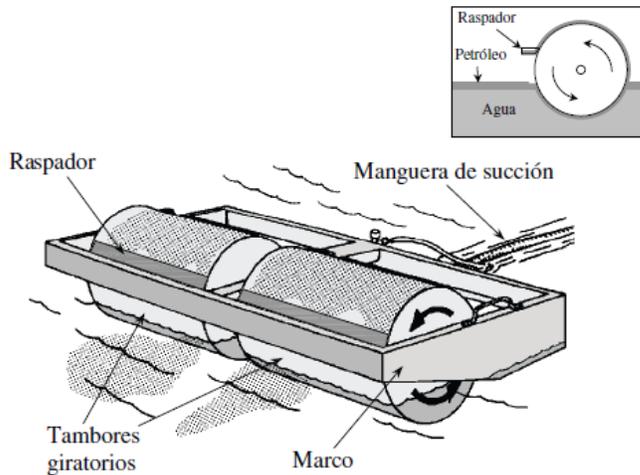


Figura 4.25. "Skimmer" de tambor.

Uno o más tambores oleófilos giran hacia abajo dentro de la capa de petróleo, propulsados por motores hidráulicos, neumáticos o eléctricos. El petróleo recuperado se elimina raspando de los tambores hacia una tolva y, en algunos modelos, a un sumidero, en algunos equipos tienen mecanismos de ajuste para la profundidad de inmersión del tambor (Figura 4.25).

En los petróleos de viscosidad media la tasa máxima de recuperación se obtiene con velocidades cercanas a las 40 rpm, al reducir esta velocidad de rotación a 20rpm, se puede mejorar la tasa de recuperación un 10% en el contenido de petróleo aproximadamente, a su vez la cantidad recogida disminuye un 50%.

Se recomienda su uso en aguas tranquilas, ya que las olas reducen su eficiencia y no se encuentran anclados a ninguna embarcación.

- "Skimmer" de disco.

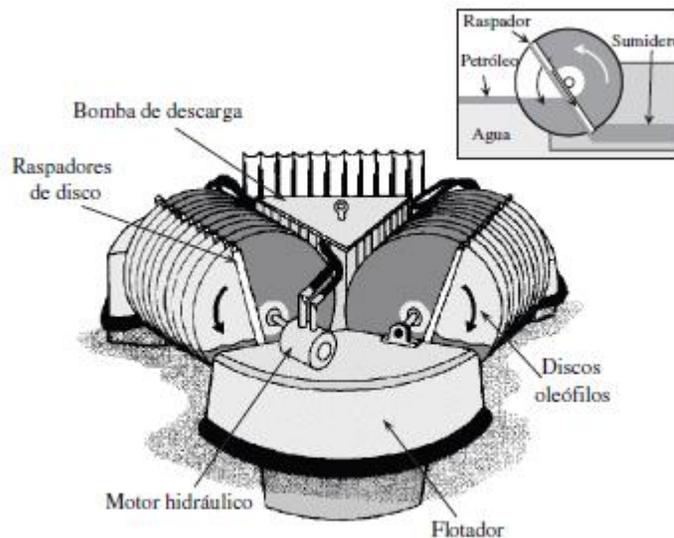


Figura 4.26. "Skimmer" de discos.

El principio de operación de este skimmer es a través del acomodo de discos oleófilos en configuraciones lineales (una sola fila), triangulares (tres bancos de discos), circulares ("oroidal") o cuadradas (cuatro bancos de discos) (Figura 4.26). Cada grupo de discos gira hacia abajo dentro del petróleo por medio de motores hidráulicos, neumáticos o eléctricos. Los raspadores de PVC o aluminio retiran el petróleo de los discos y

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

lo hacen fluir por tubos o directamente a un sumidero.

Para la mayoría de los petróleos, la tasa de recuperación de petróleo es óptima a una velocidad aproximada de rotación de los discos de 40 rpm, los petróleos livianos requieren una velocidad de rotación más baja para reducir la recogida de agua.

- Cabo fregona.

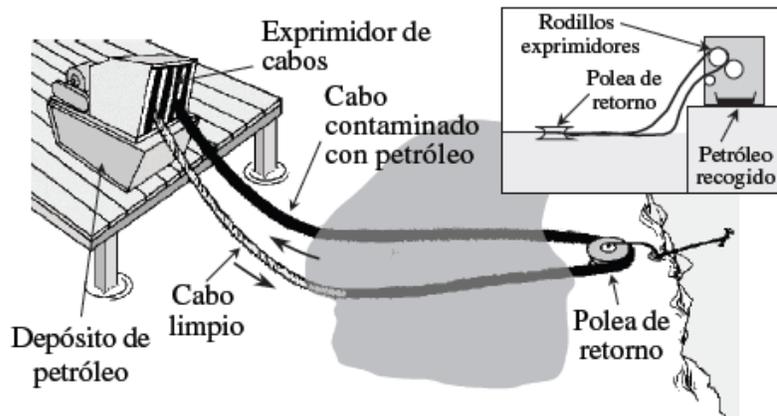


Figura 4.27. "Skimmer" de cabo fregona.

bombee con una manguera de succión. Estos skimmers funcionan en general en climas templados, ya que en climas fríos pueden llegar a congelarse, y en petróleos medianos.

Se pasan cabos sencillos o múltiples de fibra de polietileno a través de la capa de petróleo usando rodillos que son a su vez exprimidores, el cabo fregona exprimida pasa continuamente sobre la capa de petróleo, repitiendo así el ciclo (Figura 4.27). El petróleo recuperado se recoge debajo del ensamblaje del exprimidor a o se

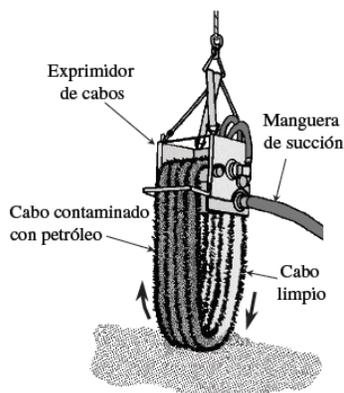


Figura 4.28. Cabo fregona vertical.

El contenido de petróleo recogido disminuye a medida que la velocidad del cabo fregona excede los 0.4 m/s (Figura 4.28).

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

- "Skimmer" con cabo fregona de velocidad relativa cero.

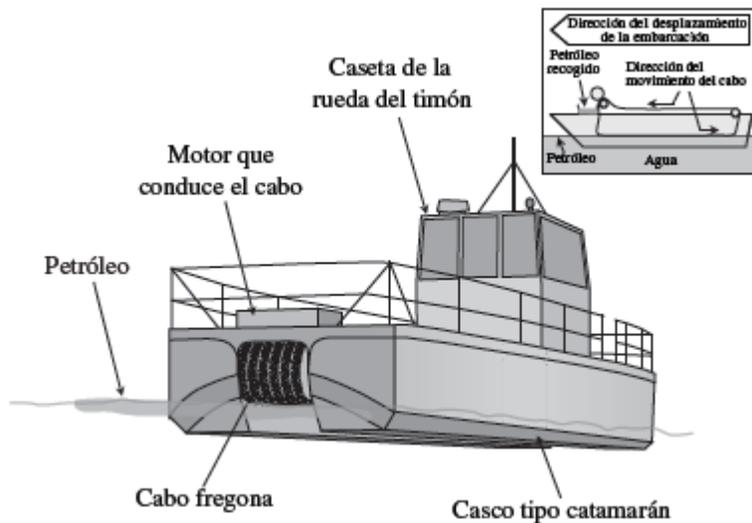
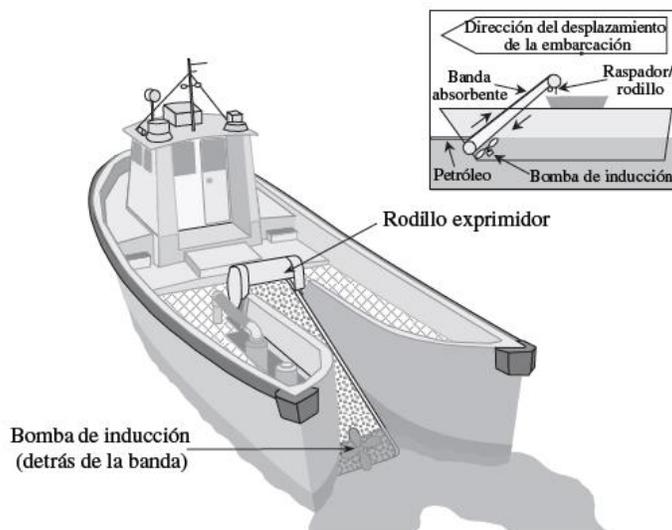


Figura 4.29. "Skimmer" de cabo fregona de velocidad relativa a cero.

es eficaz en corrientes fuertes. Los rodillos hidráulicos exprimen los cabos fregona cargados de petróleo, estos skimmers tienen que avanzar a través de las capas de petróleo, ya que no son eficientes en modalidad estacionaria, el petróleo recogido se almacena a bordo de la embarcación hasta que descargue.

- De correa absorbente recogedora.

A través de la capa de petróleo avanza una correa oleófila inclinada de forma que el petróleo y los escombros se transportan hacia la parte superior de la correa (Figura 4.30).



Consiste en una serie de cabos oleófilos montados y que se hallan entre el casco de una embarcación tipo catamarán de propulsión automática (Figura 4.29). Los cabos fregona se ponen en contacto con la superficie del petróleo-agua a la misma velocidad a la cual la embarcación hace contacto con las capas de petróleo, resultando una velocidad relativa a cero entre los cabos fregona y el petróleo, por lo tanto este mecanismo

petróleo y los escombros se transportan hacia la parte superior de la correa (Figura 4.30). Los escombros recogidos se retiran por el raspado y el petróleo que se adhiere a la correa se remueve al exprimirla. Rinden buenas tasas de recogida tanto para petróleos frescos y viscosos como para petróleos llenos de residuos, recogen capas delgadas pero su porcentaje es bajo.

Figura 4.30. Correa absorbente recogedora.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

- “Skimmer” de cepillo.

Los cepillos apretados pueden recoger el petróleo que se retira luego por un raspador en forma de peine antes de ser llevado al depósito. Utilizan múltiples cadenas lineales que se despliegan desde un lado (Figura 4.31), o desde la proa, los recolectores laterales requieren una grúa de brazo horizontal, varios cables y almacenaje a bordo, se ensamblan en embarcaciones comunes, que se improvisan para el control de los derrames.

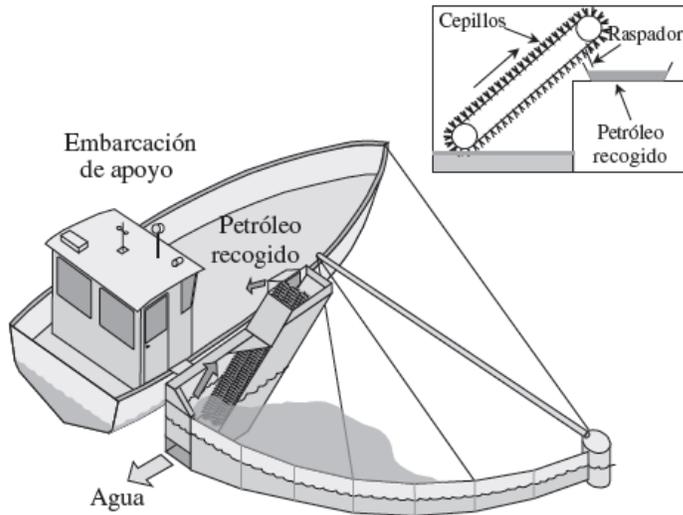


Figura 4.31. “Skimmer” de cepillo.

proporción directa al descenso de las rpm.

➤ Skimmers hidrodinámicos.

- De chorro de agua.

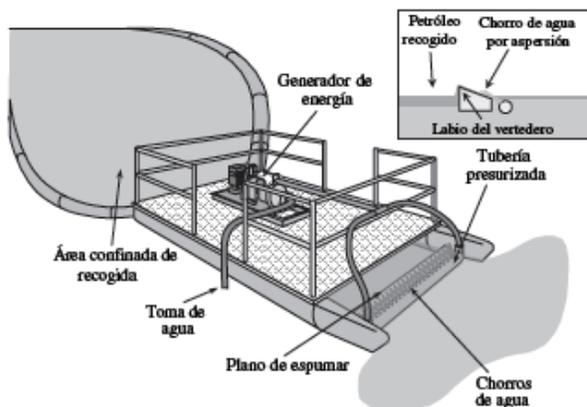


Figura 4.32. “Skimmer” de chorro de agua.

concentrando las capas de petróleo en una barrera u otro espacio cerrado donde el

Estos skimmers funcionan de manera óptima con petróleos de viscosidad media y especialmente con aquellos de alta viscosidad.

La más alta tasa de recuperación de petróleo viscoso ocurre cuando los rodillos rotan a 20 rpm, el porcentaje mayor de petróleo se recoge entre 5 y 10 rpm. El mayor contenido de petróleo se consigue a costa de la tasa de recuperación de petróleo

derramado, la cual disminuye en

En un tubo presurizado al cual se instalan boquillas para lanzar agua por aspersión sobre un vertedero inclinado. El agua arrastrada levanta y empuja el petróleo hacia el filo del vertedero inclinado. Una vez sobre el filo del vertedero, el petróleo se contiene por medio de una barrera de contención, el sumidero o cualquier otro sistema de recogida (Figura 4.32).

Este skimmer funciona prácticamente

con cualquier viscosidad de petróleo, funciona dirigiendo, confinando y

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

petróleo puede recuperarse con mayor facilidad, se utiliza por lo regular en mares tranquilos, su porcentaje de recuperación es medio.

- De correa plana de sumersión.

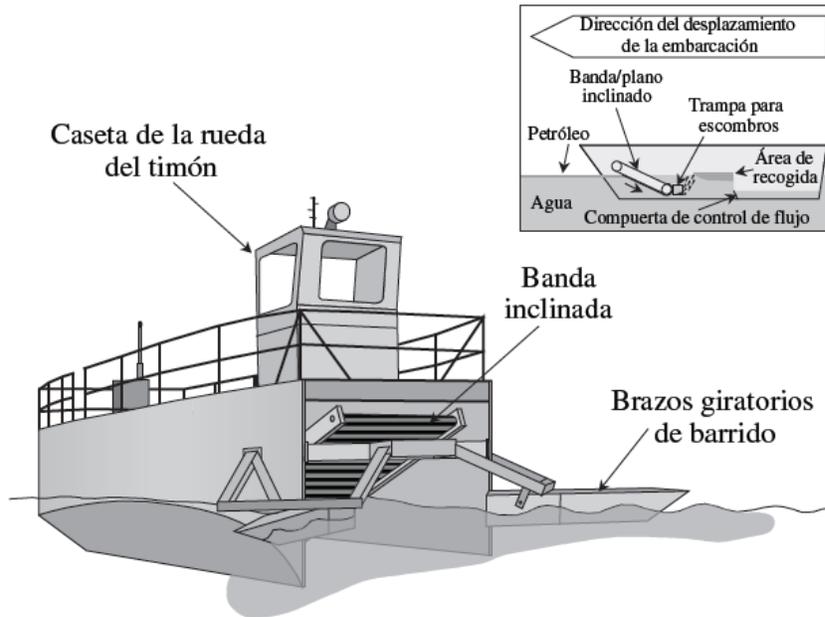


Figura 4.33. "Skimmer" de correa plana de sumersión.

El mecanismo que tiene este sistema, hace que cuando avanza el Skimmer, el petróleo es forzado hacia abajo por una correa plana o movable (Figura 4.33), después de pasar la correa, la flotabilidad del petróleo lo hace subir hasta un pozo de recogida, de donde se bombea a un dispositivo de almacenaje a bordo, el agua sale del pozo de recogida a través de una compuerta de control de flujo. Estos mecanismos son

efectivos con petróleos de viscosidad media, a velocidad de 3 nudos (1.5 m/s).

- De paleta rotatoria.

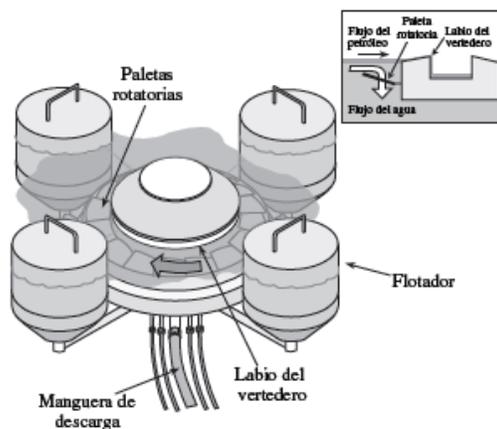


Figura 4.34. "Skimmer" de paleta rotaria.

Su principio de operación consta de un rotor que lleva una serie de paletas que giran debajo de la superficie del agua y dirige el petróleo hacia el labio del vertedero. El agua pasa entre las paletas y es descargada por debajo del skimmer, el petróleo recogido se reúne en un sumidero y se bombea después a un almacenamiento remoto (Figura 4.34).

Son eficientes con petróleos de viscosidad media y baja, los petróleos de viscosidad alta pasan por debajo del skimmer.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

- De correa de paletas

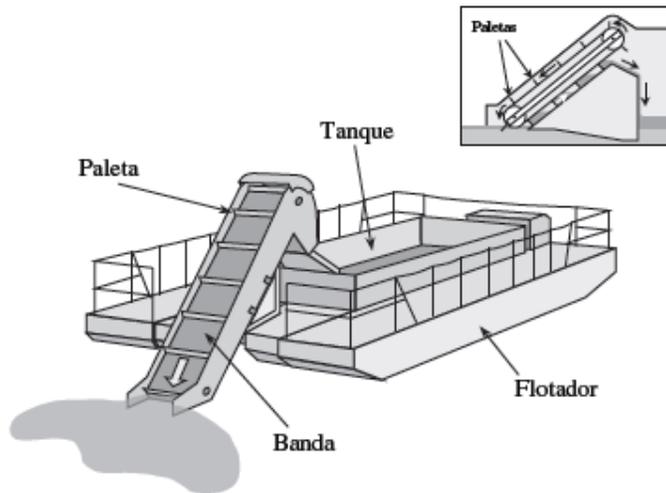


Figura 4.35. "Skimmer" de correa paletas.

Su mecanismo consta de una serie de paletas montadas sobre una correa móvil que gira hacia abajo y dentro de la capa y lleva el petróleo y el agua recogido contra un deflector colocado por debajo de la correa a un tanque de recogida/separación, la mezcla recogida se separa y el agua de elimina (Figura 4.35) .

Es eficiente en petróleos con alta y media viscosidad, tolera escombros y el porcentaje de recuperación en alto.

4.7 ABSORBENTES.

Los absorbentes se utilizan para recoger pequeñas cantidades de petróleo por medio de la absorción que es la penetración del petróleo dentro del material absorbente, y/o de la adsorción que es la adherencia del petróleo a la superficie del material absorbente. Para mejorar la recogida, la mayoría de los absorbentes son tanto oleófilos (que atraen el petróleo) como hidrófobos (que repelen el agua).

El uso de los absorbentes sólo es apropiado durante las etapas finales de operación de limpieza o para ayudar en la recogida de capas de petróleo muy delgadas, se pueden utilizar también para derrames secundarios, así como proteger o limpiar áreas susceptibles como los sitios de desove de las tortugas o las Ciénegas, donde está restringido el uso de otros métodos de limpieza por el daño que puedan ocasionar.

Los materiales usados como absorbentes son (Tabla 4.13):

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Tipo de absorbente.	Materiales típicos.	Observaciones sobre su uso.
Sintéticos.	<ul style="list-style-type: none"> -Polietileno/poliuretano en espumas y almohadillas. -Polipropileno en telas, redes y cintas. -Nylón en telas y tiras. -Poliéster/algodón en telas (telas para limpiar parabrisas). 	<ul style="list-style-type: none"> -Son los más efectivos, algunos absorben hasta 25 veces su peso en petróleo, son altamente oleófilos/hidrófobos. -Se encuentran en diversas configuraciones: rollos, hojas, mantas, redes, pompones, sueltos, etc. -No son biodegradables, pero la mayoría son inofensivos al medio ambiente (inertes). -Se prefieren los productos blancos o de colores claros por su alta visibilidad en el petróleo; se deben evitar los colores negros y oscuros. -Los productos con áreas de superficie grandes son muy aptos para recoger petróleos viscosos. -Algunos productos son tratados con surfactantes para aumentar sus propiedades oleófilas. -Algunos son reutilizables.
Orgánico.	<ul style="list-style-type: none"> -Paja. -Turba. -Aserrín. -Fibra de coco. -Plumas de gallina. -Corcho. -Fibra celulosa. -Esponja biodegradable. -Tusas/mazorcas de maíz molidas. -Lana. -Madera desmenuzada. -Cabello humano. 	<ul style="list-style-type: none"> -En general, los absorbentes orgánicos absorben de 5 a 10 veces su peso. - Son biodegradables. -Han sido usados para inmovilizar el petróleo derramado en áreas susceptibles con miras de proteger la fauna y la vegetación. -Algunos productos son tratados para aumentar sus propiedades oleófilas. -Muchos se sumergen relativamente rápido cuando están empapados. -Principalmente, son materiales sueltos, difíciles de recoger.
Inorgánicos.	<ul style="list-style-type: none"> -Obsidiana de Oregón. -Vermiculita. -Lana de vidrio. -Roca volcánica. 	<ul style="list-style-type: none"> -En general, los absorbentes inorgánicos absorben de 3 a 6 veces su peso. -Son relativamente baratos. -Son difíciles y, algunas veces peligrosos de usar. -Algunos se hunden y no se pueden recuperar.

Tabla 4.13. Principales absorbentes usados en limpiezas de derrames.

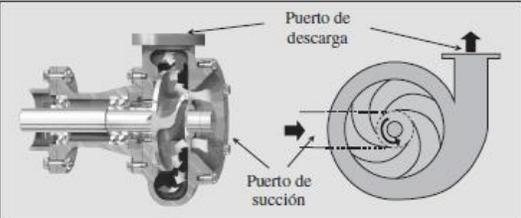
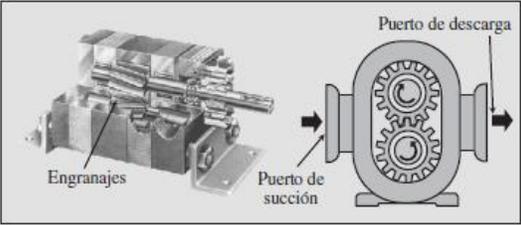
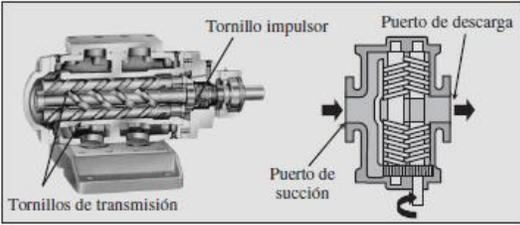
Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

4.8 EQUIPOS PARA TRANSFERENCIA DE HIDROCARBUROS.

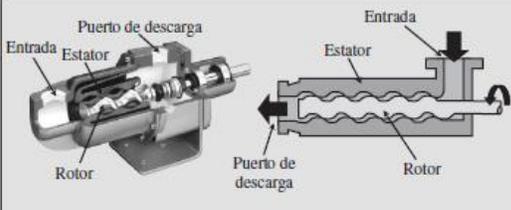
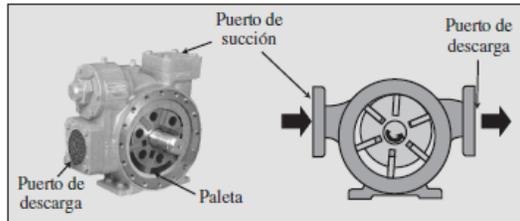
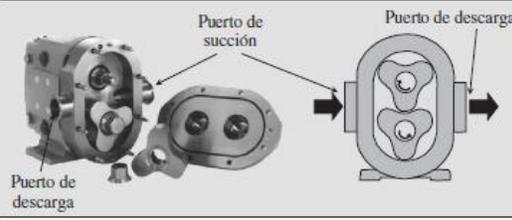
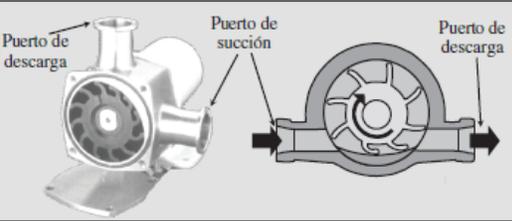
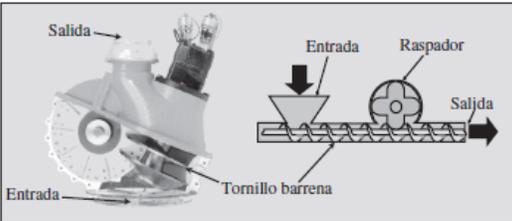
La transferencia se refiere al traslado de un sitio a otro del petróleo, es necesario transferirlos de un “skimmer” a un recipiente provisional de almacenaje, del almacenaje provisional a una embarcación de transporte y de la embarcación de transporte al sitio de almacenaje.

Estos equipos deben seleccionarse de acuerdo al tipo de fluido que se transporte, tomando en cuenta características propias del fluido, si es un petróleo derramado fresco, si está emulsionado y la profundidad al que podemos encontrarlo, entre otras.

