



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

“ESTUDIO DE LA BIORREMEDIACION EN EL  
AMBIENTE MARINO”

4017.862

**TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
QUIMICA FARMACEUTICO BIOLOGA

P R E S E N T A :

DYNORHA NOVALES ALVAREZ



EXAMENES PROPONIALES  
FACULTAD DE QUIMICA

MEXICO, D. F.

2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

*Señor, te agradezco humildemente el haberme permitido concluir esta etapa de mi vida y te pido que siempre me acompañes en la que estoy por iniciar.*

*A mis padres:  
Victoria y Antonio*

*A quienes tanto debo y no podré pagar todo el apoyo y amor que siempre me han entregado, porque he tenido la dicha de haber compartido con ustedes los momentos más importantes de mi vida, gracias por creer en mi, y por impulsarme para llegar a esta meta.*

*LOS AMO*

*A mi hija:  
Olvido.*

*Porque eres la experiencia más hermosa de mi vida, la razón de mi ser y lo más importante que Dios me ha prestado, gracias por bajar de tu estrella para darle un nuevo rumbo a nuestras vidas.*

*TE ADORO*

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>OBJETIVOS</b> .....	3
<b>GENERALIDADES</b> .....	4
<b>CAPITULO 1 EL MAR</b> .....	4
1.1 Características del mar.....	4
1.2 Importancia de los litorales mexicanos.....	7
<b>CAPITULO 2 PETROLEO</b> .....	8
2.1 Origen.....	8
2.2 Composición fisicoquímica .....	9
2.3 Extracción marina del petróleo .....	13
2.4 Transformaciones del crudo.....	18
2.4.1 Procesos naturales a corto plazo.....	18
2.4.2 Procesos naturales a largo plazo.....	18
2.4.3 Procesos que cambian la localización del crudo .....	19
<b>CAPITULO 3 CONTAMINACION MARINA</b> .....	20
3.2 Transporte de contaminantes.....	21

## INTRODUCCIÓN.

**E**l 71% de la superficie terrestre está cubierta por agua, siendo los océanos el depósito final de todos los sistemas continentales de aguas como a desembocadura de los ríos, lagunas, lagos, etc.; además de ser el destino final de la mayoría de los desechos producidos por la actividad humana.

Las partes más sensibles de los océanos son las plataformas continentales que constituyen aproximadamente el 10% total de la superficie marina. A su vez éstas, representan un 60% de las fuentes de productos marinos para consumo humano. Al mismo tiempo, las zonas próximas a las plataformas son las de mayor actividad humana, en particular de explotación y producción de hidrocarburos, rutas de barcos y otras actividades.

El océano constituye un ecosistema muy dinámico y complejo que el hombre está alterando con diversos contaminantes como: basura, desechos industriales, etc.; entre los cuales figura el petróleo y sus derivados. Los grandes derrames por petróleo, producido cerca de las costas, pueden causar daños de extrema importancia a las mismas.

No solamente la exploración y explotación petrolera puede ser fuente de contaminación en el mar y en las playas, sino también gran parte de la misma se encuentra en las rutas y vías utilizadas por los buques tanques petroleros. Como resultado de ello se generan grandes masas de alquitrán, con componentes de parafinas de cadenas largas, en mayor cantidad a la que contienen el petróleo crudo. Esas masas flotantes de residuos de petróleo, de muy lenta degradación siguen contaminando por largo tiempo.

Se ha considerado que el mar tiene una función depuradora sobre la mayoría de las sustancias, porque se disuelven, se diluyen o desaparecen; en gran parte por la actuación e intervención de componentes abióticos tales como: Presión, temperatura, salinidad, etc.; y bióticos como: Peces, plantas,

## OBJETIVOS.

1. Realizar una investigación bibliográfica actualizada sobre el daño que ocasiona el petróleo en el ambiente marino.
2. Analizar el impacto socioeconómico de los derrames petroleros en el mar.
3. Conocer las ventajas y desventajas de las técnicas de Biorremediación empleadas en la actualidad.
4. Dar a conocer lo que se hace acerca de la biorremediación con respecto a la contaminación petrolera en la Republica Mexicana.

## CAPITULO 1

### EL MAR

**E**l mar es el ecosistema más extenso sobre la tierra, cubre cerca del 70% de la superficie del planeta. El mar ha sido una fuente tradicional de alimentos para los seres humanos y a su vez una fuente importante de energía y minerales. Además, los mares y océanos son factores determinantes de los climas terrestres y para el mantenimiento de concentraciones favorables de diversos gases como dióxido de carbono y el oxígeno.

La contaminación del medio marino ha alcanzado proporciones enormes, esto se debe fundamentalmente a que el hombre lo ha considerado como recipiente de toda clase de desperdicios. La mayor parte de los residuos del mundo son vertidos al mar, por lo general sin ningún tratamiento previo. De estos, aproximadamente 90% permanecen en las zonas costeras, que son altamente productivas, a diferencia de lo que ocurre en zonas de las grandes profundidades. (1)

### CARACTERÍSTICAS DEL MAR

La zona marítima mexicana consta de poco más de 11 mil kilómetros de litoral, de los cuales alrededor del 68% corresponde a las costas e islas del océano Pacífico y Golfo de California, y 32% a las costas, islas y Cayos del Golfo de México y Mar Caribe; además la zona marítima mexicana cuenta con 100 mil kilómetros cuadrados de plataforma continental; 16 mil kilómetros cuadrados de superficie estuaria y cerca de 12 500 mil kilómetros cuadrados de lagunas costeras. Lo anterior, junto a derechos sobre amplias zonas



## CAPITULO 2

### PETRÓLEO

**E**l petróleo crudo es una mezcla de compuestos orgánicos que contienen primordialmente 2 elementos: carbono e hidrógeno. ; esta formado por el 98% de hidrocarburos que están constituidos por estos 2 elementos y el 2% restante son derivados de hidrocarburos que contienen compuestos de oxígeno, azufre, nitrógeno, o una combinación de estos. Estos compuestos principalmente de parafina y ciclo parafinas o hidrocarburos aromáticos cíclicos, que contienen cúmulos de benceno, compuestos sulfurados y oxigenados. (13) Cuando el petróleo sale naturalmente a la superficie terrestre lo hace a lo largo de fallas y resquebrajamiento de rocas en la capa geológica y por esta razón se contamina el agua como por ejemplo con alquitrán, asfalto o depósitos de betún. (22)

