

Contaminación Petrolera

Patricia C. Galán

1.- El Petróleo y el Ambiente Marino

Este trabajo tiene por objeto proporcionar una idea general de las interacciones entre los desechos de hidrocarburos y el ambiente marino; en particular, los efectos de la contaminación ambiental provocada por derrames en el mar.

El 71 % de la superficie terrestre está cubierta por océano, que son el depósito final de todos los mayores sistema de aguas que son los ríos, constituyendo 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 % del total. A su vez, éstas representan un 60 % de las fuentes de pescado para consumo humano. Al mismo tiempo, las zonas próximas a las plataformas continentales, representan las de mayor actividad humana, y en particular de exploración y producción de hidrocarburos, de rutas de barcos y otras actividades.

El océano constituye un ecosistema muy dinámico y complejo basado en un fluido, el agua salada, que el hombre está destruyendo por contaminantes químicos, entre ellos el petróleo y sus derivados. Estos entran en contacto con el océano y son diluidos por las mareas, oleajes, tormentas, vientos, corrientes, etc., llegando a comprometer la red alimentaria del medio marino. Más aún, las grandes contaminaciones por petróleo, producido cerca de las costas, pueden causar daños de extrema importancia a las mismas. También afectan a la flora y fauna marina y terrestre, permanentes o migratorias de estas costas.

No solamente la exploración y explotación petroleras pude ser fuente de contaminación, sino también gran parte de la misma se encuentra en las rutas y cercanías de vías utilizadas por los buques tanques petroleros, los cuales lavan y descargan los residuos de fondo. Estos residuos "sludges" o masa viscosa de decantación son eliminados directamente al mar. Como resultado de ello aparecen grandes masas de alquitrán, con componentes de parafinas de largas cadenas, en cantidad mayor a lo que contiene un petróleo crudo, encontradas en el mar y en las playas. Estas masas flotante de residuos de petróleo, de muy lenta degradación, siguen contaminando el medio por largo tiempo.

Se ha considerado siempre que el mar tiene una función "depuradora" sobre la mayoría de las sustancias, porque se "disuelven", se "diluyen" o "desaparecen". Es cierto en gran parte, ya que la actuación y la intervención de los componentes bióticos y abióticos del medio marino lo permite. Los organismos vivientes y en particular los vegetales, especialmente los unicelulares (enzimas, bacterias), son capaces de

actuar sobre los hidrocarburos.

Sin embargo, los hidrocarburos vertidos al mar, al penetrar o ser ingeridos en distintos niveles de la cadena alimentaria, van a ser concentrados gradualmente hasta llegar al hombre, el cual va a ingerir todos los tóxicos acumulados por los niveles tróficos anteriores. Entre estos tóxicos están los hidrocarburos aromáticos polinucleares.

Los microorganismos pueden actuar directamente sobre varios constituyentes químicos en el agua. Los animales marinos captan contaminantes y contribuyen a diseminarlos durante sus migraciones.

Es importante recordar la cadena alimentaria: vegetales ----> animales herbívoros ----> animales carnívoros ----> hombre.

El hombre recibe una dosis de contaminación importante, aunque los organismos consumidos no presenten evidencia de contaminación, ya que la misma es de baja concentración y de efectos de largo plazo.

El problema para el hombre no se detiene aquí: los hidrocarburos se ligan a lípidos, los cuales se movilizan en el cuerpo ligándose a su vez a las proteínas, las cuales pueden llegar a afectar a los ácidos nucleicos (ADN y ADR), con un posible deterioro del código genético y memoria de la especie.

Si consideramos a los organismos marinos bajo este punto de vista, se destruirán la fuente del mayor recurso alimenticio existente y el mayor potencial de recursos bioquímicos que proporcionan los organismos vivientes cerca de las plataformas continentales, o sea la destrucción de los vegetales autótrofos (algas) y desequilibrio del regulador de los procesos biológicos que representa el mar para el planeta.

1.1.- Modificaciones del Ambiente por Contaminación Petrolera

Las consecuencias de la contaminación petrolera para el medio ambiente están todavía en curso de estudio e investigación. Los efectos sobre la fauna y la flora son los más perjudiciales, pues a menudo son irreversibles.

Se puede sintetizar el resultado de una contaminación por sus dos efectos principales:

a) *Efectos mecánicos*: la existencia de una película en la interfase agua-aire tiene por consecuencia la perturbación de los intercambios gaseosos, lo que provoca una disminución del proceso de auto depuración por la disminución de la capacidad de reoxigenación del medio.