En el mercado actual se encuentran distintos tipos de bombas con distintos principios operacionales, distintos usos y diferentes condiciones de aplicación, entre las más destacadas:

BOMBA	USOS
<p>Centrífuga.</p> 	<ul style="list-style-type: none">-Bombear líquidos de baja viscosidad en distancias cortas.-Suministro de agua a las barreras, aspersión de dispersantes.-Inundar costas marinas, para evitar que el petróleo se adhiera.
<p>De engranaje.</p> 	<ul style="list-style-type: none">-Mezclar químicos demulsificantes.-Bombear líquidos limpios.- Bombear líquidos muy viscosos.-Es una bomba bidireccional.-No tolera sólidos.
<p>De engranaje de toma constante.</p> 	<ul style="list-style-type: none">-Bombeo de líquidos viscosos libres de sólidos.-Funciona en seco sin algún daño.
<p>Cavidad progresiva.</p>	<ul style="list-style-type: none">-Bombeea líquidos de diferentes viscosidades a tasas constantes.-Tolera escombros pequeños.-Es de cebado automático.-No emulsiona el petróleo y el agua.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

	<ul style="list-style-type: none">-No se debe operar en seco.-Su tasa de bombeo es baja.
<p>Rotativa de paletas.</p> 	<ul style="list-style-type: none">-Su tasa de bombeo disminuye cuando aumenta la viscosidad del fluido.- Puede generar emulsiones petróleo/agua.-Los escombros filamentosos afectan su rendimiento.
<p>De lóbulo.</p> 	<ul style="list-style-type: none">-La tasa de bombeo no disminuye o disminuye poco con el aumento de la viscosidad.-Llega a desarrollar altas presiones.-Bombee emulsiones viscosas, líquidos libres de sólidos.-Tasa de bombeo relativamente lenta.
<p>Impulsor flexible.</p> 	<ul style="list-style-type: none">-Preferentemente se usa para el bombeo de líquidos desde el "skimmer" hacia depósitos, para bombear agua de mar hacia equipos dispersantes.-Para bombear el petróleo y agua de recipientes flexibles hacia fosas de incineración en costas.
<p>Tornillo/barrena.</p> 	<ul style="list-style-type: none">-Para bombear crudos degradados o "mousse", no emulsiona, tasa baja de bombeo.-Descargar petróleo recuperado de las barcasas.-Transferencia a los incineradores.-Transferencia de petróleo/hielo/nieve fangosa.
<p>Rotativa de paletas.</p>	<ul style="list-style-type: none">-Bombee petróleos de viscosidad media y baja.-Se usa para la inyección de petróleo recogido en los sistemas de incineración, u petróleo muy denso.

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

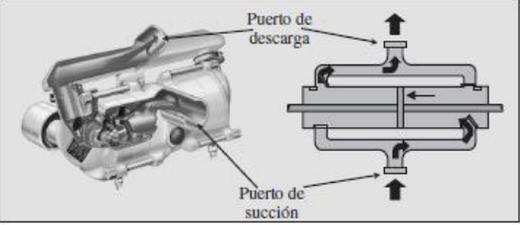
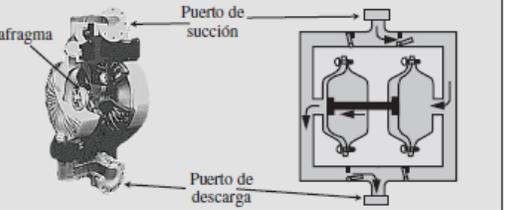
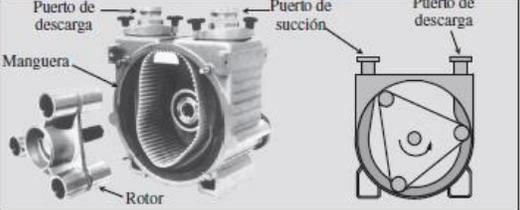
	<p>-Puede procesar escombros sólidos pequeños y operar periodos prolongados.</p>
<p>De diafragma.</p> 	<p>-Funciona indefinidamente en seco. -Tolera altas concentraciones de materiales finos.</p>
<p>Peristáltica.</p> 	<p>-Bombeea petróleos de viscosidad baja. -Funciona en seco sin sufrir daños. -Bombeea la mayoría de los escombros de tamaño de 1 pulgada.</p>

Tabla 4.14. Bombas destacadas en la industria para la trasferencia de materiales.

4.9 LEGISLACIÓN.

La contaminación marina, se define como la lesión al medio, incluida en ésta la erosión al medio natural a través de formas de energía o sustancias nocivas, que alteran el equilibrio ecológico, provocando trastornos, reversibles o no, al medio físico, a los organismos vivos y a la salud humana. Considérese contaminación marítima al derrame intencional o no , a través de las actividades de buques y plataformas marinas, de materiales clasificados como nocivos o contaminantes, incluyendo dentro de estas actividades el hundimiento de buques, aeronaves, plataformas y otras construcciones en el mar. (Zambonino, Pulito María. La Protección Jurídico Administrativo del Medio Marino: Tutela Ambiental y Transporte Marino, Valencia: Tirant lo Blanch, 2001, p.50).

El Derecho Internacional Ambiental ha incorporado medidas para regular la contaminación marítima, como resultado de la gran afección que se ha provocado por el aumento de actividades marinas, en particular al aumento de traslado y extracción de hidrocarburos en el mundo.

Las regulaciones internacionales se tienen que llevar en conjunto con las regulaciones estatales para un mejor resultado del cuidado del medio ambiente.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

En general la regulación de extracción, exploración y traslado de hidrocarburos, se ha centrado en el carácter destructivo del impacto climático causado por las mareas negras que tienen como epicentro los derrames de barcos petroleros, ya que, como se mencionó en el capítulo tres, es la mayor causa de derrames petroleros en el mundo.

Así la Organización Marítima Internacional fue creada con el propósito de ordenar el tránsito marítimo mundial a fin de alcanzar una navegación interestatal segura.

En México, a raíz del accidente del pozo Ixtoc-I en abril de 1981, se generó el “ Plan Nacional de Contingencias para Combatir y Controlar Derrames de Hidrocarburos y Otras Sustancias Nocivas en el Mar”, teniendo éste como objetivo la interacción entre mecanismos coordinados de las dependencias involucradas para responder oportunamente ante cualquier incidente, y teniendo como autoridad al Consejo Técnico de carácter permanente, integrado por el Jefe de Operaciones Navales de la Secretaría de Marina, Armada de México, quien funge como presidente, y cierto grupo de funcionarios designados por las dependencias gubernamentales, cuyos conocimientos los colocan en una posición de proporcionar una contribución eficaz a las operaciones de prevención y control de la contaminación.

4.9.1 Plan Nacional de Contingencias Para Combatir y Controlar Derrames de Hidrocarburos y Otras Sustancias Nocivas en el Mar.

Pemex cuenta con una infraestructura y equipos de alta tecnología, así como el personal capacitado distribuido en doce centros en el Golfo de México, en las ciudades de Tampico, Tuxpan, Veracruz, Coatzacoalcos, Dos Bocas y en Ciudad del Carmen en materia de contaminación marina.

Pemex mantiene así una constante participación en organizaciones interinstitucionales, en donde se enmarcan y coordinan acciones relativas a las Ciencias Oceánicas, entre ellas, las referentes a la vigilancia, control y reducción de la contaminación marina.

Los objetivos de este plan nacional, son establecer organizaciones entre las entidades competentes para legislar y llevar a cabo acciones pertinentes y coordinadas, para el pronto tratamiento de derrames. Se trata de formar parte del plan nacional e integrar y coordinar con él las acciones de respuesta inmediata. Establecer un mecanismo inmediato y eficiente en derrames de hidrocarburos al mar generados por: Perforación marina, Transporte de hidrocarburos por buque-tanque, Derrames de lastre, Derrames de tanques de almacenamiento en terminales marítimas, Derrames en agencias de venta costeras, Rotura de líneas de transporte submarino.

Entre algunos convenios y acuerdos internacionales suscritos por México, en los cuales forma parte Pemex, se encuentran entre los más destacados el Convenio para Prevenir la contaminación Por los Buques (MARPOL) y el de la Organización Marítima Internacional (OMI).

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

4.9.2 Organización Marítima Internacional (OMI).

Es un organismo de las Naciones Unidas especializado exclusivamente en asuntos marítimos. Se estableció en la Conferencia Marítima de las Naciones Unidas, que se realizó en Ginebra en marzo de 1948, se formó con el objetivo de elaborar instrumentos internacionales para la seguridad en el mar.

Siendo sus principales objetivos: El deparar un sistema de cooperación entre los estados en la esfera de la reglamentación y de las prácticas gubernamentales relativas a cuestiones técnicas de toda índole concernientes a la navegación comercial internacional, alentar y facilitar la adopción general de normas tan elevadas como resulte factible en cuestiones relacionadas con la seguridad marítima, la eficiencia de la navegación y la prevención y contención de la contaminación del mar ocasionada por buquetanques (Organización Marítima Internacional,2008).

La definición según la ONU, la OMI es el organismo especializado de las Naciones Unidas encargado de adoptar medidas para mejorar la seguridad del transporte marítimo internacional y prevenir la contaminación del mar por los buques, regulando también asuntos de carácter jurídico, entre ellos la responsabilidad civil, la indemnización y facilitar el tráfico marítimo internacional.

Este órgano se rige por los 156 Estados Miembros que por lo regular se reúnen cada bienio, donde se aprueban presupuestos, discuten resoluciones y recomendaciones de carácter técnico elaboradas anteriormente.

La OMI se creó para adoptar medidas legislativas, de implantarlas, se encargarán los gobiernos, el gobierno que acepte estas normas quedara inmerso en la obligación de cumplirlos.

En materia de instrumentos internacionales, cabe destacar, que la OMI considera dos aspectos: Los preventivos y los referidos específicamente a la precaución y reparación de los daños indemnizatorios (ARROYO, Ignacio “Problemas Jurídicos Relevantes de la Navegación Marítima” referencia especial al Prestige). In , MELIAN Gil José Luis “Estudios sobre el Régimen Jurídico de los Derrames de Buques en el Medio Marino”. Navarra: Arizandi, S.A. 2006, p. 43).

Las normas internacionales aportadas por la OMI para el incremento de la seguridad del tránsito marítimo, se clasifican en:

- Medidas legislativas internacionales.

Estas medidas son el aporte de distintos convenios, en el cual se establecen normas de protección en la construcción de barcos, pasaje y tripulación, prevención y control de incendio, salvamento, radiotelegrafía, radiotelefonía, así como los servicios de guarda a los que deben adecuarse los gobiernos.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

En materia de convenios, el MARPOL 1973/1978 ha sido un gran avance en el objetivo de reducir la contaminación internacional por los hidrocarburos en el medio marino.

A base de convenios se ha podido regular normativamente la prevención y reacción ante la contaminación por hidrocarburos.

- Medidas operativas.

En este aspecto la OMI ha elaborado una serie de normas para el tránsito marítimo internacional, estableciendo vías de tránsito de sentido único, trabajando en el perfeccionamiento de equipamientos en materia de radares, intensificando la ayuda de navegación satelital (GNSS, Imarsat, “pretende crear un sistema de navegación independiente de los sistemas GPS y GLONASS, llamado GNSS (Global Navigation Satellite System). Se pretende con esto crear un sistema civil de navegación vía satélite, que haga frente a los otros dos, bajo el control militar”), disminuyendo así los siniestros y permite el conocimiento de la posición exacta de otros buques.

Se han obtenido además mejoras técnicas, como sistemas de visualización e información conocidas como cartas electrónicas (ESDIS, Grupo de Alto nivel sobre el empleo y la dimensión social de la información), el desarrollo del sistema mundial de navegación GALILEO (Tiene por objetivo la creación de un sistema europeo de radionavegación por satélite, ofreciendo sistemas homogéneos, incluso para latitudes septentrionales, a través de satélites de órbita media. El programa está organizado en cuatro fases distintas: La concepción, terminada en finales del 2000; desenvolvimiento, 2005, implementación, 2007; utilización al comenzar 2008), y el sistema de respuesta AIS (de las siglas en inglés, Automatic System, en español Sistema de Identificación Automática, es un sistema complementario de ayuda a la navegación que se integra a los sistemas que forman parte de los VTS (Vessel Traffic System)) que permite a los puertos la pronta identificación de los buques. Esto es útil para calcular los riesgos en caso de abordaje, así como para concretar una eficaz información meteorológica, la cual se ha perfeccionado y aporta inigualables datos necesarios para la prevención de catástrofes que puedan ser resultado de causas naturales (ARROYO, Ignacio “Problemas Jurídicos Relevantes de la Navegación Marítima” (referencia especial al Prestige). In , MELIAN Gil José Luis “Estudios sobre el Régimen Jurídico de los Derrames de Buques en el Medio Marino”. Navarra: Arizandi, S.A. 2006, p. 45-48).

- Formación de recursos humanos.

En recursos humanos, la OMI ha elaborado el convenio Internacional para la Formación, Titularidad y Guardia para Hombres de Mar (STCW 1978 (Normas de Formación, Certificación y Servicios de cuartos-STCW.), ya que el mayor porcentaje de accidentes se debe en su mayoría a errores humanos. Así la OIT

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

(Organización Internacional del Trabajo)), estableciendo normas relativas a los horarios que observan las consecuencias de la fatiga de hombres que trabajan en buques petroleros, el Código Internacional de Gestión de la Seguridad (IGA) ha sido obligatorio desde 1998; establece un manual de practicas , referente a los trabajos peligrosos a bordo, y la constante capacitación del personal frente a situaciones de emergencia (ARROYO, Ignacio “Problemas Jurídicos Relevantes de la Navegación Marítima” (referencia especial al Prestige). In , MELIAN Gil José Luis “Estudios sobre el Régimen Jurídico de los Derrames de Buques en el Medio Marino”. Navarra: Arizandi, S.A. 2006, p. 48).

La OMI centraliza en el “factor humano” ya que las estadísticas demuestran que el 80% de los accidentes marítimos se deben a errores humanos., que pueden ser producidos por una administración ineficiente de la empresa o deficiencias de la dotación de tripulantes del buque, como puede ser: preparación y entrenamiento inadecuado, equipos mal operados, fatiga, desmoralización, dificultades de entendimiento por el idioma, entre otras cosas. Se estima que la eliminación de estas causas sería la mejor forma de prevenir incidentes, por lo que también las acciones de la OMI están dirigidas a elevar los estándares en esta área (OMI).

Los derrames de combustible, según su procedencia en el mar se distribuyen correspondiendo el 2% relativas a la exploración y producción , 9% referentes a la descarga en tierra, 33% consecuentes a operaciones de barcos, 12% relacionadas a accidentes, restando por lo tanto solamente 7% para contaminación marina detectada procediendo de causas naturales. (OCTAVIANO, Martins, Eliane M. “Seguridad Marítima y Desarrollo Sustentable, 2008).

La serie de accidentes de buques navieros han sido en su mayoría por fallas en la estructura, siendo la respuesta de la OMI una reglamentación pertinente a la construcción de los mismos.

- Mejoras estructurales.

Las mejoras estructurales se han visto constantes dentro de la OMI debido a su constante participación con objetivo de lograr un tránsito marítimo seguro, en consecuencia de esta labor es el convenio MARPOL 73/78, que regula la reglamentación de seguridad que deben tener los barcos petroleros al ser contruidos y establecen normas de inspección respectivas y demás controles pertinentes.

De acuerdo a la OMI a raíz de este convenio y su rigurosa aplicación, se ha notado una notable reducción en el grado de contaminación ocasionado por los buques durante los últimos veinte años.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

4.9.3 MARPOL 73/78

El convenio MARPOL, fue estructurado a partir del Convenio Internacional, presenciado en Londres para prevenir la contaminación por buques en 1973 y firmado en el mismo país en 1978 su propósito es lograr la eliminación total de la contaminación internacional del medio marino por hidrocarburos y otras sustancias perjudiciales, y reducir al mínimo la descarga accidental de tales sustancias, este convenio consta de veinte artículos, dos protocolos y cinco anexos, un sexto anexo fue aprobado el 26 de septiembre de 1997.

Este convenio a través de normas, trata de mitigar en general la contaminación del medio, y en particular el marino.

Puntualiza que:

El derrame accidental, negligente o deliberado de hidrocarburos y de otras sustancias perjudiciales por los buques constituye una grave fuente de contaminación. (MARPOL, Londres 1978).

Considerando que la mejor manera de mitigarla es preceptuar reglas de alcance universal que no se limiten a la contaminación de hidrocarburos.

Conviniendo así, obligaciones generales; definiciones; el ámbito de aplicación (APÉNDICE B); transgresiones; certificados y reglas especiales sobre inspección de los buques; detección de transgresiones del convenio y cumplimiento del mismo; demoras innecesarias a los buques; informes sobre sucesos relacionados con sustancias perjudiciales; tratados para su interpretación, solución de controversias; comunicación de información; siniestros sufridos por los buques; firma, ratificación, aceptación, aprobación y adhesión; anexos facultativos; entrada en vigor; enmiendas; depósito y registro e idiomas. (Consultar MARPOL, Londres, 1973).

Los anexos contenidos en este convenio plasman las pautas y reglas a seguir, reduciendo así la contaminación marina:

Anexo I, se establecen las reglas de prevención, ya que lo principal en un derrame es evitarlo, estableciendo normas para descarga y los cálculos para determinar un derrame hipotético, regulando el límite de la descarga de petróleos en el mar y descarga de agua sentina.

Anexo II, se encuentran divididas las sustancias consideradas peligrosas en cuatro grupos, clasificados de acuerdo con el grado de contaminación y peligro que representan para la salud humana, para los recursos naturales y los paisajes considerados atractivos naturales. También se establecen las distancias a las que deberán ser efectuadas las descargas de diferentes sustancias.

Anexo III, que fue reformado en 1991, se enumeran los elementos que deberán ser consideradas perjudiciales y una serie de normas tales como las instrucciones que

Control y tratamiento de los derrames de petróleo.

deberán contener las etiquetas, embalajes, rótulos, documentación, estivas y las limitaciones cuantitativas, que deberán ser adoptadas para transporte de éstas, mediante el empleo de tanques móviles, contenedores, camiones cisterna, vagones y tanques.

Anexo IV, en este anexo reúne una serie de normas aplicables a sustancias fluctuantes, tales como madera estiva, forros estiva, embalajes, restos de comida, y demás residuos orgánicos, siempre y cuando, según lo estipulado, estos residuos reciban tratamiento mediante triturador y desmenuzador. También se establecen las garantías a las que deberán comprometerse las partes para que en los puertos existan las instalaciones que no produzcan demoras innecesarias, como también, se prohíbe derramar materiales plásticos residuales, redes y bolsas plásticas para la basura.

Este anexo del Convenio fue aprobado en septiembre de 1991, en la Conferencia sobre Contaminación Atmosférica Producida por Buques, en la que se contempló la polución producida por los motores, incineración a bordo y demás productos orgánicos colátiles, considerados sustancias perjudiciales para la capa de ozono (SEOANEZ Calvo, Mariano. "Manual de Contaminación Marina y Restauración del Litoral." Madrid: Mundi-Prensa, 2000, p. 491 a 494).

Los anexos V y VI abordan específicamente los temas de impurezas por las basuras, y la contaminación atmosférica ocasionada por buques.

4.9.4 Comisión Nacional de Hidrocarburos.

Los lineamientos plasmados por la Comisión Nacional de Hidrocarburos se enmarcan en la Resolución CNH.12.001/10, considera que existe una preocupación general en México para que toda la actividad petrolera en aguas profundas se realice adecuadamente con las mejores prácticas y estándares de la industria, tanto nacionales como internacionales, protegiendo en todo momento la integridad de las personas, las instalaciones y el entorno ambiental y cuidando las condiciones necesarias para la seguridad industrial en la ejecución de los proyectos de exploración y explotación de los hidrocarburos.

En el Capítulo I. Artículo 4 de procedimiento para elaborar el estudio general de la seguridad para las actividades, establece que PEMEX deberá acreditar estudios generales de la seguridad industrial para actividades en aguas profundas.

En el Capítulo III De los sistemas de administración de riesgos inherentes a las actividades en aguas profundas, en los sistemas de administración de riesgos para las actividades en aguas profundas, PEMEX deberá:

- Identificar los riesgos; así como su estimación, evaluación y elaboración de planes para la mitigación de los mismos, éste se realizará para cada una de las etapas que componen la cadena de valor de exploración y explotación.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

- Elaborará una matriz de riesgo generador que incluya los escenarios de riesgo previamente identificados, de acuerdo al nivel de riesgo estimado y conforme a su impacto y frecuencia.
- Reportará información a la identificación y administración de riesgos en las actividades en aguas profundas.
- Tendrá un plan de mitigación de riesgos para toda y cada una de las instalaciones dedicadas a actividades en aguas profundas, debiendo identificar con claridad la ejecución ordenada de las medidas de prevención y mitigación de riesgos identificados.
- - Conformará un grupo de expertos en análisis de riesgos

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

“Produce una enorme tristeza pensar que la naturaleza habla mientras que el género humano no escucha”. Marie Curie.

5 REMEDIACIÓN DE DERRAMES EN EL GOLFO DE MÉXICO.

Una vez que el petróleo se ha introducido a los sistemas marinos, es importante evaluar los posibles destinos que sufrirá este recurso ya que estará expuesto a los factores abióticos que contribuyen a su eliminación de la columna de agua, ya sea por evaporación, escurrimiento, dispersión, emulsificación y disolución.

La remediación significa facilitar un remedio a alguna situación dada, en este caso lo referiré a la remoción de contaminación o contaminantes del medio ambiente, en la industria muchas veces solo se termina entendiendo como legislación, como solo un protocolo para la exploración, explotación y exportación de los hidrocarburos en México.

Remediación en términos de nuevos medios, es la representación de un medio en otro (Jay David Bolter y Richard Grusin, 1999).

5.1 ORGANISMOS HIDROCARBUROCLÁSTICOS.

Los llamados organismos hidrocarburoclásticos o petroleolíticos son bacterias y hongos capaces de degradar petróleo fisiológica y metabólicamente. Más de 100 especies de 30 géneros microbianos son capaces de usar hidrocarburos, como método de subsistencia. Los géneros de organismos hidrocarburoclásticos son: Pseudomonas, Nocardia, Vibrio, Candida, Brevibacterium, Corynebacterium, Flavobacterium, Acinetobacter, Micrococcus, Arthrobacter, Achromobacter, Rhodococcus, Alcaligenes, Mycobacterium, Bacillus, Aspergillus, Mucor, Fusarium, Penicillium, Rhodotorula y Sporobolomyces (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** VIII). La fracción del total de organismos que metabolizan hidrocarburos es altamente variable, 6 a 82% para hongos terrestres, 0,13% a 50% para bacterias de la tierra, y del 0,003% a 100% para bacterias marinas.

En ecosistemas no contaminados, los microorganismos degradadores de hidrocarburos constituyen menos del 0,1% de la comunidad microbiana; mientras que en ecosistemas contaminados con hidrocarburos pueden constituir el 100% de la comunidad microbiana.

Las poblaciones dominantes en estas comunidades poseen características nutricionales relacionadas al contaminante y pueden ser también resistentes a muchas formas de estrés ambiental. Cuando la fuente de carbono es un substrato insoluble como un hidrocarburo, los microorganismos facilitan su difusión hacia la célula produciendo sustancias como carbohidratos, ácidos grasos, enzimas y biosurfactantes. Los microorganismos utilizan estos compuestos a manera de un biofilm alrededor de la molécula del hidrocarburo, para posteriormente ingerirlo o romperlo en compuestos simples de carbono y oxígeno. Estos microorganismos usan la energía liberada para

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

manejar los procesos termodinámicamente no espontáneos como la síntesis de componentes celulares.

5.2 BIODEGRADABILIDAD DE LOS HIDROCARBUROS.

No todos los compuestos hidrocarbúricos presentarán la misma biodegradabilidad, y por tanto, el tipo de hidrocarburos y sus características son muy importantes. La complejidad de los compuestos individuales determina si estos pueden degradarse y en qué medida. Se pueden identificar diferentes grupos de compuestos, en orden de biodegradabilidad, que van desde los hidrocarburos saturados (alcanos y cicloalcanos) a los asfaltenos, resinas y compuestos polares, pasando por los hidrocarburos insaturados y aromáticos (incluidos los hidrocarburos poliaromáticos).

- ALTA: Fracción de los alcanos, incluye alcanos normales, alcanos ramificados (isoalcanos) y cicloalcanos (naptenos).
- INTERMEDIA: Compuestos aromáticos e hidrocarburos policíclicos aromáticos. Dentro de los cuales están los monoaromáticos volátiles como el benceno, tolueno, xileno, etc., los naptenoaromáticos y compuestos aromáticos sulfurados como los tiopenos y benzotiopenos. Estos compuestos son los de mayor importancia debido a su toxicidad y tendencia a la bioacumulación.
- BAJA: Fracción polar que son las resinas (piridinas, quinolinas, carbazoles, sulfóxidos y amidas) y asfaltenos (fenoles, ácidos grasos, cetonas, ésteres y porfirinas).

Por tanto, las diferentes partes de los hidrocarburos exhibirán tendencias de biodegradación muy diferentes. En general, los componentes más ligeros se descompondrán con mucha más facilidad mientras que los componentes más pesados y complejos se biodegradarán con menos facilidad y durante un periodo de tiempo más largo o incluso pueden no descomponerse en absoluto. Los crudos ligeros con una proporción relativamente alta de componentes simples pueden ofrecer mayores posibilidades para la biorremediación que, por ejemplo, los crudos o fueles pesados, que disponen de proporciones relativamente altas de componentes complejos. Se ha de admitir también que los productos derivados del petróleo ligeros y el gasoil contienen una proporción relativamente elevada de compuestos tóxicos, que pueden afectar o matar a los microorganismos responsables de la biodegradación.

Los alcanos (o saturados) se degradan con rapidez en presencia de oxígeno gracias a una amplia gama de microorganismos. Pueden dividirse en parafinas normales (compuestos de cadena lineal, n-alcanos), saturados en cadenas ramificadas y saturados cíclicos (o naftenos o alicíclicos).

Remediación de derrames en el Golfo de México.

Mientras que los saturados en cadenas lineales o ramificados, pueden degradarse rápida y completamente (la degradación comienza con los compuestos de cadena lineal), los compuestos cíclicos se degradan con mayor lentitud y en menor grado.

Los aromáticos son compuestos con uno o más anillos aromáticos condensados (o de benceno), que también pueden estar ramificados (estos incluyen el benceno y sus derivados, bencenos sustituidos, dos, tres, cuatro o cinco hidrocarburos poliaromáticos cíclicos). Los compuestos ligeros (con uno o dos anillos de benceno) se degradan bastante bien y con relativa rapidez, pero los compuestos con más de cuatro anillos de benceno son mucho más resistentes a la degradación.

Por último, los asfaltenos y las resinas, que son mezclas de hidrocarburos deficientemente definidas que se encuentran en las fracciones pesadas (compuestos con elevado peso molecular) de los crudos y de los refinados pesados, tienen una velocidad de degradación muy baja (e incompleta) en comparación con otros componentes que se encuentran en el crudo. A pesar de que habitualmente estos compuestos constituyen una pequeña proporción de los productos petrolíferos, son extremadamente resistentes a la biodegradación, lo cual incrementa su peligrosidad.