### ORIGEN DEL PETRÓLEO

El petróleo procede de la flora y la fauna más simple de los mares, de plantas y animales microscópicos, cuyos restos mezclados con los barros del fondo que han dado origen a compuestos bituminosos, con la ayuda de diversas bacterias, calor, presión y otros factores no muy bien aclarados. (21) El crudo usado hoy en día es el remanente de animales microscópicos y plantas de hace millones de años – zooplancton y fitoplancton – que flota en la superficie de lagos. El plancton muere y es arrastrado hacia abajo, mezclándose con sedimentos de lodo y ceras. Las capas de sedimentos cubiertas de animales y plantas en descomposición desde hace siglos, son




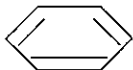
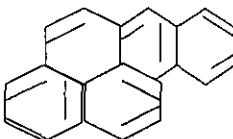
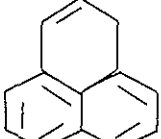
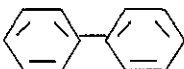
NOMBRE DEL COMPUESTO	EJEMPLO (S)
alcanos	Hexadecano $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$ Octadecano $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3$
alcanos	Isopentano $\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
alcanos	CICLOHEXANO  CICLOBUTANO 
alifinos (alquenos)	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$
aromáticos	 $\text{CH}_3$
aromáticos	
aromáticos [a] pireno	
aromáticos	
aromáticos	

TABLA 2. EJEMPLOS DE ALGUNOS COMPUESTOS DEL PETRÓLEO

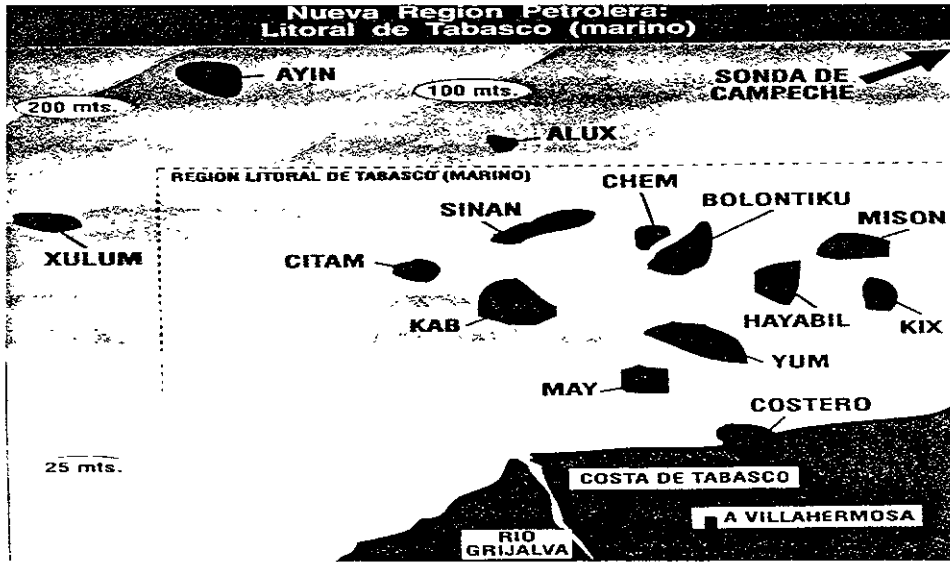


FIGURA 2.4 YACIMIENTOS DE TABASCO

Para lograr este aprovechamiento se han construido en los últimos años instalaciones necesarias que conforman un gran sistema, desde los pozos marinos hasta los centros de procesamiento y sistemas de distribución.

Entre las instalaciones de explotación de la Sonda de Campeche, existen diversos tipos de plataformas marinas que se han fabricado e instalado, en las cuales se encuentran una plataforma de perforación, dos de producción (una permanente y una temporal), una de enlace, una de compresión y una de apoyo, comunicadas entre sí mediante pasarelas unidas a una plataforma de apoyo.

Toda plataforma consta de subestructura y superestructura. La subestructura es la que va apoyada sobre el lecho marino y empotrada por medio de pilotes; la superestructura es la que se encuentra sobre la superficie y soporta los paquetes de perforación, los equipos de producción, etc.; según el tipo de plataforma que se trate. (24)

## CAPITULO 3

### CONTAMINACIÓN MARINA

**E**s la presencia en el ambiente marino de uno o más contaminantes de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico, y puede ser biológica, química y / o física. (6)

Uno de los principales problemas de las actividades industriales y del incremento de la población en el ámbito mundial es la contaminación de los suelos y del agua. Se ha hecho mucho énfasis en que se establezcan medidas preventivas con el fin de reducir o eliminar la descarga de materiales extraños al medio ambiente, no se puede ignorar la contaminación que ocurrió en el pasado y a pesar de los esfuerzos actuales, muy probablemente se seguirá teniendo en el futuro.

La necesidad de remediar los sitios dañados por la contaminación ha estimulado el diseño de nuevas tecnologías entre las cuales la biorremediación se perfila como una alternativa muy atractiva para ser llevada a la práctica.

Debido a que los contaminantes no permanecen estáticos en el sitio donde fueron depositados, si no que tienden a dispersarse en función de las características del lugar; es indispensable tomar en consideración todas las variables involucradas con la finalidad de asegurar el éxito de la remediación.

Una gran mayoría de compuestos contaminantes son considerados como residuos peligrosos por su efecto dañino a la salud, al grado que algunos de ellos son cancerígenos como el benceno y bifenilos policlorados.

## CAPITULO 4

### DERRAMES PETROLEROS

#### NATURALEZA

Los derrames de petróleo en el mar pueden suceder en diferentes puntos críticos localizados en la plataforma y los buquetanques petroleros

La entrada rutinaria de petróleo a los océanos puede ser de dos modos: uno continuo que es la entrada de bajos niveles crónicos y otro discontinuo que es por derrames ya sean pequeños o grandes. Estos derrames petroleros pueden suceder de diversas formas tales como:

- Derrames naturales, por fisuras en la capa tectónica
- Derrames accidentales, como por ejemplo: de buquetanques, en plataformas marinas en cualquiera de sus partes y por ultimo accidentes en refinерías que están localizadas en las costas.

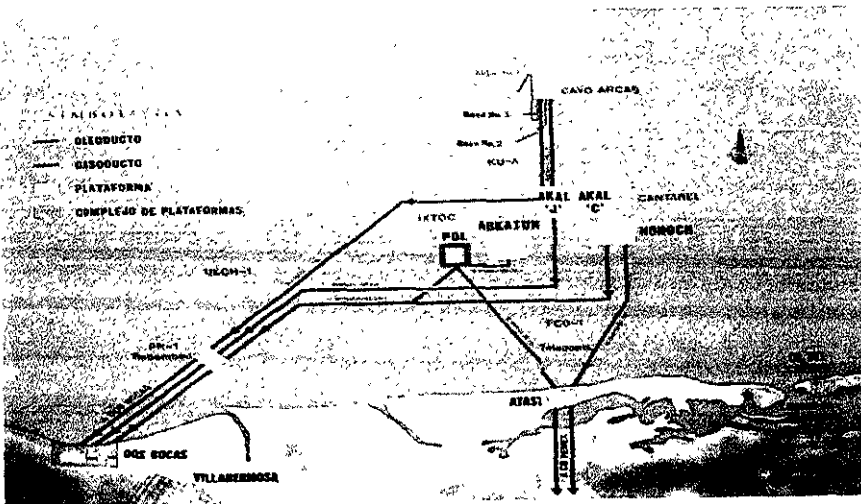


FIGURA 4.1 PRINCIPALES INSTALACIONES MARINAS EN LA SONDA DE CAMPECHE

FUENTE DEL DERRAME	PAIS	FECHA	COMENTARIOS
POZO IXTOC 1	<b>MÉXICO</b>	1979	Derramo más de 3243 barriles de crudo en un periodo de mas de 10 meses ALTA CONTAMINACIÓN. (18)
BUQUETANQUE Shell & Co en el Valle de San Joaquín,	Estados Unidos de América	1988	Aproximadamente 10 barriles de petróleo crudo fue accidentalmente liberado de una refinería Alteración de la biota marina. (15)
BUQUE TANQUE EXON VALDEZ	ALASKA	1989	El derrame petrolero, 2,000 millas costera y 500 millas de camino. Afecto a peces, mamíferos, vida salvaje e impacto sitios arqueológicos.
BUQUE TANQUE Golfo Pérsico	Kuwait	1991	4 Millones de barriles. Consecuencias ecológicas más grandes de lo imaginado comparado con otros derrames mayores. (13)
BUQUETANQUE Empress del mar	Asilo de Milford en Gales del sur.	1996	Derramó aproximadamente 77 barriles de crudo, daño en el equilibrio ecológico y en la biota marina y terrestre.
Buque tanque	Isla Galápagos	2001	Derramo 4403 barriles de diesel y combustible, la cantidad derramada no es muy grande pero, el daño es mucho mayor en la mayoría de los casos
Plataforma	Brasil	2001	Hundida, fue la plataforma más grande del mundo. En realidad no se sabe las consecuencias que puede causar a la larga.
Plataforma Oleoducto en la sonda de Campeche	<b>México</b>	2001	200,000 barriles, es una gran cantidad, sin embargo no se sabe que daño pueda en realidad causar este derrame. Desequilibrio en la biota marina.
Ducto en Veracruz	<b>México</b>	2001	Gran daño al medio ambiente y a población, mucha flora y fauna se perdió.

## CAPITULO 5

### IMPACTO AMBIENTAL DE LOS DERRAMES.

**H**asta ahora, las consecuencias de la contaminación marina se presan en el deterioro de los ecosistemas marinos por ejemplo; los primeros efectos sobre los organismos son mecánicos, el crudo cubre las superficies y estructuras finas, inhibiendo el movimiento, la respiración y alimentación de animales pequeños. Las formas sedentarias son mayormente afectadas, aunque también son afectados los peces. Los hidrocarburos aromáticos irritan la piel delicada causando la secreción de moco y penetran la membrana usando hinchamiento. Los detergentes emulsificantes del petróleo causan irritación tanto en la piel delicada como en el tejido y rompen la capa de proteínas, perturbando la actividad normal de la membrana, sin embargo este efecto puede ser reversible si la exposición a los hidrocarburos es breve. Las plantas también se ven afectadas ya que algunos hidrocarburos penetran en las hojas y tallos interfiriendo la estructura de la membrana celular la cual regula procesos metabólicos esenciales. Las parafinas, las cicloparafinas y los hidrocarburos aromáticos tienen un efecto narcótico sobre amibas, así como algunos extractos de petróleo en altas concentraciones tienen el mismo efecto sobre los huevos y las larvas de los peces, el petróleo interfiere en la actividad de los sistemas enzimáticos y de otras proteínas de diversas plantas y animales, así como daña la salud humana por ejemplo; Los compuestos aromáticos policíclicos (PAH) son potencialmente cancerígenos. (29)

En lo concerniente a lo ecológico, en las líneas costeras cuando ocurre un derrame tiene un impacto económico en áreas como son: de recreación, portuarias, zonas de pesca comercial y atracciones turísticas. (22)

## CAPITULO 6

### BIORREMEDIACIÓN

La biorremediación es una técnica alternativa para remover residuos peligrosos del ambiente marino en este caso y la cual resulta ser una técnica económica y efectiva. (4) La presencia prolongada de los contaminantes ha ocasionado que muchos microorganismos presentes en el ecosistema hayan desarrollado la capacidad bioquímica para degradarlos. Esta capacidad es precisamente la base de las tecnologías de biorremediación. Una de las principales características de la biorremediación es que los contaminantes finalmente se pueden transformar en compuestos inocuos al ambiente y no solo se transfieren de lugar como sucede en algunos tratamientos físicos. (28) Por ejemplo la biorremediación envuelve la aplicación de nutrientes directamente al petróleo para aumentar el crecimiento bacteriano que ocurre naturalmente, también es usado para limpiar las líneas costeras. (13)

En las tecnologías de biorremediación se explota la capacidad de adaptación que los microorganismos han logrado desarrollar bajo las condiciones que imperan en un lugar contaminado. Dichas condiciones pueden llegar a ser adversa para su sobre vivencia, las diferentes poblaciones se adaptan entre sí organizando su interacción para actuar de manera sinérgica, con lo cual se logra la degradación del compuesto contaminante. (28)