5.2.1 Factores que afectan a la biodegradación del petróleo.

La concentración y composición de la comunidad microbiana y la tasa de transformación de contaminantes está influenciada por diversos factores:

5.2.1.1 Temperatura

Generalmente las especies bacterianas crecen a intervalos de temperatura bastante reducidos en torno a un valor medio típico de cada zona. Para aguas canarias, este rango oscila entre -2 y 35°C (condiciones mesófilas). La biodegradación decrece por desnaturalización de las enzimas a temperaturas superiores a 40°C, mientras que se inhibe con temperaturas bajas. Una temperatura óptima de crecimiento bacteriano suele estar en torno a los 25 °C. La tasa de degradación decrece exponencialmente cuando se baja de esta temperatura, habiéndose comprobado que es 10 veces inferior a 5°C.

5.2.1.2 Oxigenación

La disponibilidad de oxígeno es fundamental para las degradaciones aeróbicas, que son las que resultan más eficientes. Aunque su disponibilidad no suele ser limitante en ambientes marinos, la concentración del mismo depende de su ubicación en el ambiente marino; por ejemplo, es mucho menor en sedimentos de baja granulometría y en playas de baja energía, etc.

5.2.1.3 Necesidad de nutrientes.

El metabolismo microbiano está orientado a la reproducción de los organismos y éstos requieren que los constituyentes químicos se encuentren disponibles para su asimilación y síntesis. Los nutrientes principalmente requeridos son el fósforo y el nitrógeno, cuya

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

disponibilidad suele ser más limitante que la de oxígeno, siendo la mayoría de los ambientes marinos deficitarios en estos nutrientes, así como en hierro. Por lo general suele haber en el suelo una concentración de nutrientes suficiente, sin embargo, si estos no se encontrasen en el rango normal se puede adicionar mayor cantidad al medio. El rango normal de C:N:P depende del sistema de tratamiento a emplear, siendo de modo habitual 120:10:1.

5.2.1.4 pH del suelo.

Afecta significativamente en la actividad microbiana. El crecimiento de la mayor parte de los microorganismos es máximo dentro de un intervalo de pH situado entre 6 y 8. Asimismo, el pH también afecta directamente en la solubilidad del fósforo y en el transporte de metales pesados en el suelo. La acidificación o la reducción del pH en el suelo se puede realizar adicionando azufre o compuestos del azufre.

5.2.1.5 Humedad.

Los microorganismos requieren unas condiciones mínimas de humedad para su crecimiento. El agua forma parte del protoplasma bacteriano y sirve como medio de transporte a través del cual los compuestos orgánicos y nutrientes son movilizados hasta el interior de las células.

Un exceso de humedad inhibirá el crecimiento bacteriano al reducir la concentración de oxígeno en el suelo. El rango varía en función de la técnica.

5.2.1.6 Estructura química del hidrocarburo.

La inherente biodegradabilidad de un hidrocarburo depende, en gran medida, de su estructura molecular. Siendo los parámetros que más van a afectar la halogenación, la existencia de ramificaciones, la baja solubilidad en el agua y la diferente carga atómica.

5.2.1.7 Ventajas e inconvenientes de la biodegradación.

5.2.1.7.1 Ventajas.

- Generalmente solo origina cambios físicos menores sobre el medio, con lo que resulta una técnica de bajo impacto ambiental.
- Cuando se usa correctamente no produce efectos adversos significativos en la biota local del medio contaminado.
- Ofrece una solución más sencilla y completa que las tecnologías mecánicas, y resulta menos costosa que éstas tecnologías.

5.2.1.7.2 Inconvenientes.

- Para muchos tipos de vertidos su efectividad no ha sido determinada, y en general es poco eficiente con compuestos pesados.
- Su aplicación en el mar reviste una elevada dificultad y en general no es viable debido a la inestabilidad del medio.
- El tiempo necesario para la actuación de los microorganismos es largo

Remediación de derrames en el Golfo de México.

- Su implementación es específica para cada lugar contaminado, tanto en lo referente al tipo de microorganismos empleados como a las técnicas de enriquecimiento nutricional y técnicas de aplicación.
- Su optimización requiere información sustancial acerca del lugar contaminado y las características del vertido, por lo que generalmente no es una técnica de aplicación inmediata.

5.3 BIODEGRADACION.

La biodegradación consiste en la conversión microbiológica de los hidrocarburos de petróleo a dióxido de carbono y agua. Generalmente, ocurre en la interfaz petróleo-agua y puede verse limitada por la disponibilidad de oxígeno, humedad y nutrientes, especialmente el nitrógeno y el fósforo. La tasa de biodegradación es una función de la temperatura.

5.4 BIORREMEDIACIÓN.

La biodegradación consiste en la conversión microbiológica de los hidrocarburos de petróleo a dióxido de carbono y agua. Generalmente, ocurre en la interfaz petróleo-agua y puede verse limitada por la disponibilidad de oxígeno, humedad y nutrientes, especialmente el nitrógeno y el fósforo. La tasa de biodegradación es una función de la temperatura.

La biorremediación es la aceleración de la conversión microbiológica de los hidrocarburos de petróleo a dióxido de carbono y agua. Generalmente, esto ocurre mediante la aplicación de constituyentes donde los organismos son metabólicamente limitados. En muchas de las costas marinas los constituyentes limitadores son el nitrógeno y el fósforo, que pueden ser aplicados en forma de fertilizantes.

En los climas templados, la biorremediación generalmente funciona mejor durante el verano, si hay suficiente humedad.

La baja temperatura ambiental no excluye necesariamente la biorremediación. Se ha registrado actividad a temperaturas tan bajas como -2°C y sí ocurre biodegradación en zonas árticas en los meses de verano.

En la mayoría de los casos, pueden ser necesarias otras formas de tratamiento antes de agregar los nutrientes, con el fin de alcanzar las tasas esperadas de mejoramiento del suelo.

En muchas partes del mundo hay bacterias nativas capaces de degradar el petróleo. En general, no se recomienda el uso de productos con bacterias y enzimas no nativas por no ser necesarios y por la posibilidad de que sean perjudiciales.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

La biorremediación se diferencia de la biodegradación dado que la segunda es un proceso natural mediante el cual las bacterias u otros microorganismos alteran y convierten moléculas orgánicas en otras sustancias.

La decisión de utilizar la biorremediación se debe basar en la clase del petróleo derramado, el tipo de la costa marina afectada, y la jurisdicción política.

5.4.1 Bioestimulación.

5.4.1.1 Técnica Empleada.

La Bioestimulación consiste en la provisión activa de cantidades suficientes de oxígeno y nutrientes para mantener a los microorganismos responsables de la degradación de forma que estos puedan continuar proliferando y desarrollando el proceso de biodegradación. Es el método de biorremediación más estudiado, y actualmente se presenta como el de más factible aplicación para la mayoría de vertidos.

Generalmente, los litorales más porosos (de arena, grava, bolos y cantos rodados) poseen cantidades muy limitadas de carbono disponible, por lo que éste constituye un recurso limitante, de manera que la introducción de hidrocarburos durante un derrame facilita la proliferación de microorganismos.

Con concentraciones bajas (según las investigaciones se ha estimado provisionalmente como menores a 1g de hidrocarburos por Kg. de sedimento), la disponibilidad de oxígeno, así como las concentraciones ambientales de nitrógeno y fósforo, suelen de ser suficientes para permitir que el proceso de degradación de los hidrocarburos se produzca con rapidez. Sin embargo, con elevadas concentraciones de hidrocarburos, la actividad biológica reduce rápidamente los niveles de oxígeno y nutrientes, que se convierten en recursos limitantes del crecimiento microbiano, y este es inhibido.

5.4.2 Adición de nutrientes.

Se aplican nutrientes en la zona litoral con la finalidad de mantener concentraciones suficientes.

Una relación aceptada generalmente entre carbono, nitrógeno y fósforo es :N:P=120:10:1.

El proceso de biodegradación se produce en la interfaz entre las moléculas de hidrocarburos y el agua. Por tanto, los nutrientes han de encontrarse disponibles en forma soluble entre las partículas individuales de sedimento que conforman el litoral.

Remediación de derrames en el Golfo de México.

Se han realizado pruebas de diversos métodos de aplicación que incluyen fertilizantes líquidos y fertilizantes agrícolas de tipo comercial, que pueden obtenerse de forma inmediata y aplicarse fácilmente. También se han probado formas sólidas de liberación lenta, como briquetas, pero han de poseer la densidad suficiente y estar bien ligadas con elementos de amarre para evitar la abrasión física y una disolución rápida a causa de la acción del oleaje y las mareas.

5.4.3 Aireación.

La carencia de oxígeno puede producirse cuando la permeabilidad de los sedimentos del litoral no es suficiente para permitir que el oxígeno acceda a los microorganismos. En ciertos casos, puede ocurrir que la presencia de los hidrocarburos reduzca por sí misma la permeabilidad, al obstruir los espacios intersticiales de los sedimentos.

En estos casos, a fin de mantener las condiciones aeróbicas que favorecen la biodegradación del hidrocarburo, es necesario perturbar físicamente los sedimentos para facilitar la entrada de oxígeno, mediante rastrillado o arado realizados de forma periódica, bien de forma manual o mediante fresadora.

No obstante, ciertos sistemas ambientales son especialmente sensibles a cualquier tipo de intromisión física. En general, en estos lugares se impiden los métodos convencionales de limpieza del litoral o se restringen duramente, por lo que se debe considerar la perturbación física con objeto de ventilación únicamente si, y siempre en la medida en que, no se cause perjuicio al medio ambiente. Además, cuando se están moviendo o perturbando materiales en cualquier litoral, debe procurarse no enterrar los hidrocarburos aún más dentro del sedimento.

5.4.4 Bioaumentación.

5.4.4.1 Técnica Empleada.

Esta tecnología se utiliza cuando se requiere el tratamiento inmediato de un sitio contaminado, o cuando la microflora autóctona es insuficiente en número o capacidad degradadora. Consiste en la adición de microorganismos vivos, que tengan la capacidad para degradar el contaminante en cuestión, para promover su biodegradación o su biotransformación. La bioaumentación puede realizarse sembrando las áreas afectadas con microorganismos petroleolíticos autóctonos o alóctonos, pero en ambos casos se deben añadir nutrientes auxiliares (N, P y Fe) para favorecer el desarrollo de las especies, ya que el medio marino es deficitario en éstos y se deben equilibrar las proporciones de carbono que implica un vertido de petróleo. El tamaño del inóculo a utilizar, depende del tamaño de la zona contaminada, de la dispersión de los contaminantes y de la velocidad de crecimiento de los microorganismos degradadores.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

La ventaja de la adición de microorganismos alóctonos es que éstos son seleccionados de entre los organismos con mayor poder de degradación del petróleo. En la **Tabla 1** se puede contemplar una lista de las especies capaces de degradar diferentes fracciones del petróleo.

5.4.4.2 Limitaciones.

A fin de prevenir las posibles alteraciones a los equilibrios ecológicos que frecuentemente supone la introducción en un determinado sistema de organismos foráneos, el uso de estos microorganismos se realizará siempre bajo las siguientes condiciones:

- Los microorganismos introducidos no son fotosintéticos y requieren carbono orgánico para sobrevivir.
- No pueden sobrevivir como parásitos de otros organismos, sino únicamente como saprófitos.
- No forman esporas o cualquier otra forma de resistencia.

Por otra parte, antes de llevar a cabo la bioaumentación en un sitio, deben realizarse cultivos de enriquecimiento, aislar microorganismos capaces de metabolizar o utilizar el contaminante como fuente de carbono, y cultivarlos hasta obtener grandes cantidades de biomasa.

Esta tecnología puede durar varios meses o años, su utilización no implica mucho capital ni costos de operación.

5.4.5 Fitorremediación.

5.4.5.1 Técnica Empleada.

Este es el proceso de utilizar el crecimiento de las plantas para acelerar la biodegradación natural de los hidrocarburos. Los hidrocarburos que se encuentran infiltrados en el terreno son, o bien transformados en el proceso de crecimiento de las plantas, o bien asimilados y metabolizados por la propia vegetación.

Esta técnica puede ofrecer buenos resultados en los derrames que afectan a zonas frágiles como marismas o saladares, donde el tratamiento posible se reduce a una limpieza suave con técnicas poco agresivas. Se puede potenciar el proceso estimulando el crecimiento de las plantas existentes mediante la adición de fertilizantes, o bien mediante la introducción de plantas nuevas, procurando que sean autóctonas de la zona afectada.

En algunos casos, la restauración del crecimiento vegetal tiene el beneficio añadido de prevenir o reducir al mínimo los efectos perjudiciales de la erosión.

Remediación de derrames en el Golfo de México.

Los mecanismos por los que actúa la fitorremediación incluyen la rizodegradación, la fitoextracción, la fitodegradación y la fitoestabilización.

5.4.5.1.1 Rizodegradación.

Este proceso se lleva a cabo en el suelo que rodea a las raíces. Las sustancias excretadas naturalmente por éstas, suministran nutrientes para los microorganismos, mejorando así su actividad biológica.

5.4.5.1.2 Fitoextracción.

Durante la fitoextracción, los contaminantes son captados por las raíces (fitoacumulación), y posteriormente éstos son traslocados y/o acumulados hacia los tallos y hojas (fitoextracción).

5.4.5.1.3 Fitodegradación.

La fitodegradación consiste en el metabolismo de contaminantes dentro de los tejidos de la planta, a través de enzimas que catalizan su degradación.

5.4.5.1.4 Fitoestabilización.

Las plantas limitan la movilidad y biodisponibilidad de los contaminantes en el suelo, debido a la producción en las raíces de compuestos químicos que pueden adsorber y/o formar complejos con los contaminantes, inmovilizándolos así en la interfase raíces-suelo.

5.4.5.2 Limitaciones.

Existen varias limitaciones que deben considerarse para su aplicación:

- El tipo de plantas utilizado determina la profundidad a tratar, ya que el tratamiento del terreno contaminado sólo se produce en la zona en que la planta arraiga.
- Altas concentraciones de hidrocarburos pueden resultar tóxicas para el vegetal, por lo que generalmente se requiere una retirada previa de los grandes volúmenes de contaminante.
- La eficiencia del proceso y su viabilidad puede depender de la estación del año.
- Esta técnica no es efectiva para tratar contaminantes fuertemente sorbidos al sedimento.
- La toxicidad y biodisponibilidad de los productos de la degradación no siempre se conocen, y pueden movilizarse o bioacumularse en animales.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

5.5 TRATAMIENTO DE COSTAS.

El objetivo del tratamiento de costas marinas es acelerar las operaciones de recuperación en las costas contaminadas con petróleo, tratando así, al mismo tiempo reducir el impacto de las operaciones de tratamiento, ya que las costas son zonas valiosas de descanso y reproducción de aves migratorias y residentes, así como de organismos marinos.

La selección de alguna técnica se basa como en cualquier acción marítima, en factores, entre ellos:

- Cantidad y tipo de petróleo derramado.
- Tipo de costa marina.
- Susceptibilidad ambiental o cultural.
- Logística.
- Generación de materiales de desecho/residuos.
- Consideraciones sobre seguridad industrial.
- Condiciones oceanográficas y meteorológicas predominantes.
- Requisitos reglamentarios.

5.5.1 Tratamiento de diversos tipos de costas marinas.

El tratamiento de cada costa es distinto, sus características lo requieren para evitar que el tratamiento genere mayor daño que el mismo contaminante, por esto se considera el tipo de costa a tratar y los diferentes métodos para éstas, en la Tabla 5.1, se consideran los métodos más viables para las costas.

TIPO DE PLAYA.	MÉTODOS.
Marismas.	<p>Incluyen zonas de hierba y juncos que sólo en ocasiones se cubren por los pleamares. La vegetación intercepta y retiene al petróleo con facilidad es útil para evitar su dispersión, todo indica que un marisma se puede recuperar bien de un derrame, sólo con algunos petróleos, cantidades y ciertos factores que benefician esta recuperación que es posible si los derrames no son constantes ya que ésta es lenta.</p> <p>Se recomienda no usar dispersantes ya que el daño que generan es mayor que el producido por el derrame, químicamente por el uso del dispersante.</p> <p>La quema con lanzallamas e vegetación seca contaminado ha dado buen resultado siempre y cuando no sea primavera, en la fase de crecimiento de las plantas. El mejor método que se puede usar en este caso es la recogida mecánica, es decir, a mano o con herramientas sutiles, como rastrillos finos de horticultor.</p>

Remediación de derrames en el Golfo de México.

Cañaveras y juncas.	Se consideran un subgrupo de tierras pantanosas. El medio más eficaz para este tipo de playas es la corta y retirada a fines de verano u otoño, con poco éxito en la quema, pero el método vetado será la aplicación de dispersantes. Se debe evitar el uso de maquinaria e incluso que lo pisoteen los hombres.
Manglares.	Son zonas tropicales y subtropicales. Son zonas muy productoras para los seres vivos de todas clases y naturalmente muy difíciles de limpiar del petróleo. Debe hacerse el mayor esfuerzo para evitar que se contaminen, es decir, el uso de barreras debe ser primordial, ya que si estas zonas se contaminan no habrá nada que hacer, pues cualquier método será más perjudicial que la recuperación natural.
Tundra.	Son regiones muy al norte susceptibles de sufrir tanto ecológica como biológicamente. Con el crecimiento de oleoductos y transporte de hidrocarburos se han vuelto zonas de riesgo de contaminación así en costas como en tierra. Se recomienda el uso de la recogida mecánica. Los dispersantes y la quema se deben limitar a zonas permanentemente heladas debido al riesgo inherente a estas técnicas, además el uso de maquinaria pesada que requieren estos métodos se ve limitado por las circunstancias. Considerando que el deshielo aumenta con la mancha de petróleo.
Fangales.	Los fangales son cubiertos habitualmente por cada marea, si esta zona se cubre de petróleo pueden suceder dos eventos: el uno es que el petróleo se retire con la marea y el otro es que este sea dirigido a otra zona causando mayor daño. Para esta zona se supone que tienen a la mano cantidades suficientes de tierra seca, piedra caliza en polvo, arena o algo para su distribución uniforme en las zonas afectadas. En caso de petróleos pesados se usa la recogida mecánica rascando la capa superior, cuidando las deformaciones o cambios del perfil de un fangal, ya que estos pueden afectar los movimientos de marea y tener a largo plazo movimientos deletéreos. Si el fangal presenta poca vida marina y la limpieza es necesaria, se pueden usar ciertos dispersantes, pero si presenta alta vida marina y aún más, si se lleva a cabo la pesca, no será posible el uso de éstos, puesto que causa menor daño el petróleo que algún dispersante. De ser posible es mejor no intentar la limpieza.
Arena.	Este tipo de playa mayormente es de uso turístico, en el caso de un derrame, lo recomendable es no hacer nada, ya que en un tiempo de seis a ocho semanas ésta se verá recuperada. De no ser posible el desuso de la playa, se recomienda enterrar el petróleo lejos de la línea de pleamar, cuando sea posible su limpieza el método más recomendado es la recogida mecánica, y el uso de rastrillos con paja enhebrada. Si la playa tiene la posibilidad de acceso a maquinaria pesada, se recomienda utilizar una explanadora para llevar la arena contaminada hasta la línea de marea entrante, al entrar la marea aplicar algún dispersante para producir el máximo efecto de limpieza, esto no es beneficioso si la marea regresa la arena contaminada o si el derrame no ha sido controlado, este tratamiento de ser continuo afectará gravemente. Si se usara el dispersante solo, sin el efecto de la marea, la mezcla petróleo-dispersante será absorbida por el subsuelo de la playa.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

	generando así un efecto de arenas movedizas, esto representa un daño a largo plazo y el aumento del coste.
Pedregal.	Las playas pedregosas con difíciles de limpiar, ya que el petróleo se filtra a través de la formación alcanzando una profundidad considerable. Se puede utilizar el método de la quema de petróleo, siendo lo más apropiado el uso de dispersantes y rociándola seguidamente de fuertes chorros de agua, dejando hacer al mar el resto, este proceso deberá de repetirse con varias mareas, a medida que la rocas muestren todas las superficies manchadas, se debe abstener de usar este método si las mareas no se hacen presentes. Si el pedregal fue contaminado con un petróleo pesado es mejor retirar la capa superior de la playa. Una playa pedregosa se limpia por la acción de las olas y siempre será mejor evitar cualquier tipo de limpieza.
Rocas y acantilados.	En este tipo de playas es posible utilizar lanzallamas más no es deseable, es posible tratarlo de mejor manera con tratamiento de vapor o lavado con agua caliente. Los depósitos o bolas de petróleo se pueden quitar con el raspado, la mejor manera de limpiarlo es rociándolo con detergentes y pasar mangueras a chorro potente. El uso de dispersantes dañan a los pequeños seres que habitan en las charcas de las rocas o que se adhieren a estas formaciones, es preferible no llevar a cabo ningún método de limpieza, a no ser muy necesario.
Arrecifes de coral.	Los arrecifes de coral son susceptibles a sufrir daños, por los dispersante y por el petróleo dispersado; el petróleo en la superficie no entrara en contacto con el coral deberá dejarse sin tratamiento, como no sea la recogida de la contaminación gruesa por medios mecánicos.
Hielo y nieve.	Los derrames petroleros se pueden presentar en lugares donde el mar este cubierto de hielo, en estos casos, la velocidad del ataque bacterial se reduce significativamente comparado con las bacterias de un clima templado, con lo que el petróleo puede durar mucho más tiempo. Con la llegada de las estaciones de calor, el petróleo se hace menos viscoso empezando a fluir con riesgo de contaminar zonas litorales. Lo mejor es tratar el petróleo durante los meses de invierno, recomendando el uso de quema de petróleo, y la retirada mecánica.

Tabla 5.1. Tratamientos a diferentes tipos de costa.

5.5.2 Remediación natural.

La recuperación natural es una técnica de tratamiento para las costas marinas que permite que un sitio se recupere sin intervención o intromisión. Dadas las circunstancias apropiadas, todos los tipos de costas afectadas por cantidades pequeñas o no persistentes de petróleo se pueden recuperar de forma natural. Para determinar las consecuencias probables de dejar que el petróleo se degrade, es importante evaluar la contaminación y los recursos amenazados. Las costas se deben vigilar para asegurarse que la recuperación se esté llevando a cabo.

La recuperación natural puede considerarse apropiada cuando:

Remediación de derrames en el Golfo de México.

- La contaminación ha ocurrido en playas de alta energía (principalmente playas de guijarros, cantos rodados y roca) donde la acción de las olas retira la mayor parte del petróleo en un tiempo relativamente corto.
- Las costas marinas son remotas o inaccesibles.
- El tratamiento o limpieza del petróleo que ha alcanzado la costa puede causar más daño que si se deja que la costa se recupere de forma natural.
- Otras técnicas de respuesta no aceleran la recuperación natural, o no es práctico utilizarlas.

La recuperación natural puede no considerarse apropiada cuando:

- El derrame pone en riesgo recursos ecológicos importantes o amenaza las actividades o los recursos de las personas.
- El petróleo derramado que ha llegado a las playas puede cambiar de sitio y contaminar o volver a contaminar recursos adyacentes o zonas limpias de la playa.

Los posibles efectos de la recuperación natural incluyen:

- La recuperación de áreas susceptibles puede tomar un largo tiempo.
- El petróleo puede perjudicar la vegetación y los organismos (por ahogamiento y/o toxicidad).

5.5.3 Técnicas de tratamiento físico.

Generalmente estas técnicas se usan para retirar petróleo derramado que llega a la costa en zonas de marea cuando la remediación natural no tiene una respuesta aceptable.

Los tratamientos físicos más comunes en costas son:

5.5.3.1 Aplicación de absorbentes.

Descripción.

Los absorbentes se aplican de forma manual para empapar los petróleos no pegajosos que han alcanzado la costa. Los pompones se colocan en la zona de marea como medio pasivo para recoger petróleos viscosos (pegajosos).

Aplicación.

Usarlos en todo tipo de costas para recoger pequeñas acumulaciones de petróleo.

Posibles efectos adversos.

El tráfico peatonal puede alterar los sedimentos y afectar los organismos.

Las aves y pequeños mamíferos pueden ingerir las partículas de absorbentes si se dejan sin recoger.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

5.5.3.2 Recolección manual de materiales contaminados con petróleo.

Descripción.

Los sedimentos y escombros contaminados con petróleo derramado se pueden retirar a mano o con palas, rastrillos, etc.

Aplicación.

Usar este método en el lodo, la arena, la gravilla y los guijarros cuando la contaminación por petróleo derramado es leve, esporádica y/o en o cerca de la superficie de las playas o en playas donde no hay acceso para equipo pesado.

Posibles efectos adversos.

Este método puede alterar o retirar el sedimento y los organismos que se entierran superficialmente.

5.5.3.3 Raspado manual.

Descripción.

El petróleo se raspa manualmente del substrato utilizando herramientas manuales.

Aplicación.

Usar esta técnica en cantos rodados, rocas y estructuras de construcción sólida levemente contaminadas, o en acumulaciones grandes donde otros métodos no son permitidos o no son prácticos.

Posibles efectos adversos.

Este método puede alterar el sedimento y retirar o causar daño a los organismos.

El petróleo no recogido puede causarles daño a los organismos que están repoblando el substrato rocoso o habitando los sedimentos en la parte baja de las actividades de limpieza.

5.5.3.4 Corte de vegetación.

Descripción.

La vegetación contaminada con el petróleo derramado se corta a mano, se recoge y se coloca en bolsas o recipientes adecuados para su eliminación.

Aplicación.

Usar esta técnica en vegetación contaminada con petróleo derramado.

Posibles efectos adversos.

Este método puede alterar y retirar el sedimento y los organismos. El tráfico peatonal intenso puede dañar las raíces y retrasar la recuperación. Puede causar erosión por la pérdida de la vegetación.

Remediación de derrames en el Golfo de México.

5.5.3.5 Lavado con agua fría a baja presión.

Descripción.

La aspersión de agua a baja presión retira el petróleo del sustrato y lo canaliza hacia los puntos de recogida. [La presión de la boquilla se mantiene por debajo de los 100 psi (690 kPa)] (Figura 5.1).