La biorremediación tiene un número limitado de opciones para restaurar acuíferos contaminados por combustible. El tolueno y otros alquilbencenos son rápidamente degradados en aguas superficiales, esto se debe a que en el ambiente contaminado los microorganismos indígenas consumen



MÉTODO	USO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	COMENTARIOS
Combustión	Derrames frescos menores de 1mm	Es fácil de mantener	Formación de productos carcinógenos	Es difícil de controlar
Desnatadora	Derrames frescos	No cambia características físico-químicas	Se necesita equipo especial.	Es mejor que la combustión
Dispersantes	Derrames en grandes áreas superficiales	Incrementa el índice de biodegradación	Incrementa los efectos tóxicos.	Protege la entrada de los mares y las bahías
Surfactantes	Derrames pequeños o medios	Incrementa solubilidad de hidrocarburos	Puede producir subproductos tóxicos	No es muy recomendada
Biodegradación	En general	Utilización de microflora nativa	Los índices de biodegradación	Es la técnica más utilizada, fácil de monitorear
Bioaugmentación	General	Se realiza en el lugar contaminado	Adicionar Microorganismos cuando la población autóctona no tiene capacidad de degradación.	No muy utilizada porque no hay mucha investigación
Biorremediación In Situ	Laboratorios y lugares fijos	Operan mejor en diluciones	Gran dificultad para demostrar que la concentración de BTEX disminuyó en el agua	Es una técnica muy importante pero todavía no se puede utilizar a gran escala
Biorestauración	En derrames frescos	Estimula el crecimiento de microorganismos autóctonos	No se ha determinado que sucede con los microorganismos cuando se ha finalizado la biodegradación.	Es una técnica similar a la biodegradación.
Limpieza de playas	La llegada de residuos a la playa	Utilización de métodos físicos	Requiere vigilancia permanente y se debe realizar varias veces en el mismo sitios	La mayor parte de crudo se queda en la playa y se mezcla con la arena formando una masa oleosa y da mal aspecto a los lugares.
Ingeniería genética	Laboratorio	Utilización de microorganismos que utilizan el crudo sin importar índices	Alto costo de investigación y alteración genética	No se puede aplicar en derrames no se sabe que daño pueden causar a la larga
Fitoremediación	General	Nutrimientos, fijación de N <sub>2</sub> , la simbiosis con hongos y el control biológico.	No se puede usar en medio acuoso, la técnica no se ha perfeccionado totalmente	Es un método natural que en el futuro será importante en el ambiente marino

## CAPITULO 7

### FACTORES QUE INFLUYEN LA BIODEGRADACIÓN

La biodegradación del petróleo y la velocidad de la misma, están influenciadas por diversos parámetros como son: la temperatura, la presión, el tipo y número de sustancias nutrientes inorgánicos, oxígeno, salinidad, etc.

El destino de los hidrocarburos del petróleo en el ambiente marino es totalmente influenciado por factores abióticos, que incluyen temperatura, contenido de oxígeno disuelto y nutrientes tales como nitratos y fosfatos. (8)

En tanto los índices de biodegradación de los hidrocarburos del petróleo en el ambiente son determinados por la población microbiana indígena, la capacidad fisiológica de esta población, y varios factores abióticos que influyen en el índice de crecimiento sobre la población microbiana. La persistencia de la contaminación petrolera depende de la mezcla cualitativa y cuantitativa de hidrocarburos y de las propiedades de los ecosistemas afectados. En un ambiente pueden persistir los hidrocarburos de petróleo, mientras que en otras condiciones fijadas, los mismos hidrocarburos pueden ser completamente biodegradados en pocas horas o días. (17)

Cuando se descarga el crudo dentro del agua, esta sujeta a severos procesos físicos, químicos y biológicos, estos procesos juegan un papel importante en la biodegradación. Se consideran a los índices de biodegradación como un efecto de la temperatura, el oxígeno y los nutrientes (N y P), existe poca información sobre el papel que juega la salinidad en la biodegradación del petróleo. (9)

El estado físico de los hidrocarburos han marcado un efecto en la biodegradación, ha concentraciones bajas los hidrocarburos son solubles en agua, sin embargo, la mayoría de los derrames, se relacionan con las concentraciones de hidrocarburos excesivas sobre los límites de solubilidad.

## OXIGENO

Los pasos iniciales en el catabolismo de los microorganismos que utilizan hidrocarburos involucran la oxidación de substratos mediante oxigenasas y el oxígeno molecular es utilizado, la limitación de oxígeno en la capa superficial marina no existe, sin embargo, en los sedimentos son anóxicos a excepción de una capa delgada en la superficie del sedimento. (30)

La mayoría de las bacterias requieren de oxígeno disuelto para degradar completamente el petróleo, la cantidad requerida depende del tipo de hidrocarburo a degradar, la demanda teórica es de 1 gramo de oxígeno oxidar 3.5 gramos de petróleo, este elemento es requerido debido a que las vías principales para degradar tanto hidrocarburos aromáticos como saturados involucran oxigenasas y oxígeno molecular. El agua de mar contiene sobre 15 miligramos de oxígeno por litro, siendo más alta su concentración en aguas costeras templadas. La fotosíntesis adiciona 5 microgramos por litro por día. (29)

Los hidrocarburos son totalmente reducidos a sustancias orgánicas que pueden ser metabolizadas solamente de modo oxidativo. La oxidación anaeróbica se efectúa con nitratos o sulfatos como aceptores de electrones. La disponibilidad del oxígeno molecular se considera como un parámetro importante que limita la biodegradación de hidrocarburos, sin embargo, la limitación por deficiencia de oxígeno es menos probable que ocurra en el caso en que exista una dispersión de crudo.

Actualmente el oxígeno llega a ser principalmente un factor limitante que depende de diversas circunstancias, en general en agua templada se favorece rápidamente la degradación de los hidrocarburos, la circulación del agua al adicionar una fuente de carbón y la disponibilidad de nutrientes, determina que sea el oxígeno el principal factor limitante de la biodegradación. (19)

los productos intermediarios, de los cuales algunos de ellos aumentan los niveles de inhibición. El "factor inhibitorio de crecimiento" puede ser reproducido en un cultivo de levaduras desarrollado en un medio que contiene n-hexadecano y ácido láurico y la fracción de este ácido láurico resulta ser el agente principal de la inhibición. La biodegradación del crudo por cepas marinas como son: *Brevibacterium* y *Flavobacterium* son inhibidas por la acumulación de diferentes tipos de ácidos grasos.

En el trabajo realizado por R. Bartha y R. M. Atlas (19) se observa que la biodegradación de hidrocarburos aromáticos producen ácidos benzoicos y fenólicos como intermediarios. En circunstancias ordinarias al utilizar una población microbiana mixta en una superficie grande de agua es un factor para prevenir la acumulación de intermediarios metabólicos los cuales inhiben la biodegradación a diferentes niveles. Las partículas de alquitrán forman una emulsión de agua-aceite, esto es debido a que la degradación de intermediarios necesita trampas que ayudan a disminuir la resistencia de estos residuos a otro ataque microbiano.

El aumento en el crecimiento de la población microbiana, se presenta en el crudo original, no solamente se da a bajas concentraciones de este, aun cuando parece ser un resultado de la actividad microbiana, y no como una consecuencia de la exposición al petróleo. Tal "biodegradación reversa" parece paradójica aun y cuando no fuera precedente. Las grandes cadenas de n-alcenos ( $C_{25}$  -  $C_{45}$ ) inhiben la actividad microbiana directamente, y contribuyen a la formación de bolas de alquitrán que, debido a sus propiedades físicas, aumentan la resistencia a las biodegradaciones subsecuentes.

## CAPITULO 8

### MICROORGANISMOS EMPLEADOS EN BIORREMEDIACIÓN.

Los microorganismos que degradan los hidrocarburos son aislados de un ambiente acuático contaminado con petróleo lo cual significa que contienen procesos que purifican el medio donde se encuentran. La contribución actual de los microorganismos es la capacidad metabólica que tienen para degradar los hidrocarburos del petróleo. (19)

En el ambiente marino, las bacterias son el elemento primario que predomina en la comunidad microbiana para degradar el petróleo, siendo los hongos los componentes menores en la microflora marina, sin embargo la población va aumentando cuando se acercan a las regiones de la orilla. Las algas y los protozoarios son miembros importantes de la comunidad microbiana en ecosistemas acuáticos, pero la magnitud de su relación en la biodegradación es desconocida. (30)

Las bacterias marinas desempeñan un papel importante en el ambiente marino especialmente en la zona anaeróbica de los sedimentos, estas viven en todos los tipos de ambientes marinos como por ejemplo; el agua de mar abierto, el piso del fondo marino, la zona nerítica y los estuarios. El mayor número de bacterias se encuentra en el rango que desde aguas subtropicales a tropicales y a lo largo de la costa en regiones con altos niveles de materia orgánica y nutrientes.

Alcaligenes: bacilos, coco bacilos o cocos, son aerobios obligados, poseen estrictamente un tipo de metabolismo que utiliza oxígeno como aceptor final de electrones, algunas cepas son capaces de respirar anaerobicamente en presencia de nitratos o nitritos, su temperatura óptima va de 20° a 37°C, son quimioorganotrofico usando una variedad de ácidos orgánicos y aminoácidos como origen de carbono. El álcali es producido por diversas sales orgánicas y amidas. Algunas cepas producen ácido utilizando D-glucosa y /o -xilosa como fuente de carbono. (26)

Brevibacterium: es capaz de utilizar pristano y otros alcanos ramificados solamente en la ausencia de n-alcanos. Brevibacterium degrada n-alcanos por una secuencia de beta-oxidación monoterminar, y degrada iso-alcanos por oxidación diterminar. Los dos caminos aparentemente son catalizados por un conjunto de enzimas diferentes, y la operación de la ruta monoterminar cierra las enzimas requeridas para la síntesis de la ruta de oxidación diterminar. (17)

Mycobacterium: degrada hidrocarburos polinucleares de 4 anillos aromáticos, en este caso se encontraron evidencias de que existe un metabolismo de co-oxidación. (17)

Otras bacterias encontradas son: *Achromobacter*; *Azotobacter*, *Cinetobacter*; *Actinomyces*; *Aeromonas*; *Alteromonas*; *Bacillus*, *Bacterium*; *Flavobacterium*; *Micrococcus*, *Norcardia*, *Rhodococcus*; *Vibrio*, etc.

Entre los hongos se encuentra la Cunninghamella sp que metaboliza PAHs vía citocromo p-450 monooxigenasa para formar un óxido de arilo. Este óxido de arilo puede sufrir refragmentación no enzimática para formar un fenol, que puede ser conjugado con glucosa, sulfato, xilosa o ácido glucurónico o ser hidratado enzimáticamente por hidrolasa epóxida para formar un trans-dihidrodiol. La capacidad del hongo *Cunninghamella* es equiparable a la del hongo Phanerochaete sp que también metaboliza PAHs, las especies fúngicas pueden degradar completamente PAHs a CO<sub>2</sub>. Los hongos hidroxilan PAHs como un preludio de la destoxicación, mientras que las bacterias los oxidizan como un inicio de la fisión del anillo y la asimilación de

## CAPITULO 9

### TRATADOS DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE MARINO

#### TRATADOS Y CONVENCIONES NACIONALES

Las reuniones nacionales e internacionales que rigen la contaminación marina han generado normas, leyes, convenciones y acuerdos para apoyar la prevención y mitigación de diferentes contaminantes siendo uno de los más importantes los derrames de hidrocarburos de petróleo y algunas de estas son:

• “La convención internacional para la prevención de la polución de las aguas de mar por hidrocarburos” que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (D. O. F.) el día 20 de Julio de 1956 y nos dice: Que un barco cisterna o buque tanque no puede penetrar en zonas de prohibición que son reservas ecológicas, sitios turísticos, etc.; sin embargo se hacen excepciones principalmente cuando existe algún contratiempo que ponga en peligro la vida humana.

• “El convenio internacional relativo a la intervención en alta mar en caso de accidentes que causen una contaminación por hidrocarburos” fue publicado en Bruselas el 29 de Noviembre de 1969 y nos dice: Que un país debe tomar medidas necesarias para prevenir, mitigar o eliminar todo peligro de contaminación inminente contra sus litorales, debe tener un interés contra la contaminación o la amenaza de contaminación de barcos cisterna o buque tanques, así como de las plataformas marinas y todo lo que puede contaminar el agua de mar.