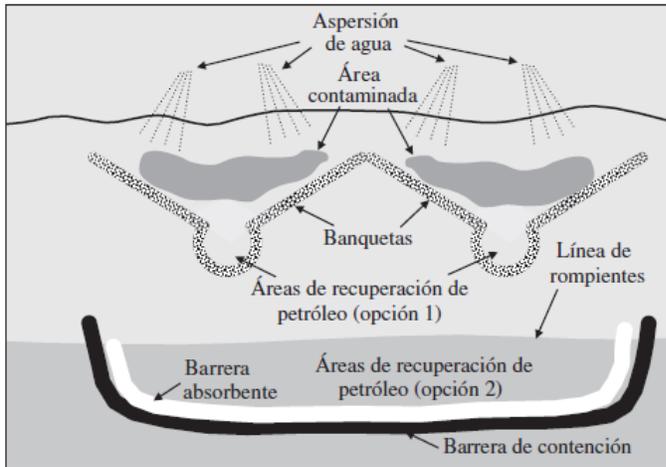


Figura 5.1. Lavado con agua a baja presión.

Aplicación.

Usar esta técnica para lavar el petróleo del lodo, guijarros, cantos rodados, roca, estructuras de construcción sólida y de la vegetación.

Posibles efectos adversos.

Si el petróleo no es contenido y recogido, puede crear un potencial de nueva contaminación y alterar los organismos en la parte baja de las operaciones de limpieza.

5.5.3.6 Lavado con agua tibia a baja presión/ inundación con agua fría.

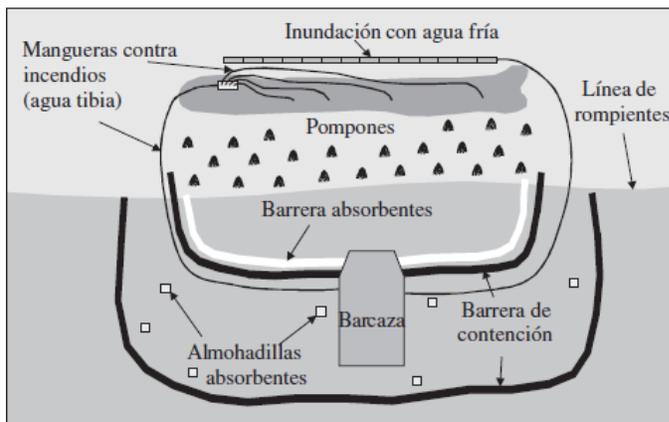


Figura 5.2. Lavado con agua tibia a baja presión/inundación con agua fría.

Descripción.

El agua de mar calentada ablanda el petróleo degradado; la inundación con agua fría mueve el petróleo suelto hacia el agua adyacente, donde puede ser recogido. Estas dos técnicas se pueden aplicar juntas o por separado (Figura 5.2).

Aplicación.

Usar esta técnica de lavado para concentraciones altas de petróleo degradado y pegajoso que ha alcanzado las costas marinas protegidas o de moderada energía, compuestas de roca, guijarros y gravilla.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Posibles efectos adversos.

Esta técnica puede causarles daño a los organismos de zonas de marea. Las altas presiones de boquilla pueden ocasionar erosiones localizadas.

5.5.3.7 Lavado a alta presión.

Descripción.

Las corrientes de agua fría o tibia a presión alta retiran el petróleo del sustrato y lo canalizan hacia las áreas de recogida.

Aplicación.

Usar esta técnica para retirar el petróleo de cantos rodados, rocas y estructuras de construcción sólida.

Posibles efectos adversos.

Esta técnica puede retirar algunos organismos y conchas del sustrato. Puede alterar la superficie del sustrato y lavar el petróleo hacia los sedimentos del subsuelo y organismos de la parte baja de la pendiente.

5.5.3.8 Limpieza al vapor.

Descripción.

El vapor despega el petróleo del sustrato. Luego, se canaliza el petróleo hacia las áreas de recuperación (Figura 5.3).

Aplicación.

Usar esta técnica para retirar la capa de petróleo depositada en cantos rodados, rocas y estructuras de construcción sólida. Establecer una zona de exclusión.

Posibles efectos adversos.

Es probable el retiro y mortalidad de algunos organismos. El petróleo no recuperado puede afectar los organismos en la parte baja de la pendiente de los sitios donde se están llevando a cabo actividades de tratamiento.



Figura 5.3. Máquina limpiadora a vapor.

5.5.3.9 Limpieza con chorro de arena.



Descripción.

La arena a velocidad alta (chorro) retira el petróleo del sustrato (Figura 5.4).

Aplicación.

Usar esta técnica para retirar los residuos de petróleo derramado de las estructuras de construcción sólida y otras superficies duras. Establecer una zona de exclusión.

Posibles efectos adversos

Puede retirar los organismos y las conchas del sustrato y dejar la superficie limpia y estéril. Puede afectar los organismos de la parte baja de la pendiente. Agrega arena al medio ambiente con posibilidad de nueva contaminación, erosión y la penetración del petróleo a mayores profundidades.

Figura 5.4. Unidad de limpieza con chorro de arena.

5.5.3.10 Sistema de vacío.

Descripción.

El camión o la unidad portátil de vacío se sitúan cerca de charcos de petróleo o sitio de recuperación donde el petróleo es recogido con una manguera de vacío.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Aplicación.

Usar esta técnica para retirar acumulaciones de petróleo en el agua cuando no hay “skimmers” y para recuperar el petróleo en charcos que se acumula en hendiduras naturales en todos los tipos de costas marinas (excepto en las áreas que no son accesibles por estar cubiertas de vegetación, y otras). Éste no es un procedimiento seguro para la recuperación de gasolina.

Posibles efectos adversos.

Esta técnica puede retirar algunos organismos vivos. Vigilar que no haya acumulación de vapores.

5.5.3.11 Bomba de sumidero/sistema de vacío.

Descripción.

El petróleo fluye hacia un sumidero donde es recogido y de allí es retirado por bombas o unidades de vacío.

Aplicación.

Usar esta técnica en arena firme o playas con lodo que se contaminan constantemente.

Posibles efectos adversos.

Esta técnica puede desplazar organismos debido a la excavación de un sumidero de 2 – 4 pies (0,6– 1,2 metros). Vigilar que no haya acumulación de vapores.

5.5.3.12 Limpiador de playas.

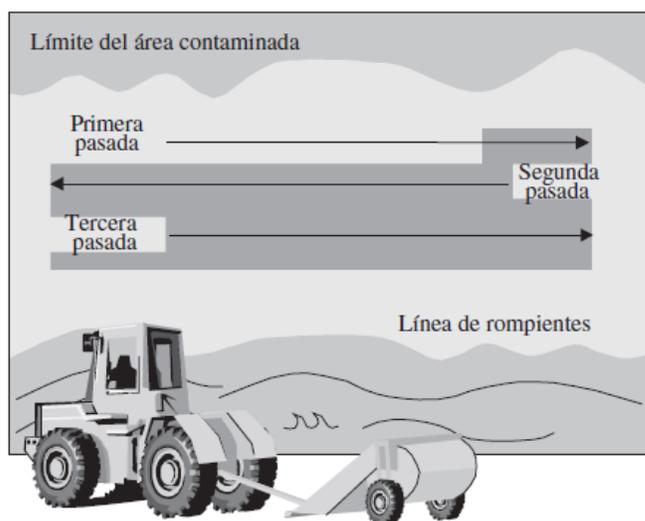


Figura 5.5 Patrón de tratamiento del limpiador de playas.

Descripción.

Puede ser de propulsión automática o arrastrado por un tractor en la playa, donde se recogen bolas de alquitrán (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Aplicación.

Usarlo en playas de arena o gravilla levemente contaminadas con petróleo derramado (bolas de alquitrán).

Posibles efectos adversos.

Este método puede alterar el sedimento superior y los organismos que se entierran superficialmente.

Remediación de derrames en el Golfo de México.

5.5.3.13 Mezcla de sedimentos altamente contaminados con petróleo con tractor o aparato disgregador de suelo.

Descripción.

Un tractor equipado con aparato disgregador de suelos o dientes se pasa a lo largo de la playa, hacia arriba y hacia abajo (para no retirar los sedimentos, reduciendo así la erosión) para facilitar los procesos de evaporación y degradación natural que se dan en las costas marinas (Figura 5.6).

Aplicación.

Usar esta técnica en áreas “pavimentadas” de contaminación gruesa por petróleo derramado en la superficie, sobre playas de guijarros, gravilla y arena. Usar también en playas de recreación con pocos servicios o cuando la recogida del substrato puede causar erosión.

Posibles efectos adversos.

Este método puede alterar el sedimento y los organismos que se entierran tanto superficialmente como a mayor profundidad.

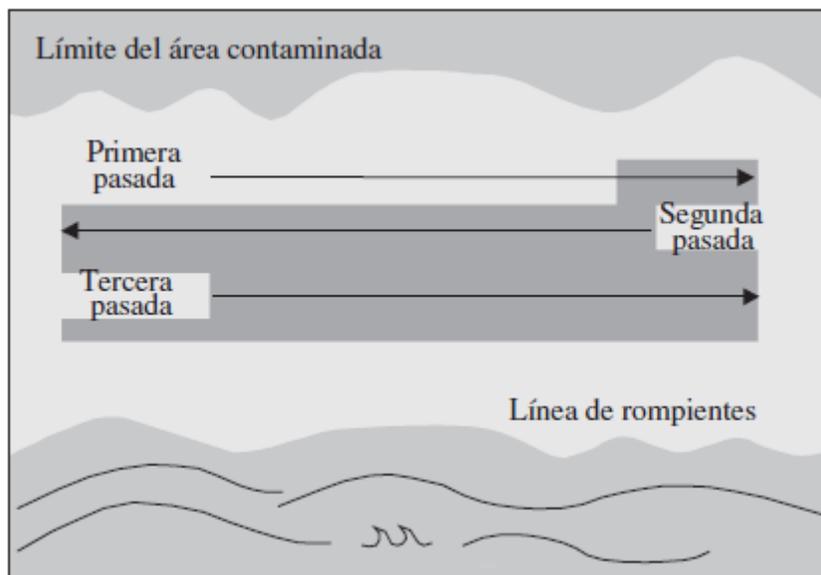


Figura 5.6. Patrón de tratamiento del tractor/aparato disgregador de suelos.

5.5.3.14 Mezcla de sedimentos levemente contaminados con petróleo, rastrillo de discos.

Descripción.

El tractor arrastra el rastrillo de discos a lo largo del área contaminada para facilitar los procesos de evaporación y degradación natural que se dan en las costas marinas (Figura 5.7).

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Aplicación.

Usar esta técnica en playas no recreativas de arena y gravilla, levemente contaminadas con petróleo derramado.

Posibles efectos adversos.

Este método puede alterar el sustrato de la superficie y los organismos que se entierran superficialmente.

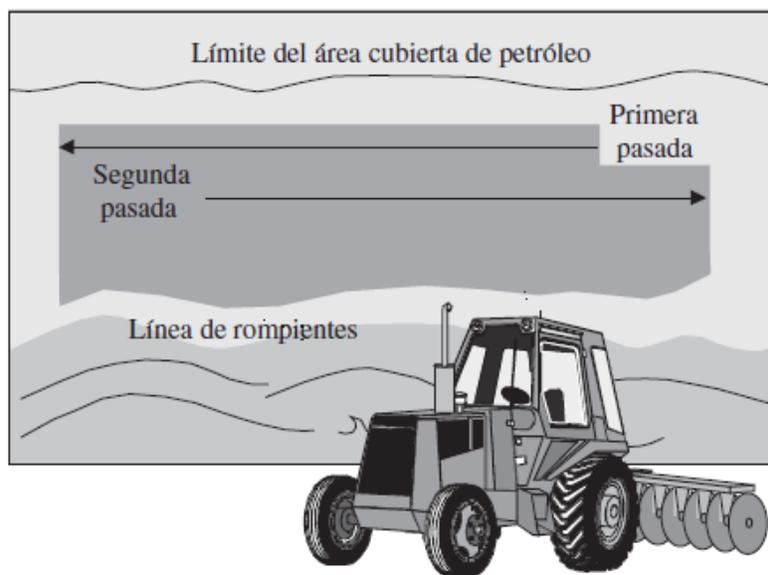


Figura 5.7. Patrón de tratamiento del rastrillo de discos.

5.5.3.15 Lavado de oleaje/Bulldozer.

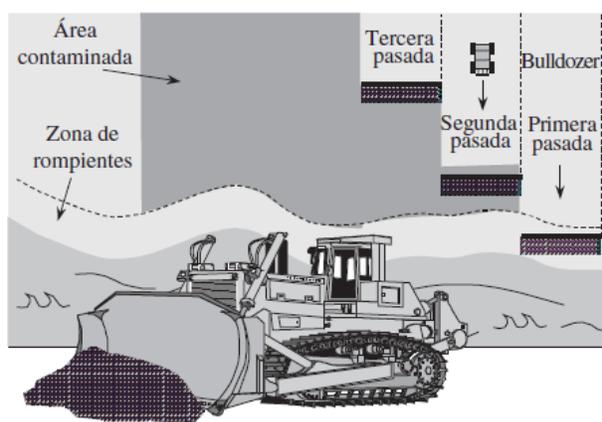


Figura 5.8. Patrón de tratamiento del Bulldozer.

Descripción.

El equipo mecánico empuja los substratos contaminados con petróleo derramado hacia la zona de rompientes (oleaje) con el fin de acelerar el tratamiento de limpieza natural con un mínimo de erosión (Figura 5.8).

Aplicación.

Remediación de derrames en el Golfo de México.

Usar esta técnica en playas de gravilla y guijarros donde es un problema la erosión de la playa o de la parte de la playa que ordinariamente está seca o sólo se moja por las mareas grandes.

Posibles efectos adversos.

Deja petróleo en la zona de la marea (con posibilidad de nueva contaminación) y puede alterar la capa superior del substrato. A causa de una profundidad de corte menos certero y el empuje de sedimentos, una mezcla significativa de sedimentos es probable.

5.5.3.16 Tratamiento de limpieza mecánica de superficie, raspador elevador.

Descripción.

El raspador elevador recoge el material contaminado con petróleo directamente de la playa (Figura 5.9).

Aplicación.

Usar para recoger el petróleo de la superficie, así como las bolas de alquitrán de las playas de arena y gravilla.

Posibles efectos adversos.

Puede perturbar los sedimentos superiores (< 1 pulgada/2,5 cm), así como los organismos que se entierran tanto superficialmente como a mayor profundidad. Una reducción menor en la estabilidad de la playa puede conducir a su erosión y retroceso.

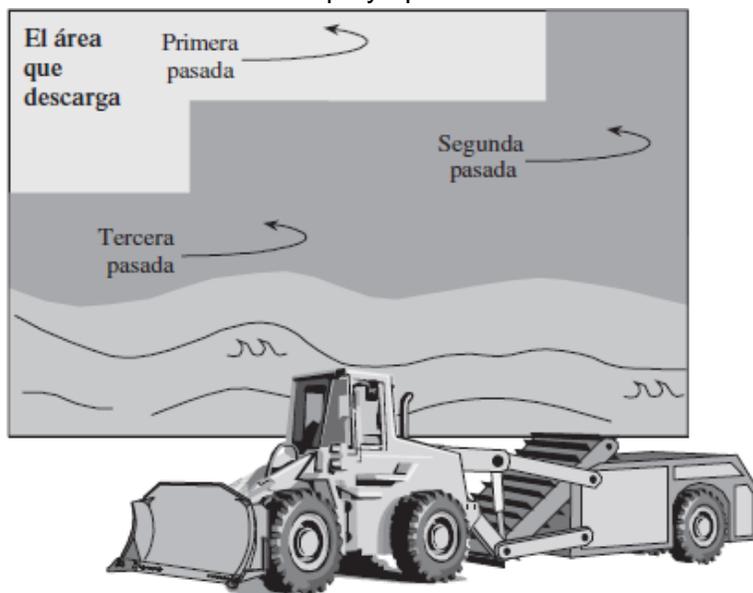


Figura 5.9. Patrón de tratamiento del raspador elevador.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

5.5.3.17 Tratamiento de remoción mecánica de sedimentos, combinación de motonivelador/ raspador.

Descripción.

La motoniveladora forma bandas o surcos que son recogidos por un raspador elevador (Figura 5.10).

Aplicación.

Usar esta combinación para recoger el petróleo de la superficie en playas de arenas densas con buenas condiciones para el tráfico.

Posibles efectos adversos.

Puede alterar los sedimentos superiores de la playa hasta 6 pulgadas (15 cm) o mayor y a los organismos que se entierran a poca profundidad. Puede retirar material limpio.

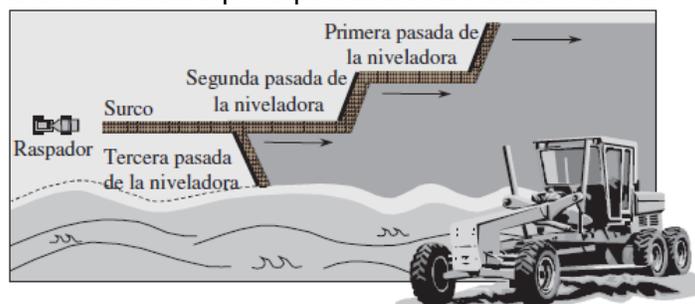


Figura 5.10. Patrón de tratamiento de la combinación motoniveladora/raspador elevador.

5.5.3.18 Tratamiento de remoción mecánica de sedimentos- cargador delantero (montacargas).

Descripción.

Los cargadores delanteros (montacargas) recogen el material directamente de la playa y lo llevan a una zona de descarga. Primera opción: con llantas de goma, segunda opción: cargadores tipo oruga (Figura 5.11).

Aplicación.

Usar en playas de lodo duro, arena dura, gravilla y (especialmente) de guijarros, con contaminación leve o moderada por petróleo derramado, donde la penetración del petróleo pasa de 1 pulgada (2,5 cm), así como en vegetación con alto grado de contaminación. La profundidad de corte es ~ 6 pulgadas (15 cm).

Posibles efectos adversos.

Este método puede retirar el sedimento y los organismos que se entierran tanto superficialmente como a mayor profundidad. Una reducción en la estabilidad de la playa puede conducir a su erosión y retroceso.

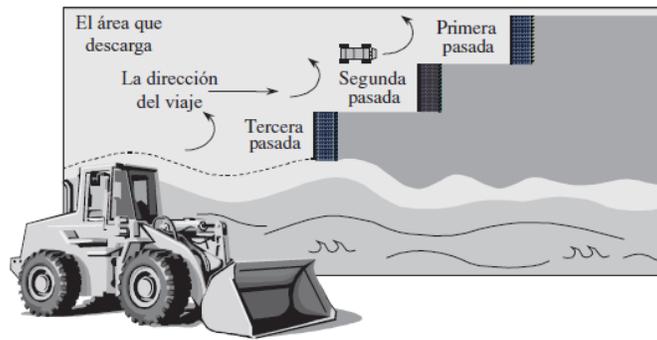


Figura 5.11. Patrón de tratamiento del cargador delantero (montacargas).

5.5.3.19 Tratamiento de remoción mecánica de sedimentos-Combinación de motoniveladora y cargador delantero.

Descripción.

La motoniveladora forma surcos que son recogidos por el cargador delantero (montacargas) (Figura 5.12).

Aplicación.

Usar esta técnica para recoger el petróleo de la superficie en playas de arena densas.

Posibles efectos adversos.

Puede retirar los organismos que se entierran a poca profundidad. Puede retirar material limpio con una profundidad de 6 pulgadas (15 cm) o mayor.

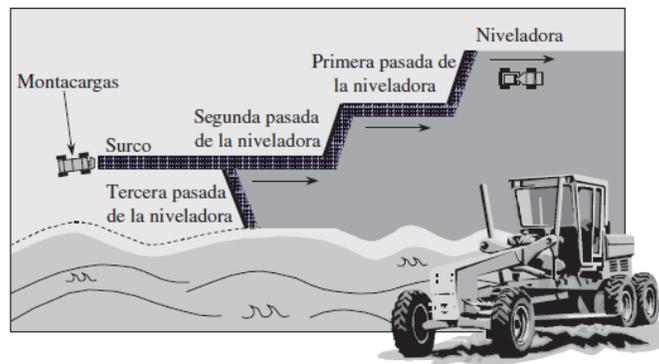


Figura 5.12. Patrón de tratamiento de la combinación motonivelador/cargador delantero (montacargas).

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

5.5.3.20 Tratamiento de remoción mecánica de sedimentos –Combinación de bulldozer y cargador delantero (llantas de goma).

Descripción.

El bulldozer empuja y apila los substratos contaminados para recogerlos con el cargador delantero (montacargas) (Figura 5.13).

Aplicación.

Usar esta técnica en playas llanas de arena gruesa, gravilla y guijarros, con alta contaminación por petróleo derramado y condiciones difíciles de tráfico.

Posibles efectos adversos.

Retira de 6 a 20 pulgadas (15–50 cm) de playa y organismos. Puede ocasionar erosión y retirada de acantilados o playas, al igual que la inundación de la parte de la playa que ordinariamente está seca o sólo se moja durante condiciones extremas.

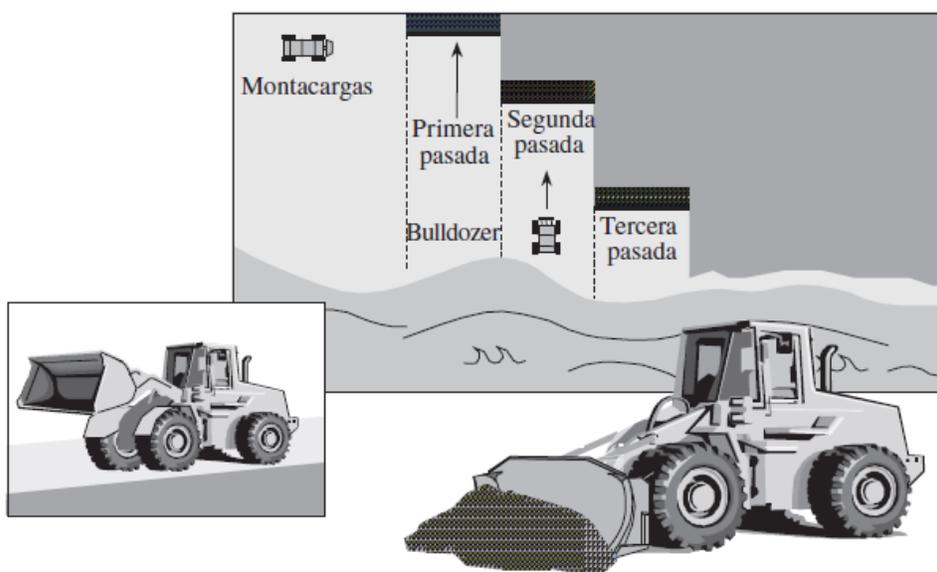


Figura 5.13. Patrón de tratamiento de la combinación bulldozer/cargador delantero (montacargas).

5.5.3.21 Tratamiento de remoción mecánica de sedimentos, retroexcavadora.

Descripción.

Se trabaja desde la parte alta de un banco de arena o playa y desde la orilla del mar para retirar los sedimentos contaminados de petróleo derramado y cargarlos en un camión (Figura 5.14).

Remediación de derrames en el Golfo de México.

Aplicación.

Usar esta técnica para retirar material contaminado con petróleo derramado, incluyendo escombros y troncos.

Posibles efectos adversos.

Retira de 6 a 20 pulgadas (15–50 cm) de playa y organismos. Puede provocar una condición de estabilidad disminuida en la playa, así como su retroceso.

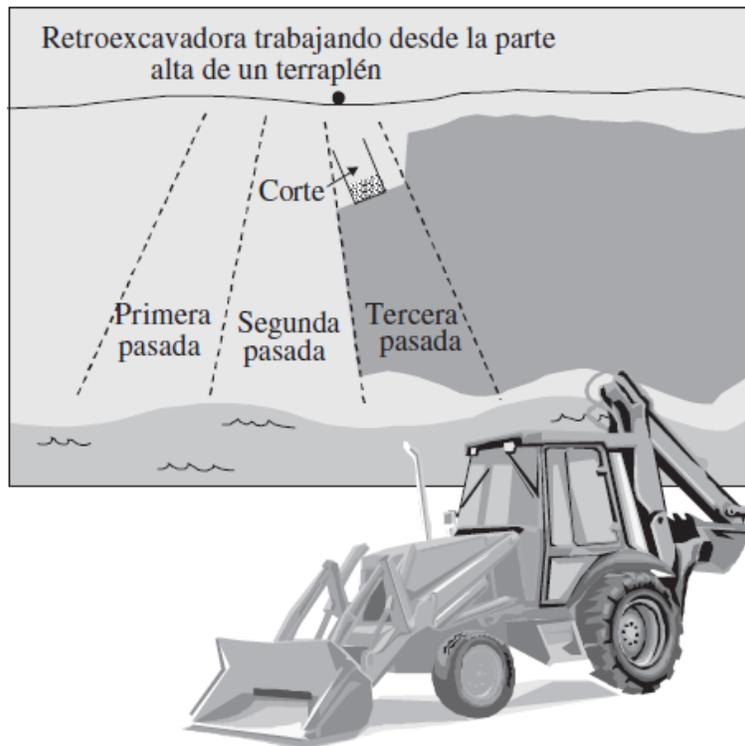


Figura 5.14. Patrón de tratamiento de la retroexcavadora con cubo delantero.

5.5.4 Quema del producto derramado.

Esta práctica de llevar a cabo la quema del petróleo derramado, es comúnmente llevada a cabo en derrames o contaminaciones pequeñas en costas.

Se debe de tomar el cuenta, la reglamentación del área a tratar, el tipo de petróleo a quemar, la erosión que genera en el área a tratar, la vegetación afectada, el retiro de cualquier residuo generado, contemplar que si la quema no es satisfactoria considerar otro método apropiado y crucialmente el beneficio o afectación de este método.

Por lo regular se da en los casos de:

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

- Eliminación pronta del petróleo para evitar su dispersión o migración a un área más compleja o susceptible.
- Disminución de desechos contaminados con petróleo especialmente cuando las opciones de transporte o eliminación son limitadas.
- Como técnica final de recogida, cuando los demás métodos comienzan a ser invasivos o pierden efectividad.

La quema del petróleo que contamina las costas es un técnica importante en aguas poco profundas, sustratos blnados o donde el acceso es limitado.