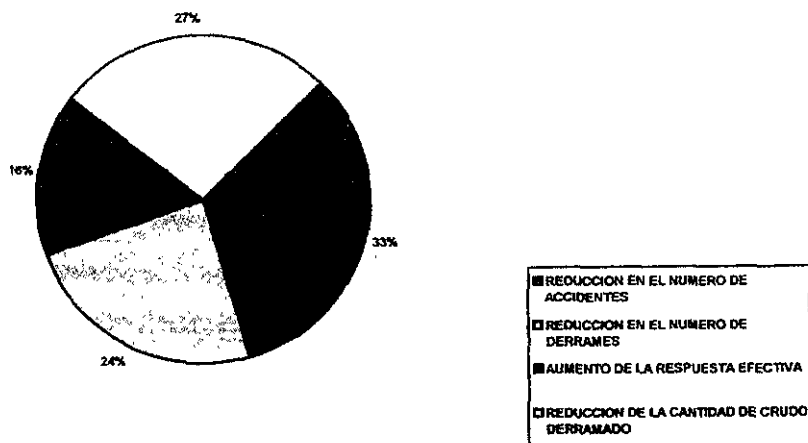
## CAPITULO 10

### ACTIVIDADES QUE SE REALIZAN EN LA ACTUALIDAD

#### ACTIVIDADES INTERNACIONALES

**E**l acta de la OPA90 es responsable de algunas mejoras en la prevención y en la capacidad de respuesta a derrames petroleros. La OPA 90 contiene mandatos generales dirigidos a la prevención, mitigación, limpieza y responsabilidades en derrames petroleros. Desde el paso de la OPA 90 han resultado 41 nuevas rutas que gobiernan la prevención de la contaminación y estado de respuesta.

Numerosas agencias gubernamentales se han involucrado en las mejoras de regulación y guía política en respuesta a esta acta. Estas agencias federales incluyen: La Guardia Costera; La Agencia de Protección Ambiental; Agencias de investigación y el Programa Espacial de Administración y Transporte. Oficina de Seguridad en Oleoducto y la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera.



GRAFICA 2. METAS ALCANZADAS CON LA OPA 90



- La industria ha realizado investigaciones para desarrollar nuevos sistemas computarizados que miden el Stress estructural de los buque-tanques de este modo la tripulación puede tomar medidas correctivas cuando sea necesario.
- El análisis de puntos críticos en los buque-tanques es de mucha ayuda para identificar cuando es necesaria una mejora a la nave como por ejemplo: Implementar radares nuevos, desarrollo de barcos de doble casco, etc.; Estos sistemas ayudan a implementar la seguridad y confiabilidad de las naves.

#### RESPUESTA.

- En el ámbito internacional se lleva acabo una conferencia bienal sobre derrames petroleros en donde las industrias, los gobiernos y expertos ambientales discuten e intercambian información sobre la respuesta, control, comportamiento y limpieza de derrames petroleros y se considera una referencia muy importante para cualquier persona involucrada en este campo.
- Las investigaciones realizadas por la industria petrolera han producida nuevas alternativas para mejorar la respuesta a derrames como: dispersantes, agentes de biorremediación, agentes colectores de superficie, agentes limpiadores de superficie, agentes incinerantes, etc.
- Las investigaciones han conducido al desarrollo de nuevas tecnologías que aceleran los esfuerzos de limpieza, como por ejemplo: desnatadoras, bombas de alta presión (BOOMS), etc.; que son útiles en la limpieza de lugares de difícil acceso.
- En EUA existen diversas organizaciones a través de toda la línea costera que son capaces de realizar una respuesta inmediata a cualquier tipo de derrame.

El departamento interior de EUA desarrolla y prueba diferentes equipos para mejorar la respuesta a derrames, como por ejemplo: Naves súper bombas

e hidrocarburos y otras sustancias nocivas en el mar. Así mismo, en este tipo de contingencias se utilizan recursos de apoyo de Petróleos Mexicanos como son: aviones, helicópteros, barcos abastecedores, lanchas rápidas, equipo de telecomunicaciones y maquinaria pesada en general, para el acondicionamiento de los equipos recuperadores de hidrocarburos que participan en la atención de la contingencia.

## TAPA 7 LIMPIEZA DE PLAYAS

La limpieza de costas es una actividad que en ocasiones se realiza simultáneamente con la recuperación de hidrocarburos, esta actividad se efectúa para restaurar las áreas impactadas por los hidrocarburos derramados.

2)

Otra actividad importante que se realiza en México es el entrenamiento de personal multidisciplinario de la institución de PEMEX, que interviene en el plan interno.

Para lograr un trabajo eficiente y oportuno durante una emergencia es necesario que la institución cuente con personal entrenado en el desarrollo de estas actividades, con este propósito se lleva a cabo prácticas para entrenamiento de personal de la institución, las cuales consisten fundamentalmente en:

- > Operación de equipos de recuperación de aceite.
- > Instalación y operación de barreras contenedoras y recuperadores de hidrocarburos.
- > Mantenimiento del equipo.

Limpieza de áreas afectadas. (2)

## CAPITULO 11

### ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA.

**H**ablar sobre contaminación es muy complejo y más si se trata de contaminación marina, en donde el mayor contaminador del ambiente es el hombre por la falta de cultura ecológica. El ambiente marino puede contaminarse con petróleo de dos formas:

1. Por fallas y procesos naturales
2. Por medio de derrames como por ejemplo:
  - En las plataformas marinas existen puntos críticos que deben tomarse en cuenta como son: las uniones entre oleoducto- oleoducto, oleoducto- boya, etc.; Un ejemplo claro y reciente es lo que paso en la Sonda de Campeche en el mes de Abril de 2001 y en donde se derramaron 200 barriles de crudo.
  - Otra forma de contaminación es cuando se accidentan los barcos-cisterna (buque tanques) que transportan petróleo y/ o sus derivados, un ejemplo de esto es lo que sucedió en las Islas Galápagos el pasado mes de Enero de 2001 en el que derramaron 4403 barriles de diesel, ocasionando un gran desequilibrio ecológico en la isla, sin embargo no se hizo nada para remediarlo.
  - Otra forma de contaminar el mar por petróleo es por el uso de lanchas recreativas, comerciales, y mercantes, refinerías, fabricas de diversos derivados, etc.