Las condiciones óptimas para llevar a cabo esta práctica son:

- Que el derrame de crudo sea fresco, y/o que éste sea liviano.
- Viento tranquilo.
- Sitios alejados de la población, o poco poblados.
- Vegetación principalmente herbácea (campos, tierras cultivadas, Ciénegas).
- Vegetación inactiva (que no está en la acción de crecimiento activo).
- Zonas sin vegetación.
- Tierras pantanosas con una capa de agua que cubre el sustrato.
- Cuando nieve y hielo ofrecen una contención natural y protección del sustrato.

Este método se lleva a cabo con lanzallamas, los disponibles en el mercado son de propano, keroseno y gasolina, se debe contar con un equipo contra incendio de ser que la quema se salga de control, como son los carros pequeños contra incendios o bombas portátiles con boquillas (Figura 5.15).

Los óptimos agentes para una quema satisfactoria es la gasolina gelatinosa, el combustible diesel, materiales inflamables como trapos empapados de diésel, astillas de madera, hierbas entre otros.

Esquemáticamente la forma de llevar a cabo la quema es:

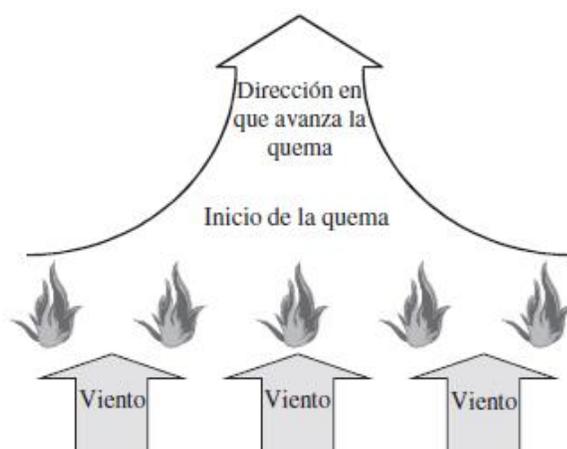


Figura 5.15. Forma de iniciar una quema de producto derramado.

Remediación de derrames en el Golfo de México.

5.5.5 Biorremediación.

En general la biorremediación se usa como paso final después de terminar el tratamiento convencional de las costas marinas o en sitios donde otras formas de tratamiento no son posibles.

En casos donde la contaminación de la superficie es alta o moderada, es recomendable que primero se lleve a cabo el lavado de la costa marina con agua o con sustancias químicas, o la recogida masiva de petróleo.

Para casos en donde la contaminación sea leve, como para petróleo en el subsuelo, se puede considerar la remediación sin necesidad de hacer ningún tratamiento previo.

El petróleo que se presente como “mousse” o bolas de alquitrán debe ser recogido manualmente o mecánicamente antes de intentar la biorremediación.

El adecuado suministro de nutrientes es un gran desafío, para que estos no generen problemas en su aplicación, que sean aplicados en cantidades excesivas y no sean retirados por la acción de las mareas, la erosión de las playas o por el agua de los sistemas mecánicos de riego. Por esta razón, no es recomendable la aplicación de nutrientes en alta mar.

La información disponible indica que, si las pautas de aplicación se siguen, los riesgos ambientales asociados con la biorremediación son insignificantes.

La preocupación por la toxicidad a la biota en la columna de agua y en las costas marinas se relaciona básicamente con la concentración de amoníaco.

El amoníaco no es un problema cuando los nutrientes se aplican de forma correcta.

Hay que vigilar cualquier crecimiento de algas por el aumento del nivel de nutrientes, especialmente en playas con un flujo natural deficiente.

5.5.6 Métodos químicos de tratamiento.

Los productos químicos de tratamiento, pueden aumentar la eficiencia de lavado con agua en las costas marinas, diques/rompeolas y muelles contaminados con petróleo derramado.

Los productos en el mercado disponibles, son agentes limpiadores químicos, como el Corexit 9580 y agentes dispersantes como el Corexit 9500, fabricados por Nalco Chemical Co. Para el uso de estos productos se necesita la inclusión en la normatividad del país en que se usarán.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

5.6 RESCATE Y REHABILITACIÓN DE LA FAUNA.

En el rescate y rehabilitación de la fauna se debe de priorizar en la seguridad de los trabajadores, y coordinarse con las agencias apropiadas y organizaciones con experiencia en rehabilitación de animales.

Ante un derrame significativo de petróleo, se debe establecer contacto con las agencias gubernamentales, para mermar el derrame y para la protección y rescate de la fauna que pueda verse afectada.

El método más efectivo para la protección de la fauna es minimizar su exposición al petróleo en la superficie, por lo tanto es de suma importancia el minimizar, controlar la fuente de aporte a éste, y evitar a toda costa la dispersión del petróleo derramado con el fin de reducir la contaminación de especies y/o hábitats, potencialmente afectados. El uso de agentes dispersantes, quema in-situ de producto derramado, barreras de protección y trabajos de recuperación mecánica puede ayudar a disminuir la cantidad de petróleo que puede afectar la fauna.

La técnica de disuación e intimidación hacia la fauna es un método que consiste en alejar a la fauna del derrame de petróleo, esta técnica se debe planificar y llevar a cabo con mucho cuidado porque los animales asustados pueden huir a otras zonas contaminadas, se debe de llevar a cabo en cooperación con las agencias reguladoras responsables de la fauna, especialmente cuando se trata de especies en riesgo y en vía de extinción. La técnica de intimidación de los animales incluye:

- Hacer ruidos, incluso usar pirotécnicos, disparos o proyectiles con rifles o pistolas, trompetas de aire, equipo motorizado, y grabaciones de ruidos para espantar a las aves.
- Colocar en las playas contaminadas dispositivos para asustar aves, como el despliegue de cinta, globos inflados con helio y espantapájaros (con efigies humanas o de animales de rapiña).
- Reunir a los animales en manada, utilizando aeronaves, botes y otros vehículos.
- Intimidarlos con la presencia humana.

Los programas de disuasión deben considerar los efectos potenciales de la actividad humana y de la perturbación de hábitats y especies susceptibles. En lo posible, se debe evitar perturbar las zonas de reproducción.

5.6.1 Efectos del petróleo derramado sobre las aves.

Los efectos del petróleo derramado sobre las aves se deben más a las propiedades físicas del petróleo que a su toxicidad. Los productos derivados del petróleo y el petróleo penetran fácilmente en las plumas y destruyen su poder de aislamiento y de repeler el agua. La pérdida del aislamiento por contaminación de las plumas es crítica en los ambientes fríos porque puede conducir a hipotermia, una posible causa de muerte en el

Remediación de derrames en el Golfo de México.

animal expuesto. Las aves pueden ser afectadas también por las propiedades químicas irritantes de algunos materiales que afectan a los ojos, la piel y el sistema digestivo. Muchos componentes del petróleo son tóxicos para los huevos, lo cual, en época de anidación, puede ser un problema significativo en los derrames cercanos a criaderos.

El tratamiento, al encontrar aves afectadas por el petróleo se debe de tomar en cuenta:

- El cuidado al tratar de capturar aves contaminadas, ya que se sienten amenazadas, en especial, las de gran volumen como las garzas, los somorgujos y cormoranes, ya que éstos pueden atacar y causar graves lesiones en la cara o manos de los rescatistas.
- Es más efectivo llevar a cabo la captura de aves en tierra, ya que en los botes, éstas fácilmente esquivan a los rescatistas.
- Usar el equipo adecuado de protección, como lentes, casco, botas y antideslizantes.
- Usar como menesteres de captura una red, una toalla o una sábana.
- Las aves capturadas se deben mantener por debajo del nivel de la cintura.
- Se debe de dar consideración prioritaria a las zonas de anidación durante la estación de apareamiento.

El tratamiento más particular de aves contaminadas se puede consultar en el "Rehabilitation Manual for Oiled Birds." U.S. Fish and Wildlife Service [Servicio Federal de Peces y Fauna de los EE.UU.]. Best Practices for Migratory Bird Care During Oil Spill Response [Mejores prácticas para el cuidado de aves migratorias durante respuesta a derrames de petróleo]. Division of Environmental Quality [División de Calidad Medioambiental]. Arlington, VA.

5.6.2 Efectos del petróleo derramado sobre mamíferos.

Algunos grupos de mamíferos son más vulnerables que otros a los derrames de petróleo. En las ballenas, delfines y manatíes no se espera un efecto significativo porque su aislante es a propia grasa y el tejido fibroso. Sin embargo, los mamíferos marinos como las nutrias de mar y algunas especies de focas cuyo aislante depende del pelo pueden estar en peligro. El petróleo en la piel puede trastornar las propiedades aislantes del pelo y ser especialmente peligrosos en las focas jóvenes de las colonias de procreación.

Si se encuentran mamíferos contaminados con petróleo derramado, se deben tener en cuenta las siguientes normas:

- La captura de mamíferos en peligro de extinción puede ser una actividad muy arriesgada y sólo se debe llevar a cabo por personal experimentado.
- Una vez capturados, los mamíferos contaminados por petróleo derramado se deben manejar únicamente por especialistas en fauna salvaje o personal representante de las agencias gubernamentales.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

5.6.3 Tratamiento de la fauna.

Las políticas relacionadas con la captura y limpieza de la fauna varían según el país. La captura, limpieza y cuidado de la fauna requiere procedimientos muy especializados. Para apoyar un programa de rescate y rehabilitación y dirigir los trabajadores con menos experiencia, se deben utilizar los servicios de especialistas en el tratamiento de la fauna.

5.7 RESPUESTA A DERRAMES EN ZONAS FRÍAS.

La temperatura baja puede afectar la eficiencia y efectividad del equipo y del personal, alterando la respuesta a derrames en zonas de baja temperatura. La presencia de hielo puede modificar notablemente las decisiones de respuesta que se utilizarían en climas cálidos.

La salud y la seguridad industrial son necesarias para las personas que llevarán a cabo la respuesta a estos acontecimientos, es por eso que se recomienda que tengan el equipo adecuado para su trabajo y se sigan las indicaciones y recomendaciones, para evitar quemadas por frío o helada e hipotermia.

En ambientes fríos:

- Aumenta la probabilidad de resbalones, tropezones y caídas,.
- El periodo de luz diurna disminuye en invierno, se deben ajustar horarios para el trabajo.
- En costa afuera, el hielo es dinámico.
- Se debe capacitar a todos los trabajadores para reconocer los síntomas de la hipotermia y quema por frío o helada.
- Las instalaciones médicas por lo regular se encuentran lejos.
- Las temperaturas bajas reducen la tasa de emisiones volátiles, es decir, los gases, como los vapores de benceno o el sulfuro de hidrógeno pueden persistir por más tiempo de lo normal. Por lo tanto se debe tener especial cuidado para evitar los riesgos de explosión o fuego.

5.7.1 Efectos de las temperaturas bajas en el petróleo.

Las temperaturas bajas afectan los hidrocarburos de forma que tienen implicación en las operaciones de respuesta:

- Los petróleos con altos puntos de fluidez pueden solidificarse en el frío, lo que afecta las estrategias de respuesta. En determinadas condiciones, la solidificación puede facilitar la recuperación en tierra o agua.
- La viscosidad del petróleo aumenta a temperaturas bajas y dificulta la recuperación, la quema y la dispersión de ciertos aceites.
- La pérdida de los componentes livianos (degradación climática) ocurre lentamente a temperaturas bajas.

Remediación de derrames en el Golfo de México.

- La tasa de evaporación a 5°C [41°F] es aproximadamente un tercio de la que se tiene a 30°C [86°F].
- Los fenómenos que dependen de la degradación climática, tales como la emulsificación y la formación de bolas de alquitrán, pueden tomar más tiempo en ocurrir.
- La recuperación biológica en las costas puede ser más lenta, aunque muchos organismos crecen bien a temperaturas cercanas a la congelación.
- La biodegradación ocurre a una tasa algo más lenta en comparación con condiciones más templadas donde el movimiento de las mareas está presente.
- Cuando las costas marinas se solidifican por congelación es probable que se detenga la biodegradación.

5.7.2 Factores ambientales que afectan la respuesta en regiones frías.

Los factores ambientales únicos que se encuentran en estas zonas pueden tener efectos positivos y negativos en cuanto a las estrategias y tácticas de respuesta.

5.7.2.1 Influencias positivas en la respuesta.

- Las temperaturas bajas retardan el proceso de degradación climática de forma que los petróleos pueden permanecer durante más tiempo aptos para el tratamiento por recuperación, quema o dispersión.
- Los petróleos fríos y viscosos se esparcen más lentamente y permiten tiempo adicional para la respuesta.
- La congelación puede facilitar las labores de respuesta al ofrecer una plataforma de trabajo sólida, reducir la movilidad del aceite y ofrecer bajo el hielo un almacenaje natural para el petróleo.
- La nieve y el hielo pueden utilizarse para detener el movimiento del petróleo. La nieve tiene también un efecto absorbente.
- El agua llega o se acerca a su punto de mayor densidad, de modo que los petróleos más pesados tienen menos tendencia a hundirse.
- En las regiones del Ártico hay menor incidencia de hábitats altamente susceptibles, tales como esteros mareales y ciénagas marinas. Las épocas vulnerables y susceptibles son típicamente más cortas que en zonas templadas y tropicales. Por lo tanto, el planeamiento de las estrategias de protección debe ser más directo.
- El hielo permanente adherido a la tierra ocasiona anualmente impactos importantes en las comunidades biológicas en zonas de marea. En los sitios donde hay hielo permanente adherido a la tierra no son tan preocupantes los impactos adversos de un derrame de petróleo sobre las comunidades de las zonas de marea.
- El hielo permanente adherido a la tierra puede proteger la costa marina de la contaminación por petróleo derramado.
- El hielo puede limitar la penetración del petróleo en las playas.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

5.7.2.2 *Influencias negativas en la respuesta.*

- La recuperación del petróleo puede ser más difícil en aguas dinámicas cargadas de hielo debido a las limitaciones de acceso y problemas de seguridad.
- Después de su uso, hay que secar completamente los equipos como bombas, brazos de aspersión y boquillas para minimizar el agua residual que puede congelarse ocasionando daños o limitando su uso.
- La diversidad de la biota marina en las regiones frías es menor que en las regiones templadas. La recolonización puede tardar más en los ambientes árticos que en las zonas templadas o tropicales.
- El manejo de los equipos, especialmente el de los “skimmers” se hace más difícil cuando hay hielo roto.
- En general, la infraestructura es pobre y las carreteras escasas. El transporte de los equipos puede convertirse en un desafío considerable.
- Los témpanos dinámicos de hielo pueden causar daños a las barreras, las embarcaciones y los “skimmers”.
- La eliminación de los desechos contaminados puede complicarse en áreas remotas y susceptibles. Los residuos tendrán que ser transportados a largas distancias y para reducir los riesgos, la incineración local puede llegar a ser una alternativa interesante.
- Las estrategias de protección para las costas marinas pueden resultar imposibles en hielo roto o en presencia de témpanos grandes de hielo en movimiento.
- La salinidad del agua cargada de hielo puede variar notablemente. Esto debe tenerse en cuenta al seleccionar agentes dispersantes cuya efectividad depende de una mayor salinidad.

CONCLUSIONES.

Las actividades petroleras han crecido extraordinariamente debido a la exigencia de éste como principal generador de energía requiriendo cada vez más la extracción de este recurso, que es necesario para la vida moderna, pero que nos ha llevado a prácticas que generan contaminación de nuestro medio, sin recatar en los daños irreversibles que hemos generado.

El Golfo de México es una cuenca realmente prolífica en todos los sentidos, la explotación que se lleva a cabo en éste ha sido causa de su deterioro, aunando las actividades meramente pesqueras, turísticas y petroleras, se ha olvidado que es un eslabón importante para la supervivencia en general del ser humano, su contaminación no solo depende de la explotación petrolera, si no que recae también en actividades humanas comunes.

1. El Golfo de México es un ecosistema poco común en el mundo su ubicación geográfica es benéfica, ya que su producción en todos los sentidos es basta y ha servido como sustento, sea como recurso pesquero, turístico o petrolero.
2. Las cuencas en el Golfo de México son de las más productoras del mundo, lo que nos lleva a una explotación constante y amplia, que reta a la tecnología para poder extraer los recursos petroleros.
3. La biota del Golfo de México es basta, tanto las aves, mamíferos y peces, así como los moluscos, en general es un laboratorio biológico para el mundo.
4. La introducción de un contaminante, como lo es el petróleo, a cualquier ecosistema, tiene repercusiones bastante fuertes a la salud de los miembros de éste, debido a que la composición química del petróleo no es de fácil degradación, incluso, se ha demostrado que tiene efectos cancerígenos sobre los seres vivos.
5. Los derrames de petróleo afectan directamente al ambiente costero y ocasionan entre otras, interferencias en los procesos de los organismos afectados, tales como la fotosíntesis y la respiración, el ciclo reproductivo y el desarrollo normal de dichos organismos; adicionalmente provocan mortalidad, principalmente por asfixia, contacto e intoxicación.
6. El fitoplancton y el zooplancton son los primeros eslabones de la cadena trófica de los ecosistemas marinos, estos se alimentan principalmente de luz y oxígeno, sin estos la cadena trófica no puede producir y se genera un déficit de alimentación, creando así el desequilibrio del ecosistema.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

7. Aunque existan comunidades bentónicas sumamente adaptadas a los hidrocarburos que se vierten por emanaciones naturales, no quiere decir que la fauna se adaptara a un derrame de petróleo, ya que lo que afecta en estos casos es el tiempo que han tenido para la adaptación, y la cantidad de petróleo, que no es la misma, en una emanación natural es constante y en cantidades aceptables, y en un derrame, la cantidad es demasiada y el tiempo poco para que cualquier comunidad se pueda adaptar al cambio drástico.
8. La introducción de contaminación de petróleo en el medio marítimo mundial se debe al traslado de petróleo de su lugar de extracción al lugar de tratamiento con un porcentaje de alrededor del 33%.
9. En un derrame por encallamiento o choque de buque, se sabe cuánto se derrama y en un pozo descontrolado, solo se estima.
10. La mayoría de contaminación por hidrocarburos oceánica, no es por prácticas de exploración, explotación o producción de hidrocarburos, éstas vías de contaminación se les ha demostrado un bajo porcentaje alrededor del 14%.
11. Los derrames más representativos (El Pozo Ixtoc-I y el pozo Macondo) que se han suscitado en el Golfo de México, han sido por fallas humanas en la explotación de hidrocarburos, teniendo resultados devastadores a la fecha.
12. Los derrames de petróleo han generado gran impacto en los ecosistemas del Golfo de México, a pesar del tiempo, los efectos que se han observado son deletéreos.
13. La información del pozo Ixtoc-I no es de fácil acceso, con lo expuesto, se puede concluir un error humano, al suceder el derrame el plan de respuesta no estaba estudiado, y lo podemos notar ya que a raíz de este accidente la legislación mexicana cambió y se concientizó de la necesidad de un plan de contingencia, y creo así los organismos necesarios para el manejo de este tipo de accidentes.
14. El derrame del pozo Macondo, fue negligencia de parte del recurso humano. La cementación de un pozo petrolero es de suma importancia, ya que este es el sostén, la barrera entre el yacimiento y el ducto de a la superficie, en donde las presiones son cruciales para el buen funcionamiento.
15. Es necesario el conocimiento general de la zona del derrame, las corrientes, la profundidad, el ecosistema en general. Pues con estos datos daremos una idea de que puede suceder, el efecto que un derrame provocara en la zona, a donde se dirigirá, que temperatura favorece, la presión y así tener un oportuno plan de acción.

Conclusiones.

16. Los planes de contingencia deben siempre ser escritos para el caso en cuestión, dar a conocer a todo el personal que labora en cualquier instalación petrolera.
17. Donde hay energía de las olas y oxígeno, la luz del sol y las abundantes bacterias devoradoras de petróleo del Golfo, lo descomponen bastante rápido.
18. Los derrames que se suceden en un ambiente tropical son menos deletéreos ya que la biodegradación se presenta en un buen porcentaje. El derrame del buquetanque Exxon Valdez tuvo un gran impacto debido a la zona en la que encalló, una zona de muy bajas temperaturas y poco acceso, es decir, que el contenido derramado fue menor que el del Ixtoc-I, y su impacto fue de gran peso ya que el ecosistema se vio devastado.
19. Las técnicas de limpieza son bastas en cualquier caso, se puede elegir una tomando en cuenta el tipo de ecosistema a tratar, las condiciones de temperatura, salinidad, el petróleo derramado y su manejo.
20. Más allá de las técnicas de limpieza, lo correcto es considerar la prevención de la polución.
21. Nuestro país requiere un plan de investigación oceánica que maximice las oportunidades para coleccionar, administrar y analizar datos oceánicos, que contemple maneras de compartir recursos y que proporcione la información requerida para que los tomadores de decisiones utilicen bases científicas para el uso y la protección de nuestros mares.
22. No existe ningún programa de prevención que pueda aplicarse a todos los derrames, ya que las condiciones y necesidades varían demasiado en cada situación, como son, el origen, características geológicas y condiciones estacionales, entre otros aspectos técnicos, por lo que solo se puede hacer una guía general que pueda fungir como base para los programas de prevención:
 - Determinar las facilidades del manejo de hidrocarburos en el área.
 - Dar mantenimiento preventivo en énfasis en la inspección y prueba en todo género de equipos, destinados a la producción, almacenamiento y transportación de petróleo.
 - Desarrollar un programa apropiado para restaurar el medio ambiente en caso de derrame.
 - Preparación de un programa para el empleo efectivo de personas y equipo.

Considerar un equipo de personas especializadas para la contingencia y recuperación del petróleo en un derrame dado, el cual es elaborado con mayor eficiencia por aquellas personas que están en contacto directo con el área de estudio.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

23. México se enfrenta a una serie de oportunidades y amenazas para elaborar estrategias y políticas racionales para el uso sustentable de sus recursos.
24. Anualmente más de 3 millones y medio de toneladas de petróleo (casi el 0,1% de la Producción mundial) contaminan el medio marino.
25. Evitar la contaminación a como dé lugar de nuestro medio ambiente tiene que ser prioridad, en cualquier aspecto de nuestras prácticas, pues es fundamental para la vida, el uso de los hidrocarburos a la escala que se está llevando a cabo exige una producción en crecimiento. Para satisfacerlas es necesaria una praxis con ética y congruencia hacia el entorno.

ANEXOS

ANEXO I. Comparación de eras geológicas en el Golfo de México.

ESCALA DE TIEMPO		CRONOLOGÍA [años]	REGISTRO FÍSICO.	MOVIMIENTO OROGÉNICO.	REGISTRO BIOLÓGICO Y CLIMÁTICO.		
Época Holocena	Era Cenozoica	Período Cuaternario	0 a 10 000	Conformación de los litorales aproximada a la actual. Los glaciares quedan reducidos a pequeñas islas en las cumbres de las montañas.	CASCADIANO	Se retiran las grandes masas glaciares. El clima comienza a mejorar.	
		Época Pleistocena	10 000 a 60 000	Los glaciares cubrían grandes extensiones del hemisferio sur. Se levanta la Sierra Nevada de Santa Marta y otras sierras del occidente, y los continentes quedaron con grandes altitudes.		Dominio del hombre y de los grandes mamíferos. Hombre-mono. Plantas modernas e invertebrados marinos modernos. Climas fríos y cálidos fluctuantes. Glaciación.	
		Período Terciario	Época Pliocena	600 000 a 11 000		Comienza el levantamiento general de los continentes. Erupciones volcánicas. Surgen tierras que establecen la unión entre los continentes.	Abundantes mamíferos llegaron al estado final de su evolución. Monos antropoides. Invertebrados casi modernos. Las plantas revelan un ambiente seco y frío.
			Época Miocena	11 a 25 millones.		Se forman llanuras y sabanas. Bahías. Nuevos levantamientos en la Sierra Nevada de Santa Marta las montañas Rocosas. Corrientes de lava. Área del río Columbia.	Surgen y evolucionan rápidamente mamíferos herbívoros. Se extienden diversas especies de mastodontes por el hemisferio norte. Llegan elefantes a Norteamérica. Las plantas corresponden a climas templados.
			Época Oligocena	25 000 000 a 40 000 000		Puente de tierra entre Alaska y Siberia. Alguna formación de montañas.	Mamíferos modernos. Simios primitivos. Felinos de dientes de sable. Primeros elefantes. Las plantas indican un clima templado.
			Época Eocena	40 000 000 a 60 000 000		Ancho puente de tierra entre Norteamérica y Europa.	Mamíferos modernos; primeros caballos y primeras ballenas. Bosques subtropicales.
			Época Paleocena	60 000 000 a 70' 000.000		Culmina la orogenia laramiana en el occidente de Norteamérica.	Dominan los antiguos mamíferos. Aves modernas. Plantas subtropicales y de clima templado. Primeros primates.
	Período Cretácico	70 000 000 a 135' 000.000	La última gran extensión oceánica sobre los continentes fue seguida de la orogenia laramiana de las montañas rocosas. Estratos calcáreos. Continúa la intrusión y la orogenia en la costa occidental.	LARAMIANO	Gran brote evolucionario de las fanerógamas. Se extinguen gigantes reptiles terrestres y marinos. Últimas aves con dientes. Surgen los mamíferos placentarios. Insectos modernos. Desaparecen los cefalópodos amonites. Climahúmedo y cálido; frío al final del período.		
	Período Jurásico	135' 000.000 a 180' 000.000	Grandes extensiones de tierras bajas en los continentes por la restricción de los mares interiores. Formación de montañas y batolitos a lo largo de la costa occidental de Norteamérica.		NEVADIANO	Dinosaurios gigantes; grandes reptiles marinos. Coníferas, ginkgos, cicadáceas son las plantas dominantes. Insectos modernos. Cefalópodos amonites y belemnites. Primeras aves. Clima suave en muchas áreas	
	Período Triásico	180' 000.000 a 225' 000.000	Grandes altitudes en los continentes. Se extienden los desiertos. Se forman montañas en el oriente de Norteamérica.	Comienzan los dinosaurios y muchos reptiles marinos. Evolucionan los reptiles con caracteres de mamíferos. Coníferas gigantes. Primeros hexacorarios. Climas húmedos en diverso grado y climas áridos.			
	Era Paleozoica	Período Pérmico	225' 000.000 a 270' 000.000	Levantamientos continentales. Desaparece el geosinclinal del oriente. Termina la formación de los Apalaches.	APALACHIANO	Se diversifican los reptiles. Primeros reptiles semejantes a mamíferos. Se extinguen muchos grupos de invertebrados marinos, especialmente trilobites y los tetracoralarios. Climas cálidos con diversos grados de humedad o aridez. Glaciación en el hemisferio sur.	
		Período Pensilvánico	270' 000.000 a 330' 000.000	Se llenan grandes geosinclinales. Pantanos carboníferos. Mares interiores someros. Formación de montañas en los Apalaches.		Bosques pantanosos carboníferos. Anfibios comunes. Surgen los reptiles. Enormes insectos. Abundantes escorpiones y cucarachas. Fusulinidos abundantes. Clima cálido y húmedo.	
		Período Missisipiano	330' 000.000 a 350' 000.000	Mares interiores extensos. Comienza la formación de montañas. Comienzan a formarse los pantanos carboníferos		Se extienden los anfibios. Tiburones y peces óseos. Evolucionan los insectos alados y los amonites. Abundan los crinoideos. Grandes bosques en tierras bajas. Muchas regiones de clima cálido y húmedo.	
		Período Devónico	350' 000.000 a 400' 000.000	Formación de montañas en el nororiente de América. Se llenan algunos geosinclinales. Cuencas de agua dulce entre montañas. Grandes mares interiores.	ACADIANO	Dominan los peces. Primeros anfibios. Primeros insectos alados. Primeros bosques. Braquiópodos, corales y briozos en abundancia. Equinodermos blastoides dominantes. Regiones áridas; otras cálidas y húmedas.	
		Período Silúrico	400' 000.000 a 440' 000.000	Continentes relativamente llanos. Extensos mares interiores.		Euripitéridos dominantes. Abundantes tetracoralarios y corales tubulados. Peces con mandíbulas. Primeros foraminíferos calcáreos. Primeros animales de respiración atmosférica (escorpiones, miriápodos). Primeras planta terrestres. Clima suave.	
		Período Ordovícico	440' 000.000 a 500' 000.000	Continentes bajos. Gran inundación por aguas marinas someras. Formación de montañas en el oriente de Norteamérica.		Braquiópodos, briozoos, cefalópodos y trilobites en abundancia. Graptolites. Primeros vertebrados. Algas marinas. Clima suave.	
		Período Cámbrico	500' 000.000 a 600' 000.000	Comienza en Norteamérica la formación de importantes masas geosinclinales.		TACÓNICO	Invertebrados marinos y algas en abundancia. Trilobites dominantes. Arqueociátidos abundantes. Clima suave.
	EON CRIPTOZOICO	Eras Precámbricas	Superior	600' 000.000 a 1.700' 000.000	Geosinclinales. Intrusiones de granito. Actividad volcánica. Formación de montañas. Tierras bajas y desiertos.	GREENVILLE 1000000000 años	Bacterias, algas marinas, hongos, radiolarios, gusanos, esponjas. Climas desde cálido y húmedo hasta frío y seco
Medio			1.700' 000.000 a 2.600' 000.000	Formación de montañas e intrusión de granito. Depósito de hierro en Minnesota y Michigan. Glaciación.	PENOKEANO 1700000000 años ALGOMANO 2900000000 años	Primitivas formas de vida: algas verdeazuladas y hongos (Canadá), 1.770' 000.000 de años. Carbón (Rhodesia) en granito de 2.600' 000.000 de años. Grato y esquistos carbonáceos (Australia y Canadá).	
Inferior			2.600' 000.000 a 4.500' 000.000	Formación de montañas e intrusiones de granito. Corrientes de lava. Rocas sedimentarias.	LAURENTIANO		

Tabla comparativa de sucesos geológicos, generales y etapas de formación del Golfo de México, (Guerrero, 2013).

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

ERA	PERIODO SISTEMA	ÉPOCA SERIE	EDAD SUELO	EVENTOS RELEVANTES EN EL GOLFO DE MÉXICO	TIEMPO EN MILLONES DE AÑOS
CENOZOICA	CUATERNARIO	Holeoceno		Etapa de los procesos geológicos locales.	0.0117
		Pleistoceno	Tarantiense		0.126
			Ioniense		0.781
			Calabriense		1.806
			Gelasiense		2.588
	NEÓGENO	Plioceno	Piacenziense		3.6
			Zancleense		5.332
		Mioceno	Messiniense		7.246
			Tortonense		11.608
			Serravallense		13.82
			Langhiense	15.97	
			Burdigaliense	20.43	
			Arquitaniense	23.03	
		PALEÓGENO	Oligoceno	Chattiense	28.4
				Rupeliense	33.9
	Eoceno		Priaboniense	37.2	
			Bartoniense	40.4	
			Lutenciense	48.6	
			Ypresiense	55.8	
	Paleoceno		Thanetiense	58.7	
Selandiense			61.1		
MESOZOICO	CRETÁCICO	Superior/ Tardío	Daniense	65.5	
			Maastrichtiense	70.6	
			Campaniense	83.5	
			Santoniense	85.8	
			Coniaciense	88.6	
		Inferior/ Temprano	Turonense	93.6	
			Cenomaniense	99.6	
			Albiense	112	
			Aptiense	125	
			Barremiense	130	
	JURÁSICO	Superior/ Tardío	Hauteriviense	133.9	
			Valanginiense	140.2	
			Berriasiense	145.5	
		Medio	Tithoniense	150.8	
			Kimmeridgense	155.6	
			Oxfordiense	161.2	
			Calloviense	164.7	
		Inferior/ Temprano	Bathonense	167.7	
			Bajociense	171.6	
			Aaleniense	175.6	
TRIÁSICO	Inferior/ Temprano	Toarciense	183		
		Pliensbachiense	189.6		
		Sinemuriense	196.5		
		Hettangiense	199.6		
				Etapa de subsidencia post-laramídica.	28.4
				Etapa de subsidencia, enfriamiento y cambios relativos en el nivel del mar.	37.2
				Etapa de deformación Laramide	40.4
				Etapa de apertura del Golfo de México.	48.6
					55.8
					58.7
					61.1
					65.5
					70.6
					83.5
					85.8
					88.6
					93.6
					99.6
					112
					125
					130
					133.9
					140.2
					145.5
					150.8
					155.6
					161.2
					164.7
					167.7
					171.6
					175.6
					183
					189.6
					196.5
					199.6
					251

Tabla general de eras geológicas con registros físicos, biológicos y climáticos (Guerrero, 2013).

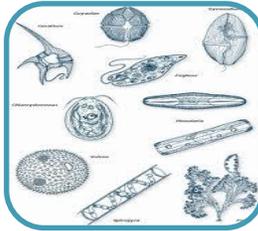
Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

ANEXO II. Cinco reinos.

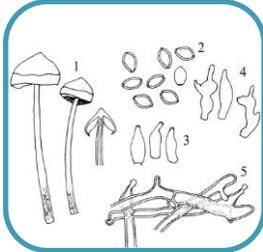
Cinco reinos.



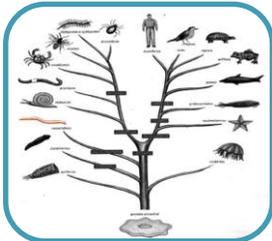
MONERA. Son todos procariontes, por tanto unicelulares. Presentan todo tipo de nutrición. Se reproducen asexualmente por bipartición, aunque hay formas muy primitivas de parasexualidad que son simples intercambios de material genético. Incluye a todas las bacterias. Son organismos unicelulares de organización procarionte. Todos son microscópicos (su tamaño oscila entre 1 y 10 μm). Este reino agrupa a las formas de vida celular más antiguas de la Tierra. Se encuentra en la mayoría de los ambientes y son los más abundantes de la Tierra.



PROTISTA. Son los eucariotas unicelulares y sus inmediatos descendientes pluricelulares, derivados evolutivamente de los primeros. Se pueden diferenciar de las plantas y los animales porque no presentan desarrollo embrionario y no desarrollan tejidos, y de los hongos porque poseen cilios y flagelos en alguna etapa de su vida. Incluye a los protozoos y a las algas.



FUNGI. Son eucariotas, en su mayoría pluricelulares y de nutrición heterótrofa por absorción (vierten enzimas al medio y absorben los nutrientes tras una digestión extracorporal). Se reproducen por esporas, sin desarrollo embrionario y carecen de cilios y flagelos en todas las etapas de su ciclo. Incluye mohos, setas, líquenes y organismos unicelulares como las levaduras.



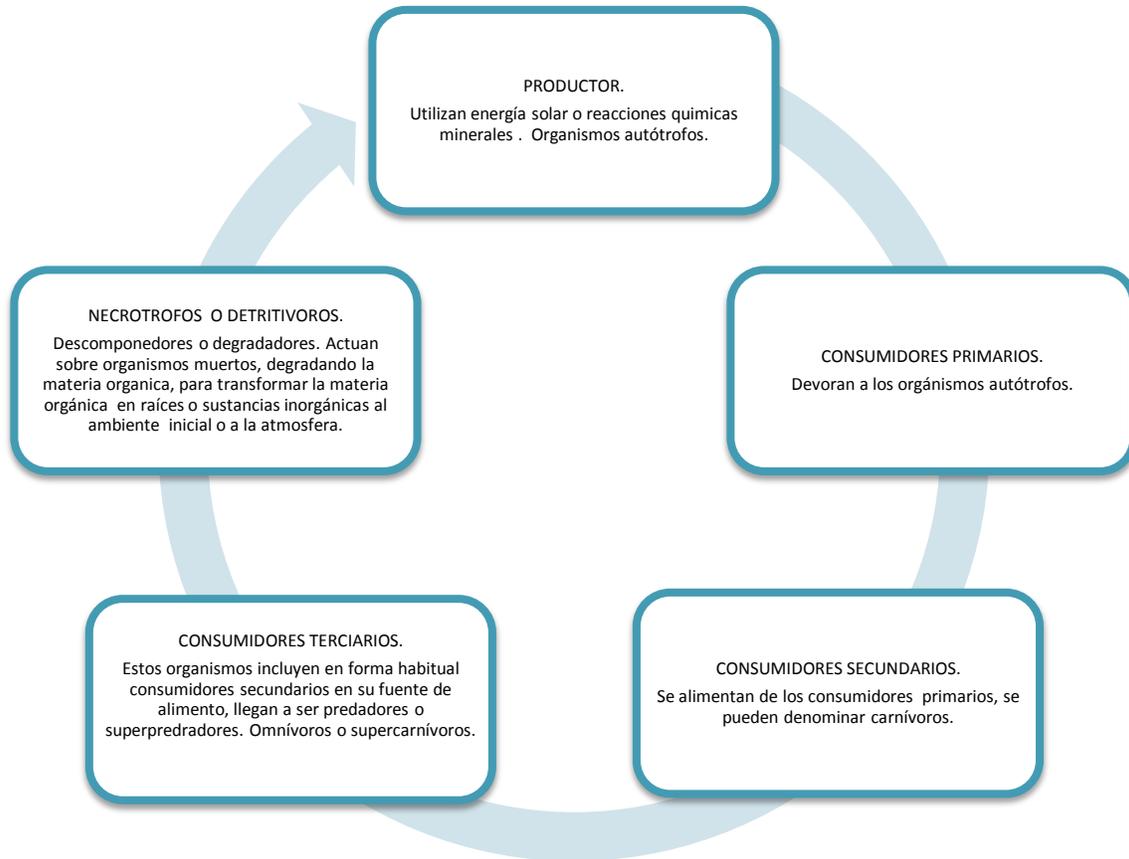
ANIMALIA. Son eucariotas pluricelulares, en su mayoría con tejidos, de nutrición heterótrofa (generalmente por ingestión) y con reproducción sexual a la que sigue un desarrollo embrionario. Incluye los organismos considerados tradicionalmente como animales pluricelulares.



PLANTAE. Son eucariotas pluricelulares, de nutrición autótrofa fotosintética y con reproducción sexual a la que sigue un desarrollo embrionario sencillo. Suelen presentar alternancia de generaciones (haploide/diploide) con dos tipos de reproducción (sexual y asexual). Incluye musgos, helechos y espermatofitas (gimnospermas y angiospermas).

Clasificación de organismos vivos propuesto por Robert Whittaker, 1959.

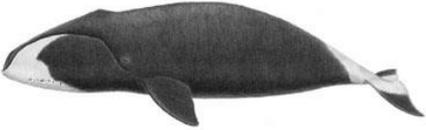
ANEXO III. Cadena trófica general.



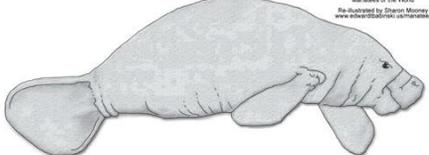
Generalidades de la cadena trófica, Guerrero, 2013.

ANEXOS.

ANEXO IV. Mamíferos representativos del Golfo de México.

FAMILIAS.	DESCRIPCIÓN.	
ORDEN DE CETACEA.		
Balaenidae	Son una familia de cetáceos misticetos que incluyen a los géneros: Balaena u Eubalaena.	
Balaenopteridae.	Ballena alada, conocidos comúnmente como rorcuales, son familias más abundantes y diversa de cetáceos misticetos, que incluyen, entre otros el rorcual azul u la yubarta.	
Physeteridae.	Son una familia de cetáceos odontocetos con tres especies actual en dos géneros, Physetes (cachalote) y Kogia, con numerosos géneros extintos.	
Kogidae.	Son una familia de cetáceos odontoceto que incluye dos especies viviente, el cachalote pigmeo y el enano, y tres especies extintas.	
Ziphiidae.	Son familias de cetáceos odontocetos conocidos como zifios. Se caracterizan por un hocico pronunciado. Se han descrito 21 especies, la etimología proviene. La etimología viene del griego xiphos (espada), y por ello, literalmente zifio significa ballena con nariz de espada.	

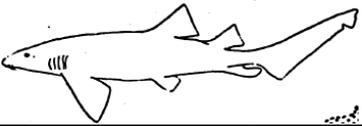
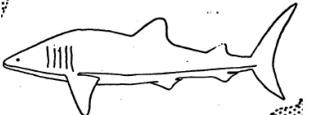
Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

<p>Delphinidae.</p>	<p>Llamados normalmente delfines oceánicos (a diferencia de los plantanistoideos o delfines del río) son una familia de cetáceos odontocetos bastante heterogénea bastante heterogénea, que abarcan alrededor de 34 especies.</p>	
<p>ORDEN CARNÍVORA.</p>		
<p>Phocidae.</p>	<p>Son una familia de mamíferos pinnípedos marinos adaptados a vivir en medios acuáticos la mayor parte del tiempo.</p>	
<p>ORDEN SIRENIA</p>		
<p>Trichechidae.</p>	<p>Son una familia de mamíferos placentarios, conocidos como manatíes o vacas marinas.</p>	<p>Amazonian Manatee</p>  <p><small>Based on: www.amazonspecies.com/2011/07/04/Amazonian-Manatee/ Re-illustrated by Sharon Moorey www.evolutionart.com/illustrations</small></p>

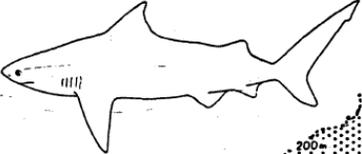
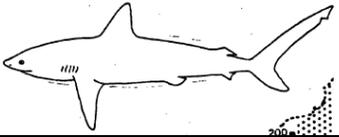
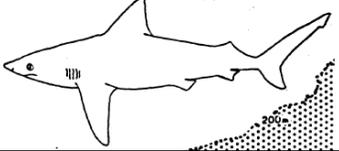
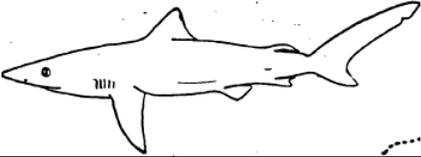
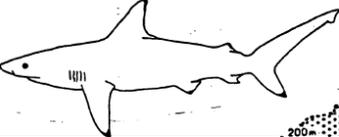
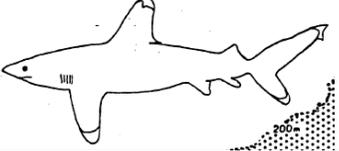
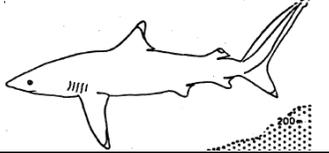
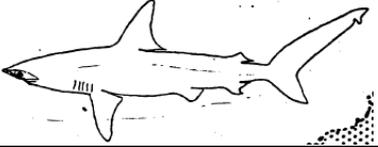
Especies de mamíferos mexicanos en el Golfo de México. (Torres et. al.; Julio, 1995).

ANEXOS.

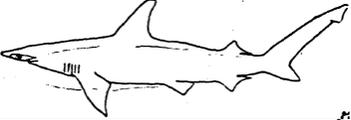
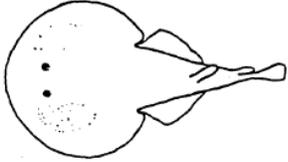
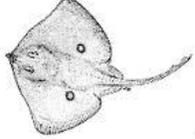
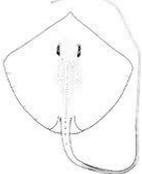
ANEXO V. Ictiofauna representativa del Golfo de México.

NOMBRE CIENTÍFICO.	NOMBRE COMÚN.	
Heptranquias perlo (Bonaterre, 1788)	Tiburón de siete branquias.	
Hexanchu vitulus (Springer y Waller, 1969)	Cazón de seis Branquias.	
Centrophorus uyato. (Rafinesque, 1810)	Tiburón espinoso.	
Ginglymostoma cirratum (Bonnaterre, 1788)	Tiburón gata.	
Rhincodon typus. (Smith, 1829)	Tiburón ballena.	
Isurus Oxyranchus (Refinesque, 1810)	Tiburón moko.	
Mustelus canis. (Mitchill, 1815)	Tiburón mamón.	
Galeocerdo Cuvier. (Le Sueur, 1822)	Tintorera.	
Carcharhinus acronotus. (Poey, 1869)	Tiburón de hocico con punta negra.	
Carcharhinus altimus. (Springer, 1950)	Tiburón narizón.	
Carcharhinus isodon. (Muller y Henle, 1841).	Tiburón de dientes lisos.	

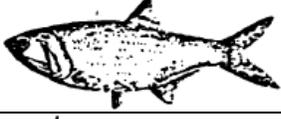
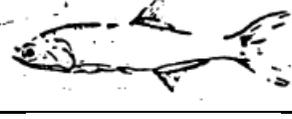
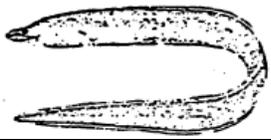
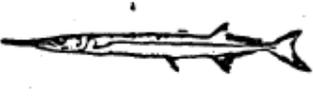
Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

<p><i>Carcharhinus leucas.</i> (Muller y Hanle, 1841)</p>	<p>Tiburón chato, toro o gambuso.</p>	
<p><i>Carcharhinus obscurus.</i> Le Sueur, 1818).</p>	<p>Tiburón oscuro, gambuso.</p>	
<p><i>Carcharhinus porosus.</i> (Razani, 1839).</p>	<p>Tiburón cuero duro o gordito.</p>	
<p><i>Carcharhinus plumbeus.</i> (Nardo, 1827)</p>	<p>Tiburón pardo o aletón.</p>	
<p><i>Carcharhinus signatus.</i> (Poey, 1868).</p>	<p>Tiburón de noche.</p>	
<p><i>Carcharhinus limbatus.</i> (Valenciennes, 1839).</p>	<p>Tiburón volador o aleta prieta.</p>	
<p><i>Carcharhinus maou.</i> (Lesson, 1830).</p>	<p>Tiburón aleta blanca.</p>	
<p><i>Carcharhinus albimarginatus.</i> (Ruppell, 1835).</p>	<p>Tiburón punta blanca.</p>	
<p><i>Sphyrna Lewini.</i> (Griffith y Smith, 1834).</p>	<p>Tiburón martillo o cornudo.</p>	
<p><i>Sphyrna mokarran.</i> (Ruppell, 1835)</p>	<p>Tiburón martillo gigante o cornuda gigante.</p>	

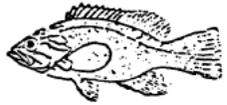
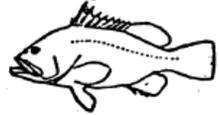
ANEXOS.

<p><i>Sphyrna tiburo</i>. (Linnaeus, 1756)</p>	<p>Tiburón cabeza de pala.</p>	
<p><i>Pristis pectinatus</i>. (Lathas)</p>	<p>Pez sierra.</p>	
<p>Rhinobatidae.</p>	<p>Pez guitarra, pez ángel o rayas.</p>	
<p><i>Narcine brasiliensis</i>. (Olfers).</p>	<p>Raya eléctrica torpedo.</p>	
<p><i>Raja texana</i>. (Chandler, 1921)</p>	<p>Raya texana.</p>	
<p><i>Dasyatis guttata</i>. (Bloch, 1801).</p>	<p>Raya látigo hocicona.</p>	
<p><i>Dasyatis americana</i>. (Hildebrand y Schroeder, 1828)</p>	<p>Raya látigo americana.</p>	
<p><i>Urolóphus jamaicensis</i>. (Cuvier, 1817)</p>	<p>Raya de espina.</p>	
<p><i>Aetobatus narinari</i>. (Euphrasen, 1790).</p>	<p>Chucho pintado.</p>	
<p><i>Elops saurus</i>. (Linnacus, 1776).</p>	<p>Malacho.</p>	
<p><i>Brecoortia patronus</i>. (Goode, 1879)</p>	<p>Lacha escamada.</p>	

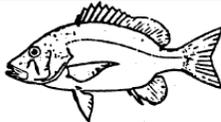
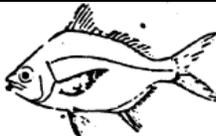
Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Harengula jaguana. (Poey, 1865)	Sardina jaguana.	
Cetengraulis edentus. (Cuvier, 1829).	Anchoveta rabo amarillo.	
Anchoa hepsetus. (Linnaeus, 1758).	Anchoa legitima.	
Anchoa parva. (Meek y Hildebrand, 1923)	Anchoa chiquita.	
Bagre marinus. (Mitchil, 1815).	Bagre bandera.	
Arius felis. (Linnaeus, 1766).	Bagre gato.	
Enchelycore nigricans. (Bonnaterre, 1788).	Moreno negra.	
Gymnothorax funebris. (Ranzani, 1840)	Morena verde.	
Ophichtus gomesi. (Castelnau, 1855).	Tieso negro.	
Antennarius multocellatus. (Valenciennes, 1837)	Pez pescador.	
Tylosurus raphydoma. (Ranzani, 1840)	Marao lisero.	
Strongylura marina. (Walbaum, 1878)	Aguijon verde.	
Hermiramphus brasiliensis. (Linnaeus, 1758).	Agujeta brasileña.	
Aulostomus maculatus. (Valenciennes, 1845).	Trompeta.	

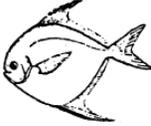
ANEXOS.

Trichiurus lepturus. (Linnaeus, 1758).	Sable.	
Scorpaena plumieri. (Bloch, 1789).	Rascacio negro.	
Epinepheus adscensionis. (Osbeck, 1757).	Mero cabrilla.	
Epinephelus nigritus. (Hulbrook, 1855)	Mero negro.	
Mycteroperca rubra. (Bloch, 1753)	Cuna negra.	
Trachinotus glaucus. (Blach, 1787).	Pámpano listado.	
Trachinotus falcatus. (Linnaeus, 1758).	Pámpano palometa.	
Trachinotus carolinus. (Linnaeus, 1766).	Pámpano amarillo.	
Caranax hipos. (Linnaeur, 1766).	Curel común.	
Caranax cf. Latus. (Agassiez, 1831).	Jurel.	
Selene setapinnis. (Mitchill, 1815).	Jorobado lamparosa.	
Selene vómer. (Linnaeus, 1758).	Jorobado de penacho.	
Seriola demerilli. (Risso, 1818).	Medregal coronado.	

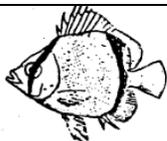
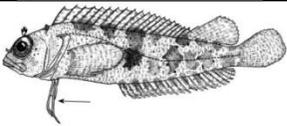
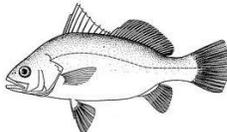
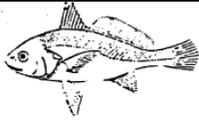
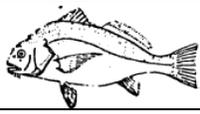
Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Oligoplites saurus. (Broch y Schneider, 1801).	Zapatero.	
Chloroscombrus chrysurus. (Linnaeus, 1776).	Casabo.	
Lutjanus jocu. (Broch y Schneider, 1801).	Pargo Jocú.	
Lutjanus griseus. (Linnaeus, 1758).	Pargo prieto.	
Eucinostomus argenteus. (baird y Girard, 1854).	Mojarrita plateada.	
Eucinostomus melanopterus. (Blecker, 1863).	Mojarrita de ley.	
Eucinostomus gula. (cuvier, 1830).	Mojarrita española.	
Gerres olishostomus. (Goode y Bean, 1882).	Mojarra cabucha.	
Diapterus plumeri. (Cuvier y Valenciennes, 1830).	Mojarra rayada.	
Diapterus rhombeus. (Cuvier, 1929).	Mojarra caitipa.	
Haemulon carbonarium. (Poey, 1860).	Ronco carbonero.	
Anisotremus virginicus. (Linnaeus, 1758).	Burro catalina.	
Conodon nobilis. (Linnaeus, 1758).	Ronco canario.	

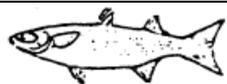
ANEXOS.

Pomadasys crocro. (Cuvier, 1830).	Corocoro crocro.	
Pomacanthus paru. (Bloch, 1787).	Cachama negra.	
Pomacanthus arcuatus. (Linnaeus, 1758).	Cachama blanca.	
Holocanthus ciliaris. (Linnaeus, 1758).	Isabelita patale.	
Abudefduf saxatilis. (Linnaeus, 1758).	Petaca rayada.	
Eupomacentrus fuscus. (Cuvier, 1830).	Pez bailarina obscuro.	
Pomatomus saltatrix. (Linnaeus, 1766).	Anchova de Banco.	
Peprilus paru. (Linnaeus, 1766).	Palometa pampano.	
Scomberomorus maculatus. (Mitchill, 1915).	Sierra o macarela.	
Bodianus rufus. (Linnaeus, 1758).	Vieja colorada.	
Scarus croicensis. (Broch, 1790).	Pez indio.	
Sparisoma rubripinne. (Valenciennes, 1839).	Loro basto.	
Archosargus probatocephalus. (Walbaum, 1792).	Sargo chopá.	