Existen técnicas para recuperar o disminuir la contaminación por petróleo, las cuales se pueden dividir en físicas, químicas y biológicas, si se realiza una combinación de 2 o más de estas técnicas el resultado es mucho mejor que si se trata con un solo método

## CAPITULO 12

### CONCLUSIONES.

**D**e acuerdo a la información recopilada se concluye que la biodegradación del petróleo en el ambiente marino de nuestro país, es un proceso que necesita de una legislación específica, formación de recursos humanos calificados y del fortalecimiento de grupos de investigación que estén inculcados con el sector industrial y así evitar que se siga deteriorando dicho ecosistema.

- La degradación microbiana del petróleo esta en función de factores ambientales, nutricionales, cantidad y tipo de microorganismos, así como de la naturaleza del petróleo.
- Las medidas de prevención, mitigación y remediación de un derrame de hidrocarburos en los litorales mexicanos no cumplen o son realmente poco eficientes con estándares que existen en el ámbito internacional.
- Fomentar el uso de los procesos de biorremediación para disminuir rápidamente y atenuar los impactos ecológicos negativos que causa el petróleo en el ambiente marino y cerca de las costas.
- Los tratados, convenios, leyes y normas que rigen la contaminación marina, no están acordes a las necesidades que prevalecen en nuestro país.
- El QFB egresado de la UNAM en colaboración con otros profesionistas podrá tener una participación activa en el campo de la biorremediación para generar tecnologías innovadoras para el tratamiento, limpieza y la rehabilitación ambiental.

## CAPITULO 13

### SUGERENCIAS

**D**ebido a la diversa problemática que existe en el ambiente marino por causa de la contaminación petrolera y por la falta de cultura ecológica nacional e internacional.

La primera sugerencia a tratar es que se deben revisar y actualizar los tratados, convenios, leyes y normas que rigen la contaminación marina en México, como por ejemplo: "La convención Internacional para la Prevención de la Contaminación en las Aguas Marinas por Hidrocarburos", que se publicó el 20 de Julio de 1956. "El convenio internacional relativo a la intervención en alta-mar en caso de accidente que causen una contaminación por hidrocarburos" publicada en Bruselas el 29 de Noviembre de 1969."La convención internacional para la prevención de la contaminación en Barcos (MARPOL) de 1973, y así como esta existen más, como las que se observan en los Apéndices incluidos en este trabajo.

En virtud de que el QFB cuenta con los conocimientos necesarios, se puede invitar a los egresados de esta área a participar en el diseño de nuevas técnicas de monitoreo y/o eliminación de contaminantes marinos, así como interesarlos en diferentes grupos de investigación.

La Q. F. B debe y puede tratar de encontrar nuevas técnicas de biodegradación, así como, empezar a utilizar los métodos de Software que existe para prevenir, mitigar y dar respuesta a los derrames marinos.

Intensificar los esfuerzos de los sectores gubernamentales y privados con las Universidades para prevenir, mitigar y combatir los derrames petroleros en los litorales mexicanos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Golfo de México y el Mar Caribe. Riquezas Naturales en peligro "Tecnología ambiental noviembre / diciembre 1997 pp.12 –14
2. Plan interno de contingencias de petróleos mexicanos para combatir y controlar derrames de hidrocarburos y otras sustancias nocivas en el mar. "Petróleos Mexicanos. Subdirección Técnica Administrativa" 1992
3. Harry R: Beller, Wang-hsien Ding, and Martín Reinhard. "Byoproducts of anaerobic alkylbenzene metabolism useful as indicators of "in situ" biorremediation" Environ. Sci; Technol No. 11 Vol.29: 2864 – 2870 1995
4. Perry F. Churchill, Richard J: Dudley y Shanon A. Churchill, "Surfactant – Enhanced Biorremediation " Waste management No.5 / 6 Vol. 15: 371 – 377. 1995
5. Michael F: Piehler & Hans W. Pearl "Enhance Biodegradation of Diesel Fuel through the Addition of Particulate Organic Carbon and Inorganic Nutrients in Coastal Marine Waters. " Biodegradation 7: 239 – 247 1996
6. Janet M: Strong – Gunderson, Ph.D. Fransisisco Guzman, Ph.D "Advanced Technologies for Enviromental Monitoring and Remediation" Chemical Abs. No. 121853 Vol. 129 no. 9: 2-4 1996
7. Srinivasan Neralla and Richard W: Weaver " Inoculants and biodegradation of crude oil floating on marsh sediments " Biorremediation Journal (1): 89 – 96 1997
8. O. O. Amund and C. O. Igiri " Biodegradation of petroleum hydrocarbons under tropical estuarine conditions" World Journal of Microbiology and Biotechnology 6: 255 – 2662 1990
9. G. Mille, M. Almallah, M, Bianchi, F. Van Wembwkw, and J. C: Bertrand. "Effect of salinity on petroleum biodegradation " Fresenius J. Anal Chem 339: 788 – 791 1991
10. Lic. Patricia C. Galán. "Contaminación petrolera" [www.ambiente-ecologico.com/revist30/contpe30.htm](http://www.ambiente-ecologico.com/revist30/contpe30.htm).

## GLOSARIO.

**ABIÓTICO:** No vivo, la parte o componente no vivo de un sistema

**ACEPTOR DE ELECTRONES:** Compuesto orgánico o inorgánico que es reducido para completar una cadena de transporte de electrones. Compuesto que es reducido en una reacción metabólica redox.

**ADAPTACIÓN:** Cambio en el organismo o población de organismos que les confiere alguna ventaja para vivir con mayor facilidad en las condiciones prevalentes del medio ambiente. La adaptación puede ser genética y /o fisiológica.

**AODC:** Total population of aerobic heterotrophic microbes. (Población total de microorganismos heterotróficos aerobios)

**BARRIL DE CRUDO:** 42 GALONES, equivalente a 159L de crudo

**BETÚN:** Nombre de varias sustancias compuestas de carbón e hidrógeno que se encuentran en la naturaleza, es combustible y tiene un olor peculiar.

**BIÓTICO:** Vivo. La parte o componente vivo de un universo.

**BIOSURFACTANTE:** Compuesto que abate la tensión superficial y favorece la biodegradación (p.e. de hidrocarburos).

**BTEX:** Incluyen al Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos

**BUQUETANQUES:** Barcos de gran tamaño que transporta diferentes líquidos, principalmente petróleo y sus derivados

## APENDICE 1

### CONVENICION INTERNACIONAL PARA LA PREVENCION DE LA POLUCION DE LAS AGUAS DEL MAR POR HIDROCARBUROS

Publicado en el Diario Oficial del 20 de julio de 1956.