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Chaetodon ocellatus. (Bloch, 1787).	Pez mariposa de aleta manchada.	
Labrisomus nicipinnis. (Quoy y Gaimard, 1824).	Baqueta bullon, pejediablo o empedrado.	
Malacotenus triangulatus. (Springer, 1958).	Trambollos.	 <small>Labrisomus haibensis</small>
Centropomus undecimalis. (Boch, 1792)	Róbalo blanco.	
Centropomus poeyi. (Chávez).	Róbalo prieto.	
Centropomus pectinatus. (Poey, 1860).	Róbalo Constantino.	
Cynoscion nebulosus. (Cuvier, 1830).	Corvina pintada.	
Cynoscion arenarius (Ginsburg, 1929)	Corvina de arena.	
Cyniscion jamaicensis. (Vaillant y Bocourt, 1883).	Corvina goete.	
Micropogonias undulatus. (Linnaeus, 1766)	Corviñon brasileño.	
Micropogonias furnieri. (Desmarest, 1823).	Corviñon rayado.	
Pogonias cromis. (Linnaeus, 1766).	Carviñon negro.	
Umbrina broussonnetii. (Cuvier, 1830).	Verrugato rayado.	

ANEXOS.

Umbrina coroides. (Cuvier, 1830).	Verrugato petopa.	
Menticirrhus americanus. (Linneaus, 1758).	Lambe caletero.	
Menticirrhus littoralis. (Holbrook, 1860).	Lambre verrugato.	
Bairdiella chrysoura. (Lacepede, 1803)	Covineta Blanca.	
Sphyaena guachancho. (Cuvier, 1829).	Picuda guachanche.	
Bathygobius soporator. (Valenciennes, 1837).	Gobio de aleta de fleco.	 <small>Bathygobius mystacium</small>
Mugil cephalus. (Linneaus, 1758).	Lisa pardete.	
Mugil curema. (Valenciennes, 1836).	Lisa criolla.	
Tarpon atlanticus. (Valenciennes, 1846).	Tarpon.	
Etropus crossotus.	Lenguado o Huarache.	
Lagocephalus laevigatus. (Linnaeus, 1766).	Tamboril Modeque.	
Bairdella ronchus. (Cuvier, 1830).	Ronco rayado.	
Stellifer lanceolatus. (Holbrook, 1855).	Corvininilla lazona.	

Ichtiofauna representativa del Golfo de México. Catálogo de ICTIOFAUNA del Golfo de México, 1986. INE.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

ANEXO VI. Avifauna representativa del Golfo de México.

FAMILIA	NOMBRE COMÚN.	ESPECIES N(%)	
Accipitridae.	Gavilan.	5 (2.17%)	
Alcedinidae.	Martín pescador mediano.	4 (1.74%)	
Anatidae.	Pato jergón grande	31 (13.48%)	
Anhingidae.	Aninga.	1 (0.43%)	
Aramidae.	Cotaras.	1 (0.43%)	
Ardeidae.	Garza grande, o mayor.	15 (6.53%)	
Capromulgidae.	Atajacaminos, tijera.	1 (0.43%)	
Cardinalidae.	Colorín siete colores.	2 (0.87%)	
Charadriidae.	Tero.	8 (3.48%)	
Ciconiidae.	Cigüeña americana.	2 (0.87%)	

ANEXOS.

Columbidae.	Palomas.	6 (2.61%)	
Cuculidae.	Cucos.	2 (0.87%)	
Diomedeidae.	Albatros.	1 (0.43%)	
Emberizidae.	Cardenal.	5 (2.17%)	
Falconidae.	Halcón.	1 (0.43%)	
Fregatidae.	Fragata.	1 (0.43%)	
Gaviidae.	Colimbo mayor.	1 (0.43%)	
Gruidae.	Grulla.	2 (0.87%)	
Heliornithidae.	Pájaro Cantil.	1 (0.43%)	
Haematopodidae.	Ostrero.	1 (0.43%)	

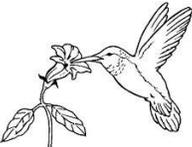
Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Hirundinidae.	Golondrina.	2 (0.87%)	
Hydrobatidae.	Paiño.	3 (1.30%)	
Icteridae.	Loica.	3 (1.30%)	 <small>Fuente: INEPA © Derechos reservados</small>
Jacanidae.	Jacana.	1 (0.43%)	
Laridae.	Gaviotas.	26 (11.30%)	
Mimidae.	Calandria.	1 (0.43%)	
Parulidae.	Reinitas, chipes o bijiritas.	14 (6.09%)	
Pelecanidae.	Pelicano.	2 (0.87%)	
Phaethontidae.	Chiparos.	2 (0.87%)	 <small>Fuente: INEPA</small>
Phalacrocoracidae.	Cormorán.	2 (0.87%)	

ANEXOS.

Phoenicopteridae	Flamencos.	1 (0.43%)	 ACUARIO
Picidae.	Carpintero.	1 (0.43%)	
Podicipedidae.	Zambullidor.	3 (1.30%)	
Procellariidae.	Pardelas.	7 (3.04%)	
Rallidae.	Tagua.	11 (4.78%)	
Recurvirostridae.	Perrito.	2 (0.87%)	
Scolopacidae.	Becasina.	29 (12.61%)	
Sulidae.	Alcatraces.	5 (2.17%)	
Sylviidae.	Carricero polinesio.	1 (0.43%)	
Thraupidae.	Chirri de Bahoruco	1 (0.43%)	

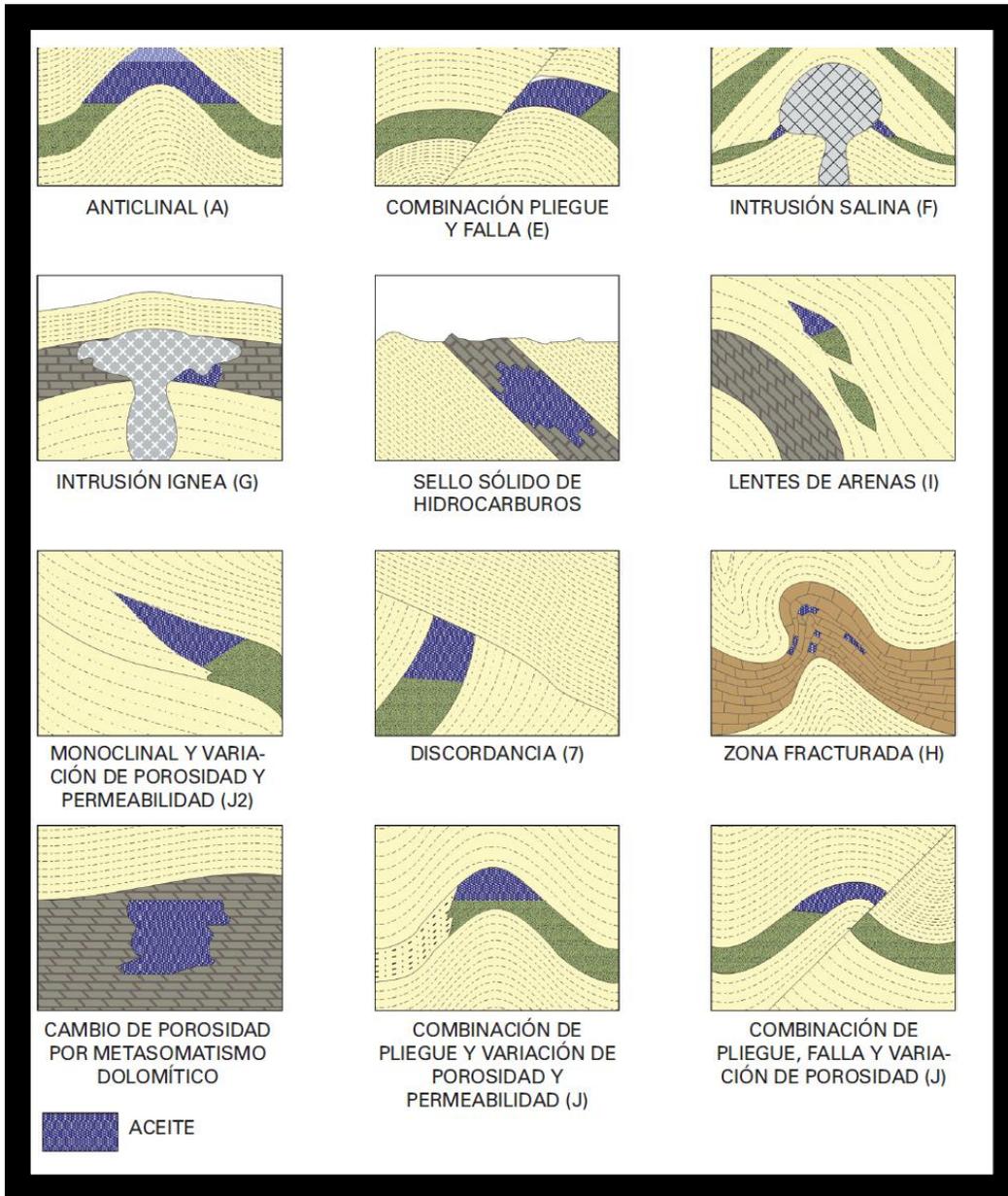
Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

Threskiornithidae	Bandurria astral.	4 (1.74%)	
Trochilidae.	Picaflor o colibrí.	2 (0.87%)	
Troglodytidae.	Ratona aperdizada.	2 (0.87%)	
Turdidae.	Mirlo.	1 (0.43%)	
Tyrannidae.	Tuquito gris.	11 (4.78%)	
Vireonidae.	Chiví común.	2 (0.87%)	

Avifauna representativa del Golfo de México.

ANEXOS.

ANEXO VII. Tipos de trampas geológicas.



Secciones de trampas geológicas.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

ANEXO VIII. Organismos hidrocarburoclásticos.

BACTERIAS.			
Acinetobacter calcoaceticus.	Brow & Cooper (1992).	P. aeruginosa.	Rainwater & al. (1993).
A. calcoaceticus; IRO7	Sorkhoh & al. (1990).	P. alkanolytica 21034.	Rainwater & al. (1993).
Acinetobacter sp.	Beadle & Smith (1982).	Pseudomonas C 12B	Thomas & White (1991).
Acinetobacter sp.	Kennedy & al. (1975).	P. fluorescens 17513.	Cooper & al (1981).
Acinetobacter sp.	Makula & al. (1983).	P jijanii.	Kodama & al. (1970).
Acinobacter calcoaceticus.	Neufeld & al. (1983).	P. methanitricans.	Coty (1967).
Aeromonas sp.	Kiyohara & Nagao (1977).	P. oleovorans.	Cooper & al (1981).
Alcaligenes eutrophus.	Hughes & al. (1984)	P. putida.	Bestetti & al. (1992).
Alcaligenes sp.	Rambeloarisoa & al. (1984).	P. putida.	Cooper & al (1981).
Archaeobacterium sp.	Bertrand & al. (1982).	P. putida.	Dapaah & Hill (1992)
Arthrobacter paraffineus.	Duvnjak & al. (1982).	P. putida.	Diedenbach & al. (1992)
Azobacter aromaticum.	Coty (1967).	P. putida.	Dluhy & al. (1993).
Bacillus sp.	Rambeloarisoa & al. (1984).	P. putida.	Harrop & al. (1992).
Bacillus sp.	Sorkhoh & al. (1990).	P. putida.	Hinteregger & al. (1992).
Bacillus stearothermophilus.	Sorkhoh & al. (1993).	P. putida.	Sorkhoh & al. (1990).
Coryneformes sps.	Kimura & al. (1989).	P. putida.	Lee & al. (1994)
Desulforculus sp.	Drzyzga & al. (1993).	P. rubescens 12099.	Cooper & al (1981).
Desulforculus sp.	Drzyzga & al. (1993).	Pseudomonas sp.	Bayly & Wigmore (1973).
Desulfovibrio sp.	Drzyzga & al. (1993).	Pseudomonas sp.	Bettman & Rehm (1984).
Enterobacteriaceae.	Sorkhoh & al. (1990).	Pseudomonas sp.	Ehrhardt & Rehm (1985).
Flavobacterium sp.	Rambeloarisoa & al. (1984).	Pseudomonas sp.	Feist & Hegeman (1969).
Micrococcus sp.	Rambeloarisoa & al.	Pseudomonas sp.	Kimura & al.

ANEXOS.

	(1984).		(1989).
Moraxella sp.	Rambeloarisoa & al. (1984).	Pseudomonas sp.	Setti & al. (1992).
Moraxella sp.	Kimura & al. (1989).	Pseudomonas sp.	Setti & al. (1993).
Mycobacterium breviacale ATCC 15113.	Cooper & al. (1981).	Pseudomonas sp.	Sorkhoh & al. (1990).
Mycobacterium butanitrificans.	Coty (1967).	Pseudomonas vesicularis.	Rainwater & al. (1993).
M. cuneatum ATCC 21498.	Cooper & al. (1981).	Rhodococcus rhodochrous KUCC 8801.	Rainwater & al. (1993).
M. parafortuitum ATCC 19686.	Cooper & al. (1981).	Rhodococcus sp.	Sorkhoh & al. (1990).
M. petroleophilum ATCC 21497.	Cooper & al. (1981).	Rhodococcus sp.	Sorkhoh & al. (1990).
M. rhodochrous ATCC 13808.	Cooper & al. (1981).	Rhodococcus sp.	Straube (1987).
Nocardia sp.	Sorkhoh & al. (1990).	Rhodopseudomonas palustris.	Harwood (1988).
Pseudomonas nautica 617.	Bonin & al. (1992)	Streptomyces sp.	Sorkhoh & al. (1990).
P. aeruginosa 15523; 17423.	Cooper & al. (1981).	Vibrio Fisheri.	Weissenfels & al. (1992).
P. aeruginosa.	Manresa & al. (1991).	Xantobacter sp.	Ditzelmüller (1989).
HONGOS.			
Acremonium chorticola.	Apas (1985).	Geotrichum candidum.	Apas (1985).
Altemarina maritima.	Apas (1985).	Lulworthia sp.	Kirk & Gordon (1988).
Aspergillus ochraceus.	Datta & Samata (1988).	Mucor globosus.	Sorkhoh & al. (1990).
Aspergillus ochraceus.	Sutherland (1992).	Neurospora crassa FGSC 262.	Lin & Kapoor (1979).
Aspergillus sulphureus.	Sorkhoh & al. (1990).	Penicillium citrinum.	Sorkhoh & al. (1990).
Aspergillus terreus.	Sorkhoh & al. (1990).	Penicillium frequentans.	Apas (1985).
Aspergillus versicolor.	Apas (1985).	Phanerochaete chrysosporium.	Haemmerli & al. (1986).
Botryotrychum piluliferum.	Apas (1985).	Ph. Chrysosporium; ATCC 24725.	George & Neufeld (1989).
Cladosporium algarum.	Apas (1985).	Ph. Chrysosporium.	Hammel & al. (1986)
Corollospora maritima.	Kirk & Gordon	Ph. Chrysosporium.	Hammel (1989).

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

	(1988).		
<i>Cryptococcus neoformans.</i>	Apas (1985).	<i>Ph. Chrysosporium.</i>	Sutherland (1992).
<i>Cunninghamella bainieri.</i>	Ferris & al. (1976).	<i>Rhizopus sp.</i>	Apas (1985).
<i>Cunninghamella elegans.</i>	Sutherland (1992).	<i>Syncephalastrum racemosum.</i>	Sutherland (1992).
<i>Dendryphiella sp.</i>	Kirk & Gordon (1988).	<i>Trichoderma viride.</i>	Apas (1985).
<i>Epicoccum purpurascens.</i>	Apas (1985).	<i>Trichophyton quinqueanum.</i>	Apas (1985).
<i>Fusarium moniliforme.</i>	Apas (1985).	<i>Varicosporina sp.</i>	Kirk & Gordon (1988).
<i>Fusarium sp.</i>	Sorkhoh & al. (1990).	<i>Verticillium lecanii.</i>	Apas (1985).
HONGOS (LEVADURAS).			
<i>Candida albicans.</i>	Apas (1985).	<i>Endomycopsis lipolytica Y-13.</i>	Roy & al. (1979).
<i>Candida catanulata.</i>	Apas (1985).	<i>Rhodotorula glutinis.</i>	Apas (1985).
<i>Candida lipolytica.</i>	Ludvik & al. (1968).	<i>Saccharomyces cerevisiae.</i>	Azari & Wiseman (1982).
<i>Candida lipolytica.</i>	Pareilleux (1979)	<i>S. cerevisiae.</i>	Hofmann (1986).
<i>Candida sp.</i>	Ehrhardt & Rehm (1985)	<i>S. cerevisiae.</i>	King & al. (1982).
<i>Candida tropicalis.</i>	Brow & Cooper (1992).	<i>S. cerevisiae.</i>	Sutherland (1992).
<i>Candida tropicalis.</i>	Gallo & al. (1976).	<i>S. cerevisiae.</i>	Woods & Wiseman (1979).
<i>Candida tropicalis.</i>	Singh & al. (1990).	<i>Torulopsis sp.</i>	Mc Lee & Davies (1972).
<i>Candida utilis.</i>	Hofmann (1986).	<i>Trichosporon cutaneum.</i>	Neujahr & Varga (1970).

Principales microorganismos petroleolíticos objeto de estudio en los últimos años. (Tratamiento microbiológico de la contaminación por petróleo en ambientes marinos. Estudio de su posible optimización. M.A. Murado, J.Mirón. Ma. P. González, 1996).

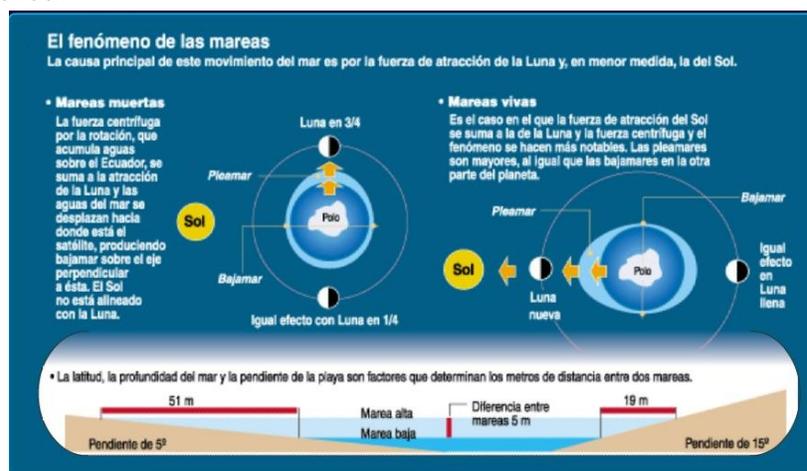
GLOSARIO.

- **Absorción:** Es la operación unitaria que consiste en la separación de uno o más componentes de una mezcla gaseosa con la ayuda de un solvente líquido con el cual forma solución (un soluto A, o varios solutos, se absorben de la fase gaseosa y pasan a la líquida).
- **Adsorción:** La adsorción es un proceso donde un sólido se utiliza para eliminar una sustancia soluble del agua.
- **Afótico:** ca. adj. Sin luz. / Geol. En oceanografía, dicho de una profundidad submarina de más de 200 m: No alcanzada por la luz del Sol.
- **Albuferas:** Es una laguna litoral de agua salada o ligeramente salobre, separada del mar por una lengua o cordón de arenas pero en comunicación con el mar por uno o más puntos.
- **Alóctono, na:** adj. Que no es originario del lugar en que se encuentra.
- **Anélido:** adj. Zool. Se dice de los animales pertenecientes al tipo de los gusanos, que tienen el cuerpo casi cilíndrico, con anillos o pliegues transversales externos que corresponden a segmentos internos. En su mayoría viven en el mar, pero muchos residen en el agua dulce, como la sanguijuela, o en la tierra húmeda, como la lombriz. / m. pl. Zool. Clase de estos animales.
- **Anillos Ciclónicos:** Un meandro ruptura de la principal corriente oceánica y girando en sentido contrario a las agujas del reloj en el hemisferio norte (hacia la derecha en el sur).
- **Anóxico:** Pobre en oxígeno libre; sin oxígeno libre.
- **Anticiclónicos:** adj. Relativo al anticiclón: una situación anticiclónica de la atmósfera suele ser sinónimo de tiempo bueno y estable.
- **Antracenos:** Es un hidrocarburo aromático policíclico. A temperatura ambiente se trata de un sólido incoloro que sublima fácilmente. El antraceno es incoloro pero muestra una coloración azul fluorescente cuando se somete la radiación ultravioleta.
- **Antropogénica:** Referente a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.
- **Antrópicas:** Lo relativo al hombre entendido como especie humana o ser humano (etimológicamente proviene del griego άνθρωπος -anthropos-)./ Se utiliza sobre todo en contextos científicos (biología, ciencias de la Tierra, física y cosmología).
- **Bajamar:** f. Fin del reflujo en la marea.
- **Batimetría:** El nombre proviene del griego βαθύς, profundo, y μέτρον, medida. En otras palabras, la batimetría es el estudio de las profundidades marinas, de la tercera dimensión de los fondos lacustres o marinos.
- **Bioacumulables:** Es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en el medio ambiente o en los alimentos.
- **Biocenosis** (también llamada comunidad biótica, ecológica o simplemente comunidad): Es el conjunto de organismos de todas las especies que coexisten en un

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

espacio definido llamado biotopo, que ofrece las condiciones ambientales necesarias para su supervivencia.

- **Biogénesis:** f. Biol. Principio según el cual un ser vivo procede siempre de otro ser vivo. Se opone a la generación espontánea. / f. Biol. Producción y transformación de sustancias químicas por los seres vivos.
- **Biogenéticas:** adj. Biol. Pertenciente o relativo a la biogénesis. Factores biogenéticos.
- **Biotopos:** En biología y ecología, es un área de condiciones ambientales uniformes que provee espacio vital a un conjunto de flora y fauna. El biotopo es casi sinónimo del término hábitat con la diferencia de que hábitat se refiere a las especies o poblaciones mientras que biotopo se refiere a las comunidades biológicas. / Término que en sentido literal significa ambiente de vida y se aplica al espacio físico, natural y limitado, en el cual vive una biocenosis. La biocenosis y el biotopo forman un ecosistema.
- **Bivalvos:** (Bivalvia, bi = dos; valvia = valva o placa), lamelibranquios (Lamellibranchia) opelecípodos (Pelecypoda) son una clase del filo Mollusca con unas 13.000 especies, generalmente marinos. Presentan un caparazón con dos valvas laterales, generalmente simétricas, unidas por una bisagra y ligamentos. Dichas valvas se cierran por acción de uno o dos músculos aductores.
- **Canopi:** Una tirolesa, tirolina, dosel, canopy o canopi (en algunas partes de Latinoamérica, cable) consiste de una polea suspendida por cables montados en un declive o inclinación. Se diseñan para que sean impulsados por gravedad y deslizarse desde la parte superior hasta el fondo mediante un cable, usualmente cables de acero inoxidable.
- **Catenaria:** Es la curva que describe una cadena suspendida por sus extremos, sometida a un campo gravitatorio uniforme.
- **Celenterados:** Los celentéreos o celenterados son un gran grupo de animales metazoos de simetría radiada que comprende los organismos conocidos como: actinias, hidras, corales, medusas, anémonas y pólipos.
- **Ciclo de marea:**



GLOSARIO.

- **Conspicuos:** adj. Ilustre, famoso o sobresaliente.
- **Corrientes instantáneas:** El término se aplica exclusivamente a las corrientes periódicas producidas por la marea. Por lo general, son débiles en altamar, pero pueden adquirir cerca de las costas velocidades suficientes para arrastrar las materias del fondo removidas por las olas.
- **Corrientes residuales:** Es aquella parte de la corriente que queda después de remover las señales de frecuencia semidiurna y diurna durante uno o más ciclos de marea. No contiene las oscilaciones armónicas de la marea. /Es el promedio de las corrientes instantáneas en un ciclo de marea.
- **Cortical:** adj. De la corteza o relativo a ella.
- **Cuenca arreica:** aquella cuyas aguas no desembocan ni en lagos ni en mares, pues se evaporan o se infiltran.
- **Cuenca endorreica:** aquella en la que el río o cauce principal desemboca en lagos, lagunas o pequeños cuerpos de agua.
- **Cuenca exorreica:** la que descarga sus aguas en el mar.
- **Deletéreos:** adj. Mortífero, venenoso. U. t. en sent. fig.
- **Depocentro:** Zona de una cuenca sedimentaria en la que una determinada unidad estratigráfica alcanza máxima potencia.
- **Descabala:** Quitar o perder alguna de las partes precisas para construir una cosa completa.
- **Detrimento:** s. m. Daño moral o material. / m. Destrucción leve o parcial.
- **Detritívoros:** En un ecosistema, son los organismos que se alimentan de la materia de desecho de la comunidad -hojas muertas, ramas y troncos, raíces de plantas anuales, heces, cadáveres, etc.-. El término incluye a carroñeros y descomponedores. Su importancia se aprecia si se tiene en cuenta que en el ecosistema del bosque mediterráneo maduro, cerca del 80% de la materia producida por las plantas es consumida por detritívoros.
- **Detritos:** m. Cada una de las partículas que resultan de la descomposición de una roca o de otro cuerpo
- **Diapiricas:** Anticlinal formado por una intrusión de materiales muy plásticos, generalmente salinos. Los diapiros forman domos que frecuentemente se abren como consecuencia de los esfuerzos formando relieves invertidos. Por lo general, las intrusiones diapíricas deforman anticlinales en los que elevan el eje localmente para formar un domo.
- **Diatomeas:** adj. y f. De las diatomeas o relativo a esta clase de algas. / f. pl. bot. Clase de algas de color pardo que habitan en el mar, el agua dulce o en la tierra húmeda, características por su caparazón silíceo formado por dos valvas de tamaño desigual.
- **Dilución:** Procedimiento que se sigue para preparar una disolución menos concentrada a partir de una más concentrada.
- **Dinoflagelados:** Es un extenso grupo de protistas flagelados. El nombre proviene del griego dinos, girar y del latín, flagellum, látigo. Estos microorganismos son unicelulares (aunque pueden formar colonias) y forman parte del fitoplancton marino y de agua dulce.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

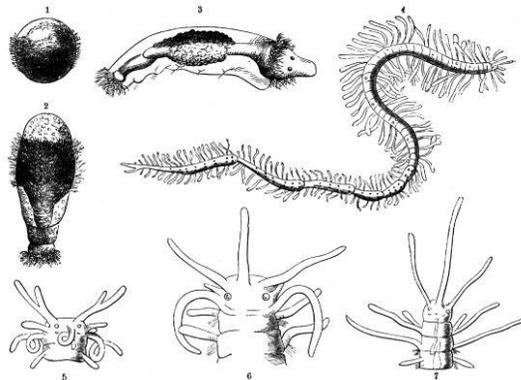
- **Dulceacuícola:** Plantas y animales que desarrollan todas sus funciones vitales en el agua dulce.
- **Endémico,-ca:** Se aplica al ser vivo que solamente se encuentra en una región determinada.
- **Epífitas:** adj. **BOT.** [Vegetal] que vive sobre otra planta sin alimentarse a expensas de esta, como los musgos y líquenes.
- **Equinodermos:** adj. y m. De los equinodermos o relativo a este filo de metazoos. / m. pl. zool. Filo de metazoos marinos de simetría radiada pentagonal, que poseen bajo la piel un esqueleto de placas o espinas calcáreas, como la estrella de mar.
- **Estenohalinas:** es el nombre que reciben aquellos organismos acuáticos que sólo son capaces de vivir en un estrecho rango de concentración de sales. Un cambio en la salinidad del medio impide su crecimiento.
- **Estiva:** Se define como estiba a la técnica de colocar la carga a bordo para ser transportada con un máximo de seguridad para el buque y su tripulación, ocupando el mínimo espacio posible, evitando averías en la misma y reduciendo al mínimo las demoras en el puerto de descarga.
- **Estuarino:** En las aguas estuarinas se presentan condiciones muy especiales: cuando la marea sube penetra el agua salada y cuando la marea baja sale el agua dulce hacia el mar. Al mezclarse las aguas las condiciones ecológicas cambian radicalmente: las especies como crustáceos, caracoles, plancton, son muy diferentes a los existentes en mar abierto/ m. entrada del mar en la desembocadura de un río.
- **Eufótica:** Zona de la capa superior del océano en la cual penetra suficiente cantidad de luz para la fotosíntesis. se extiende desde la superficie hasta unos 80 metros de profundidad.
- **Eurihalino:** Son aquellos seres acuáticos que son capaces de vivir en un amplio rango de concentración de sales sin que se vea afectado su metabolismo. Utilizan sistemas de regulación de la salinidad, como las glándulas lacrimales, las fosas nasales, etc. Intentan tener una concentración salina similar a la del fluido (agua).
- **Eutrofización:** Enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema. / Aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático. Eutrofizado es aquel ecosistema o ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes.
- **Fenantreno:** Hidrocarburo policíclico aromático compuesto de tres anillos fusionados bencenos. Su fórmula empírica es C₁₄H₁₀.
- **Flexural:** se define como el par de fuerzas requerido para doblar una estructura sólida por unidad de curvatura producida.
- **Fotooxidación:** Oxidación favorecida por la acción de la luz.
- **Fotosíntesis:** Es un proceso en virtud del cual los organismos con clorofila, como las plantas verdes, las algas y algunas bacterias, capturan energía en forma de luz y la transforman en energía química.
- **Frente geostrofico:** (AOF) como consecuencia del choque de dos masas de agua distintas.

GLOSARIO.

- **Gasterópodos:** Constituyen la clase más extensa del filo de los Moluscos. Presentan área cefálica (cabeza), un pie musculoso ventral y una concha dorsal (que puede reducirse o hasta perderse en los gasterópodos más evolucionados).
- **Halinos:** Es el contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua.
- **Heterótrofos:** Son aquellos que deben alimentarse con las sustancias orgánicas sintetizadas por otros organismos.
- **Isohalinas:** Línea (o superficie) que une los puntos de igual contenido salino de las aguas subterráneas o aguas superficiales.
- **Isótopos:** Son los diferentes tipos de átomos (isótopos) del mismo elemento químico, cada uno con un número diferente de neutrones. De manera correspondiente, los isótopos difieren en número de masa (o el número de nucleones), pero no en el número atómico. El número de protones (número atómico) es la misma porque eso es lo que caracteriza a un elemento químico. Por ejemplo, el carbono-12, carbono-13 y carbono-14 son tres isótopos del elemento carbono con números de masa 12, 13 y 14, respectivamente. El número atómico del carbono es 6, por lo que el número de neutrones en los isótopos de carbono, por lo tanto $12-6 = 6$, $13-6 = 7$, y $14-6 = 8$, respectivamente.
- **Laguncularia racemosa:** (L.) Gaertn. f., conocido como el mangle blanco, es un árbol de los manglares en las costas tropicales y subtropicales de la América del Norte y del Sur, a la vez que África Occidental. Su madera se usa principalmente para combustible, y sus hojas y corteza son una fuente de tanino.
- **Lipídico:** adj. Bioquím. Perteneciente o relativo a los lípidos.
- **Lístrico:** Término aplicado a planos de fractura que se curvan o bien a planos casi horizontales que se empujan o a planos casi verticales que pierden verticalidad. Esta definición se aplica con mayor rigor a aquellos que son cóncavos hacia arriba, «negativamente lístrico» se ha aplicado a aquellos que son cóncavos hacia abajo.
- **Mareas diurnas:** Características en las latitudes bajas, con una pleamar y una bajamar en el transcurso del día lunar. Considerando que el día lunar es de 24 h 50 min se producirá una pleamar y una bajamar cada 12 h 25 min.
- **Mareas semidiurnas:** Es el tipo de mareas del Río de la Plata, hay dos pleas y dos bajas, en el transcurso de un día lunar. En el caso específico del Río de la Plata de desigualdades diurnas por no ser coincidentes los valores de las dos pleamares entre sí ni de las dos bajamares. Considerando que el día lunar tiene una duración de 24 h 50 min, teóricamente cada 6 h 13 min se produce una pleamar o una bajamar.
- **Meandros:** Es una curva descrita por el curso de un río cuya sinuosidad es pronunciada. Se forman con mayor facilidad en los ríos de las llanuras aluviales con pendiente muy escasa, dado que los sedimentos suelen depositarse en la parte convexa del meandro, mientras que en la cóncava, debido a la fuerza centrífuga, predomina la erosión y el retroceso de la orilla.
- **Neártica:** Es una de las ocho ecozonas terrestres que dividen la superficie de la Tierra. La ecozona del Neártico cubre la mayoría de Norteamérica, incluyendo Groenlandia y las montañas de México. Por otro lado, México meridional, la Florida meridional, América Central y las islas del Caribe son parte de la ecozona Neotropical, junto con Sudamérica.

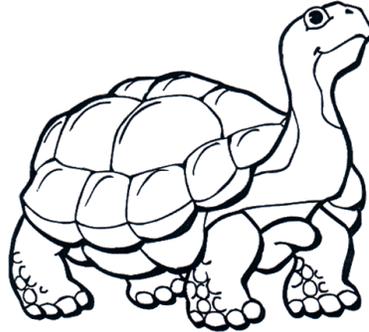
Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

- **NOAA:** The National Oceanic and Atmospheric Administration.
- **Nudos:** Es una medida de velocidad utilizada tanto para navegación marítima como aérea. Equivale a una milla náutica por hora. También se utiliza en meteorología para medir la velocidad de los vientos. 1 nudo = 1 milla náutica por hora = 1,852 km/h, es decir aproximadamente 0,5144 metros por segundo
- **Oligohalinidad:** Ecosistemas dominados por los escurrimientos dulceacuícolas como los pantanos, ciénegas y ciertos tipos de esteros, que se localizan principalmente en zonas asociadas a caudales importantes.
- **Oligotróficas, Aguas:** Aguas pobres en nutrientes y de baja productividad. El concepto se opone al de aguas eutróficas. La calidad oligotrófica de una masa de agua puede verse afectada por el vertido de aguas residuales o la incorporación de abonos usados en los cultivos, entre otros factores, que pueden producir eutrofización.
- **Peces pelágicos:** Son los que pasan su vida no dependiendo del fondo. Son ordinariamente carnívoros, alimentándose de otros peces: como hacen las seriolas o las palometas. Otros peces, como la boga o la sardina, se alimentan exclusivamente de plánton.
- **Peneidos:** son una familia de crustáceos del orden de los decápodos que incluye varias especies de importancia económica, como el langostino tigre (*Penaeus monodon*), el camarón patiblanco (*Litopenaeus vannamei*), el camarón blanco del Atlántico (*Litopenaeus setiferus*), la gamba blanca (*Parapenaeus longirostris*) y el camarón de la India (*Fenneropenaeus indicus*).
- **Pesquerías:** f. actividades relacionadas con la pesca. / Sitio en donde se pesca en gran cantidad.
- **Piscícola:** Es la acuicultura de peces, término bajo el que se agrupan una gran diversidad de cultivos muy diferentes entre sí, en general denominados en función de la especie o la familia.
- **Pleamar:** f. Marea alta.
- **Poliquetos** (imagen): Son una clase del filo de los anélidos. Es el grupo más numeroso de ese filo, con unas 10.000 especies descritas, y se supone el más primitivo. Adj. y m. De los poliquetos o relativo a esta clase de gusanos. / m. pl. zool. Clase de gusanos anélidos, predominantemente marinos y unisexuales, de cuerpo cilíndrico, con branquias, anillos provistos de numerosas cerdas llamadas quetas y una región cefálica diferenciada con ojos y tentáculos



GLOSARIO.

- **Quelonios** (imagen): forman un orden de reptiles (Sauropsida) caracterizados por tener un tronco ancho y corto, y un caparazón o envoltura que protege los órganos internos de su cuerpo. De su caparazón salen, por delante, la cabeza y las patas delanteras, y por detrás las patas traseras y la cola.



- **Quimiosíntesis:** Consiste en la síntesis de ATP a partir de la energía que se libera en reacciones de oxidación de compuestos inorgánicos reducidos. Los organismos que realizan quimiosíntesis se denominan quimoautótrofos, quimiolitótrofos o quimiosintéticos; todos ellos son bacterias que usan como fuente de carbono el dióxido de carbono en un proceso similar al ciclo de Calvin de las plantas.
- **Resiliencia:** Es la capacidad de las comunidades de soportar, adaptarse y recuperarse a perturbaciones ambientales adquiriendo nuevas herramientas.
- **Rizomas:** Es un tallo subterráneo con varias yemas que crece de forma horizontal emitiendo raíces y brotes herbáceos de sus nudos.
- **Sal alóctona:** Grandes masas de sal que se originaron a una distancia de su posición actual y se desplazaron, debido a esfuerzos laterales, por la gravedad o deslizamientos.
- **Sentina:** Es el espacio en la parte más baja de la sala de máquinas, justo por encima de los doble fondos.
- **Sintectónicos:** adj. de dos terminaciones. [Geografía y Geología] Se aplica a cualquier proceso o relieve derivado, que sea contemporáneo a los movimientos que dan lugar a la formación de las grandes estructuras tectónicas.
- **Termoclina:** Es una capa dentro de un cuerpo de agua o aire donde la temperatura cambia rápidamente con la profundidad o altura.
- **Tolueno:** O metilbenceno, (C₆H₅CH₃) es la materia prima a partir de la cual se obtienen derivados del benceno, el ácido benzoico, el fenol, la caprolactama, la sacarina, el diisocianato de tolueno (TDI), materia prima para la elaboración de poliuretano, medicamentos, colorantes, perfumes, TNT y detergentes.
- **Tonelada métrica (Tm):** es el tercer múltiplo del kilogramo y sexto del gramo. También se denomina técnicamente megagramo. Ocasionalmente se abrevia como Tm, pero no es una forma aceptada en las normas del SI o de la Organización Internacional de Normalización (ISO). Equivalencias: Una tonelada métrica o megagramo es igual a: 1 000 000 de gramos, 100 000 decagramos, 10 000 hectogramos, 1000 kilogramos

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

- **Tormentas tropicales:** Fenómeno de la meteorología que se describe como parte de la evolución de un ciclón tropical. Específicamente se habla de este tipo de tormenta cuando la velocidad promedio del viento, durante un minuto, alcanza cifras dentro del rango de los 63 a los 118 km/h.
- **Trófica:** Cada uno de los conjuntos de especies, o de organismos, de un ecosistema que coinciden por el lugar que ocupan en el flujo de energía y nutrientes, es decir, a los que ocupan un lugar equivalente en la cadena alimenticia.
- **Vientos alisios:** Son un fenómeno meteorológico que hacen referencia al clima bajo la influencia de El Niño y La Niña. Cuando las corrientes del océano y del aire cambian, también se produce una fluctuación de la temperatura del agua del océano. El Niño ocurre cuando los vientos alisios soplan con menor intensidad y las temperaturas del océano se vuelven más cálidas.
- **Xileno:** $C_6H_4(CH_3)_2$ es un derivado dimetilado del Benceno. Según la posición relativa de los grupos metilo en el anillo bencénico, se diferencia entre orto-, meta-, o para- xileno. Se trata de líquidos incoloros e inflamables con un característico olor parecido al tolueno.

BIBLIOGRAFÍA.

1. ADAMS, S. Randy H. Adams, Domínguez Rodríguez, Verónica I. y García Hernández Leonardo. Potencial de la biorremediación del suelo y agua impactados por petróleo en el trópico mexicano. En: Terra, volumen 17, número 2, 1999. pp 159-174.
2. Análisis de Información de las Reservas de Hidrocarburos de México al 1 de enero del 2012. Libro de Reservas, CNH, 2012. México, Edición Comisión Nacional de Hidrocarburos, 2012.137p. Anual.
3. ARAPEL, Asociación regional de empresas de petróleo y gas natural en Latinoamérica y el Caribe. Guía para el uso de dispersantes en derrames de hidrocarburos. Grupo de Trabajo de Planificación de Respuesta a Emergencias de ARPEL Mayo del 2007.62 p.
4. ARROYO, Maroto. Quesada Ma. Esther y Rogel y Juan Manuel. Aplicación de sistemas de biorremediación de los suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos, 2002. GEOCISA. Div. Protección Ambiental de suelos. pp 297-306.
5. BETANCOURT Quiroga F. Omar. Modelado numérico de derrames de hidrocarburos en cuerpos de agua. Ciudad Universitaria, México D.F, Octubre de 2001, 167p. Trabajo de maestría en ingeniería área ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
6. BOTELLO V. Alfonso, Rendón von Osten, Gold-Bouchot Gerardo y Agraz-Hernández Claudia, 2004. Golfo de México, Contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias. Segunda edición. Univ. Autón. De Campeche, UNAM, INE. 696 p.
7. BOURNE, Joel K. Jr. Un dilema profundo. Petróleo en el Golfo de México, Capas de la vida. En: El derrame, reportaje especial. National Geographic, octubre del 2020. 32p.
8. CARRANZA EDWARDS, Arturo, 2005. Consideraciones ambientales del litoral en el Golfo de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. p. 1-8.
9. CASO Margarita, Pisanty Irene y Ezcurra Exequiel (compiladores). Diagnóstico ambiental del Golfo de México, 2004. Primera edición. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, INE. Instituto de Ecología, A.C., Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. 1083 p.
10. CASTRO Varela, Gustavo. Informe final, Diseño, monitoreo frente a derrames de hidrocarburos. Quillota, Chile, junio, 2007. Gobierno de Chile, PRASA.148pp.

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

11. CONTRERAS E. Francisco y Castañeda L. Ofelia. La biodiversidad de las lagunas costeras. Ciencias, octubre-diciembre, No. 076. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México. pp. 46-56. ISSN: 0187-6376.
12. CULASSO, M. Valeria. Un año después del peor derrame de petróleo accidental en el mar. Abril 2011. Facultad de Ciencias jurídicas y Sociales- Universidad de Mendoza.
13. DARRYL I. Felder and Camp K. David. Gulf of Mexico Origin, Waters, and Biota: Biodiversity. Volume 1, Biodiversity. Texas A&M University Press, 2009. 1453p. ISBN 1603442693, 9781603442695.
14. Deepwater Horizon Accident Investigation Report. September 8, 2010. British Petroleum, 2010. 129pp.
15. DÍAZ Barriga. A. Cantú con la participación del Grupo de Trabajo de Marinas de La Paz. Manual de buenas prácticas de manejo de marinas. Un modelo local de planeación participativa de aplicación nacional. Secretaría de Medio Ambiente y recursos Naturales. INE, Conservación del Territorio Insular Mexicano A.C. Primera Edición, diciembre del 2004. 106p. ISBN: 968-817-701-6.
16. ERNESTO MASVIDAL, Daniel. La función de los puertos en la prevención por la contaminación de petróleo en los mares internacionales. Brasil, Itajaí, diciembre, 2008. Universidad del Valle de Itajaí. 140p.
17. EXXONMOBIL, Research and Engineering Company, Manual de Campo para Respuesta a Derrames de Petróleo, 2008. Primera Edición. EUA. 344p.
18. FOWLER, S.W. La contaminación en el Golfo de México: Vigilancia del medio marino. Boletín del OIEA, No. 2 ,1993. 9-13 pp.
19. G. DE MANSILLA, Aura. El conflicto en el Golfo Pérsico y el papel jugado por las Naciones Unidas en el mismo. En: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/derecho/revista/53/53-1.pdf> No. 1. 53pp.
20. GREENPEACE. Catástrofe ecológica en el Golfo de México. Vertido de petróleo de la plataforma Deepwater Horizon de BP, mayo 2009. pp. 2.
21. GREENPEACE. Exploración en aguas profundas del Golfo de México. Hoja informativa, agosto 2010. En: La cumbre de México, 2010. 4pp.
22. HANKINSON, John H. Jr. Estrategia para la Restauración del Ecosistema Regional del Golfo de México. Grupo de Trabajo para la restauración del Ecosistema de la Costa del Golfo, diciembre del 2011. Gulf Coaste Ecosystem Restoration Task Force. 144pp.
23. HEIN Morris y Arena Susan. Fundamentos de Química. Doceava edición. Cengage Learning. México, 2007. 541p. ISBN-10: 970-830-031-4.
24. Instituto Nacional de Ecología, "Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas

BIBLIOGRAFÍA.

- de Aguas Residuales Provenientes de la Perforación, Explotación y Extracción de Petróleo y Gas”: Dirección General de Normatividad Ambiental, 1995. 468p.
25. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. ANDRADE G. Guillermo, et. al. Prevención y atención a emergencias en petróleos mexicanos. Parte III. Contribuciones especiales, 2007. En: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/30/p3preven.html>.
 26. KRAUS, S. Richard. Industrias basadas en recursos naturales. Petróleo: Prospección y Perforación. En: Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Tomo 3/75, 2012. Tercera Edición. 75.2-75.17 pp.
 27. La Tecnología de Exploración y Producción en México y en el Mundo: Situación Actual y Retos. Diciembre 20, 2011. México. Comisión Nacional de Hidrocarburos. Documento Técnico 2. Anual.318p.
 28. LARA-LARA J. Rubén, et al. 2008. Los ecosistemas marinos. En: Capital natural de México, vol. I : Conocimiento de la biodiversidad. CONABIO, México, pp 135-159.
 29. Las reservas de hidrocarburos de México, 1 de enero de 2011. Pemex Exploración y Producción, 2011. México. Edición PEMEX. 116 p.
 30. Las reservas de hidrocarburos de México, 1 de enero de 2012. Pemex Exploración y Producción, 2012. México. Edición PEMEX. 122 p.
 31. Ley General Del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente. DOF 07-06-2013. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios, 2013.
 32. MANDIGAN, Michael T., Martinko John M. y Parker Jack.Brock, Biología de los microorganismos. 10° Edición. Pearson Educación, S.A., Madrid, 2004. 1096 p. ISBN 85-205-3679-2.
 33. MARTÍNEZ L. Benjamín, Pares S. Alejandro. Circulación del Golfo de México Inducida por Mareas, Viento y La Corriente de Yucatán. Ciencias Marinas, marzo 1998. Vol. 24, No.001. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada México. Pp. 65-93. ISSN 0185-3880.
 34. MONREAL G. Adela María, Salas de León D. Alberto. Golfo de México, Circulación y productividad. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. En: Ciencias, No.76, octubre-diciembre, 2004. Universidad Nacional Autónoma de México. Trimestral. 24-34 pp.
 35. MURADO, M.A., J. Mirón & M^aP. González. (Madrid, 1996). Tratamiento microbiológico de vertidos petrolíferos en ambientes marinos. Estudio de su posible optimización. En «Seguimiento de la contaminación producida por el accidente del buque Aegean Sea». pp 169-85. Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente. (Madrid, 1996).

Atención de derrames de petróleo crudo en el Golfo de México.

36. NAVARRO, S.A y A. Gordillo, 2006. Catálogo de Autoridades Taxonómicas de las Aves de México. Facultad de Ciencias, UNAM. Base de datos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Proyecto CS010. México D.F
37. Organización Consultiva Marítima Intergubernamental. Secretaría de Marina. Manual de contaminación petrolífera. Información práctica sobre medios de combatir los derrames de petróleo, 1972. 76 p.
38. ORTIZ, J.E, García, M.J, y Rodríguez G. J.L. Biomarcadores y su utilidad en la evaluación de la biodegradación del petróleo. En: Industria y minería, No.351, marzo 2003, 41-45 pp, ISSN 11378042.
39. PEMEX. Origen del Petróleo e Historia de la Perforación en México. En: Un siglo de Perforación en México. Unidad de Perforación y mantenimiento de pozos. Vol. 1. 52pp.
40. PEMEX. Seguridad Salud y Medio Ambiente, 2002. Protección Ambiental. 12-24 pp.
41. PEMEX. Técnicas especiales de Perforación. En: Un Siglo de Perforación en México. Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozos. Vol IX. 42pp.
42. PEP. Evaluación de Riesgo Ecológico e Impacto de las Operaciones Industriales (Análisis General), Marzo 8, 2002. Instituto Mexicano del Petróleo, Beattle Memorial Institute, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma Metropolitana. Versión 1.3. 257p.
43. Petróleos Mexicanos, Anuario Estadístico 2011.Mexico. 78p.
44. Plan Específico de Contaminación Marina Accidental de Canarias (PECAMAR). Biorremediación. En: Limpieza y Restauración de Costas Contaminadas. Manuales Operativos. Documento No. 10. Gobierno de Canarias. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial. Dirección General del Medio Natural. Noviembre 2005. 22p.
45. Prospectiva del Mercado de Petróleo Crudo 2010-2025, 2011. México. Secretaría de Energía (SENER). 175p.
46. ROUSSEL, Jean-Claude y Boulet Raymond. Caracterización de crudos y de productos petrolíferos. En: Wauquier, J.-P. El refino del petróleo. Petróleo crudo, productos petrolíferos, esquemas de fabricación.1994, Edicions Technip, París, France. Tomo I. pp 39-56. ISBN 84-7978623-X.
47. ROUSSEL, Jean-Claude y Boulet Raymond. Composición de los petróleos crudos y de los productos petrolíferos. En: Wauquier, J.-P. El refino del petróleo. Petróleo crudo, productos petrolíferos, esquemas de fabricación.1994, Edicions Technip, París, France. Tomo I. pp 1-15. ISBN 84-7978623-X.
48. RUEDA-GAXIOLA, Jaime. El origen del Golfo de México y de sus subcuencas petroleras mexicanas, con base en la palinoestratigrafía de lechos rojos. En:

BIBLIOGRAFÍA.

- Revista Mexicana de Ciencias geológicas, Vol. 15, No.1, 1998. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; y Sociedad Geológica Mexicana, México, D.F. pp 78-86.
49. S. KURTZ, Rick. Coastal Oil Pollution: Spills, Crisid, and Policy Change. Central Michigan University. Revier or Policy Research, Volume 21, Number 2, 2004. 201-219 pp. ISSN 12228723.
50. SANTA María Orozco Demetrio M., 2008. La Formación del petróleo en el sur del Golfo de México: Predicción de su calidad, Especialidad: Geología. pp. 30.
51. SAVAL Bohórquez Susana. La reparación del daño. Aspectos técnicos: Remediación y restauración. Instituto Nacional de Ecología, 1996. 209.236 pp.
52. SECRETARÍA DE ECOLOGÍA. Dirección General de Conservación Ecológica de los Recursos Naturales. Departamento de Flora y Fauna Acuáticas. Catálogo de la Ictiofauna del Golfo de México, 1986. Instituto Nacional Ecología. 140p. AE 002273.
53. SEOÁNEZ, Mariano Calvo. Manual de contaminación marina y restauración del litoral, 2000. Ingeniería del medio ambiente. Primera edición. 559p.
54. SILOS Rodríguez, José María. Manual de lucha contra la contaminación marina. UCA Universidad de Cádiz. Ed. mIA Monografías, Ingenierías y Arquitectura. Primera edición, 2008. 344p.
55. SOTO, L.A, Sanchez-García. López-Veneroni D., Ambientes influidos por emanaciones naturales de hidrocarburos y gas en el suroeste del Golfo de México. En: www.ujat.mx/publicaciones/uciencia.com. Universidad y Ciencia. Instituto de Química, UNAM, Instituto Mexicano del Petróleo. Número Especial I: 51-58, 2004.
56. TORRES G. Alejandro, Esquivel M. Carlos y Ceballos Gerardo. Diversidad y conservación de los mamíferos marinos de México. Revista Mexicana de Mastozoología. Centro de Ecología, UNAM, julio de 1995. 22-44pp.
57. VELASCO, Gabino. Posibles causas del accidente de la plataforma Deepwater Horizon. En: Petrotecnia, diciembre, 2010.No. 51. Mensual. 36-46 pp.
58. VILLAMAR, Francisco y Tapia Ma. Elena. Determinación de la toxicidad en dispersantes de petróleo mediante bioensayos para calcular el CL50. En: Acta oceanográfica del Pacífico. Vol. 12, 2003-2004. pp. 147-155.