ARTICULO 1 Para los fines de la presente Convención, las expresiones siguientes (a reserva de cualquier otro sentido indicado por el contexto) tienen respectivamente la siguiente significación, a saber:

"Desecho": Cuando se trata de hidrocarburos o de una mezcla de hidrocarburos, significa todo vertimiento o huída, sea cual fuere la causa;

"Aceite Diesel pesado": Significa el aceite diesel empleado por los barcos cuya destilación a una temperatura que no exceda de 340°C cuando está sometida a la prueba del método standard A.S.T.M., D 158/53, reduce el volumen en un 50 por ciento cuando más;

"Hidrocarburo": Significa petróleo crudo, fuel-oil, aceite diesel pesado o aceite de engrasado.

ARTICULO 2 La presente Convención se aplicará a los barcos de mar inmatriculados en cualquier territorio que dependa de un Gobierno contratante, con excepción:

(II) De los barcos cuyo tonelaje bruto es inferior a 500 toneladas;

ARTICULO 3 Bajo reserva de las disposiciones de los ARTICULOS IV y V que vienen a continuación, será prohibido a todo barco-cisterna al cual se aplique la presente Convención echar al mar dentro de los límites de cualquiera de las zonas de prohibición previstas en el ANEXO A de la Convención para los barcos-cisterna, los productos siguientes:

(a) Hidrocarburos;

(b) Toda mezcla que contenga hidrocarburos de naturaleza capaz de ensuciar la superficie del mar.

ARTICULO 4 El Artículo III de la presente Convención no se aplicará:

(a) Al desecho de hidrocarburos o de cualquier mezcla de hidrocarburo efectuada por un barco para su seguridad, evitar una avería al barco o a la carga, o salvar vidas humanas en el mar; o

(b) A la acción de verter hidrocarburos o mezclas de hidrocarburos que provengan de una avería o de un escape imposible de evitarse si se han tomado todas las precauciones razonables después de la avería o del descubrimiento del escape para impedir o reducir este vertimiento;



- e) Dar asesoría al C.L.I El E.R.C. no tendrá dominio alguno sobre las funciones y responsabilidades del C.L.I;
- f) Hacer arreglos para coordinar y utilizar al máximo los recursos que puedan aportar dependencias o personas físicas o morales de México, de Estados Unidos de América o de terceros Estados.

### ANEXO III

#### 3. Centros de Respuesta Conjunta

- 1.1 En cuanto entre en vigor el Acuerdo, y sin esperar a que ocurra un incidente, las Autoridades mencionadas en el artículo V designarán Centros de Respuesta Conjunta utilizando preferentemente instalaciones ya existentes, destinadas a servir de sede a las reuniones del E.R.C., a menos que el Presidente del E.R.C. decida convocar al E.R.C. en otro lugar, a la luz de las circunstancias.

### ANEXO IV

#### 4. Fases Operativas

Fase I. Descubrimiento, notificación y alarma.

Fase II. Evaluación del incidente, consultas y acuerdo sobre la respuesta conjunta.

Fase III. Contención y medidas contra la difusión del contaminante.

Fase IV. Limpieza y reparación.

### ANEXO V

#### 5.1 Informes y Comunicaciones.

##### 5.1 Sistema de notificación expedita.

- 5.2 Aun cuando es necesario algún tipo de evaluación para la toma de decisión con respecto a si se inicia o no una respuesta conjunta, es imprescindible que se dé una notificación previa informando que la respuesta conjunta pudiera ser necesaria. Esa notificación en sí no provocará una respuesta conjunta; *permitiría, sin embargo, alertar a las Partes sobre la posibilidad de una acción de tal naturaleza.*

##### 5.3 Inicio de una respuesta conjunta.

##### 5.4 Informes de situación (SITREPS)

##### 5.5 Terminación.

##### 5.6 Informes sobre el incidente

## APÉNDICE 6

### REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL

(Publicado en el D.O.F de fecha 7 de junio de 1988)

#### CAPITULO I

##### DISPOSICIONES GENERALES

**ARTICULO 3o.-** Para los efectos de este reglamento se estará a las definiciones de conceptos que se contienen en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, así como a las siguientes:

**ESTUDIO DE RIESGO:** Documento mediante el cual se da a conocer, a partir del análisis de las acciones proyectadas para el desarrollo de una obra o actividad, los riesgos que dichas obras o actividades representen para el equilibrio ecológico o el ambiente, así como las medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas, tendientes a evitar, mitigar, minimizar o controlar los efectos adversos al equilibrio ecológico en caso de un posible accidente, durante la ejecución u operación normal de la obra o actividad de que se trate;

**IV.- MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN:** Conjunto de disposiciones y acciones anticipadas, que tienen por objeto evitar o reducir los impactos ambientales que pudieran ocurrir en cualquier etapa de desarrollo de una obra o actividad;

**ARTICULO 5o.-** Deberán contar con una previa autorización de la Secretaría, en materia de impacto ambiental, las personas físicas o morales que pretendan realizar obras o actividades, públicas o privadas, que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señalados en los reglamentos y las normas técnicas ecológicas emitidas por la Federación para proteger al ambiente, así como cumplir los requisitos que se les impongan, tratándose de las materias atribuidas a la Federación por los artículos 5o. y 29 de la Ley, particularmente las siguientes:

II.- Obras hidráulicas, con las siguientes excepciones:

c) Pozos (aislados);

IV.- Oleoductos, gasoductos y carbo ductos;

VI.- Exploración, extracción, tratamiento y refinación de sustancias minerales y no minerales reservadas a la Federación, con excepción de las actividades de prospección gravimétrica, geológica superficial,

terceros, acciones de restauración en sitios contaminados que pongan en peligro a la población o al ambiente;

- IX. Aportar los elementos técnicos a la Dirección General Jurídica para demandar ante las instancias que procedan, la restauración de sitios dañados por los particulares y en su caso, brindar los elementos para proceder penalmente cuando así proceda, y
- X. Formular a solicitud de autoridad competente, dictámenes técnicos respecto de daños o perjuicios ocasionados por contingencias o emergencias ambientales, ya sean de origen natural o antropogénico.