Si esta película es importante, puede tener acciones directas de orden mecánico que son particularmente apreciables en las aves. Un ave "empetrolada" pierde su capacidad de flotación y su aislamiento térmico; reduce también la incubación y ciertas especies, tales como los pingüinos (especies *sin* peligro de extinción), pueden ser condenados a destrucción masiva.

Los organismos acuáticos parecen tener mejor grado de protección -ver más

abajo- según la especie. Las algas tienen un comportamiento muy diferente. Los animales protegidos por conchillas tienen cierto grado de protección, aunque los gasterópodos experimentan una mortandad importante.

Más grave aún, es la destrucción de los individuos planctónicos, primer eslabón en la cadena alimenticia de la fauna marina, que puede resultar en modificación notable de todo el ecosistema local.

b) *Efectos tóxicos*: la penetración de los componentes tóxicos del petróleo puede traer como consecuencia la inhibición del metabolismo, acumulación de tóxicos a nivel de la membrana celular provocando la inhibición de los intercambios entre la célula y el mundo exterior; modificación de las propiedades físicas del medio tales como la tensión superficial, el pH, la temperatura, el potencial de óxido reducción; la precipitación de elementos minerales (nitrógeno, fósforo, hormonas, oligo-elementos, vitaminas, etc.), indispensables para la vida de los microorganismos y plancton.

Los productos utilizados para combatir la contaminación pueden también y a su vez representar un peligro por sus efectos tóxicos.

Cabe señalar que los agentes contaminantes en caso de derrame no son solamente los hidrocarburos, sino también los productos orgánicos que provienen de su transformación y los compuestos minerales u orgánicos adicionados al medio receptor durante la lucha contra la contaminación, (existen, sin embargo y a la fecha, productos sintéticos inocuos que pueden dispersar el petróleo, o agentes de "solidificación" de petróleo que resuelven y controlan rápidamente gran parte de la contaminación, cuya toxicidad no se ha detectado hasta el presente).

Independientemente de los síntomas evidentes (color, olor, sabor), el medio experimenta efectos que perturban su equilibrio; el más visible es una desoxigenación del medio receptor debido al consumo de oxígeno por parte de los microorganismos que crecen y se multiplican utilizando como alimentos las materias orgánicas biodegradables. Por otra parte, las transformaciones físicas y químicas en el medio tienen una acción directa sobre los otros seres vivos.

Existen tres criterios generalmente aceptados para determinar la contaminación del agua:

- materia en suspensión (MES),
- demanda biológica de oxígeno (DBO),
- demanda química de oxígeno (DQO).

Para medir cuantitativamente la carga contaminante de un efluente, se acepta la fórmula siguiente :

$$\frac{(2DBO_5 + DQO)}{3} + MES$$

Sin embargo no existe método válido como para medir el DQO en agua de mar, y para que la medida del DBO en laboratorio, sea válida o representativa de la contaminación del medio, es necesario que se reúnan simultáneamente las siguientes condiciones:

- 1) presencia de microorganismos capaces de metabolizar las sustancias orgánicas presentes,
- 2) condiciones favorables de pH y temperatura para la prueba,
- 3) presencia de elementos minerales nutritivo (nitrógeno, fósforo) indispensables para el desarrollo de dichos organismos,
- 4) ausencia de productos tóxicos o inhibidores de la actividad biológica.

El comportamiento del petróleo en el mar varía según:

- su composición,
- características,
- temperatura del agua.

El espesor de la capa aceitosa puede ser de unos centímetros hasta de varios centímetros.

El tiempo de residencia, es decir el tiempo durante el cual el petróleo es detectable, depende también de varios factores y/o del tipo de método que se emplea para su detección.

La degradación del petróleo y la velocidad de su degradación esta influenciada por:

- la luz,
- la temperatura,
- el tipo y número de sustancias nutritivas e inorgánicas que contiene,
- vientos, mareas, corrientes, etc.

Estos factores afectan a la degradación microbiana, la evaporación, la disolución, la dispersión y los procesos de sedimentación. Las fracciones más tóxicas son generalmente las menos susceptibles a la degradación microbiana. Los residuos densos pueden flotar, depositarse en los sedimentos o llegar a la costa como manchas de alquitrán.

En los mares fríos, como el Atlántico Sur, la actividad microbiana es lenta, no sólo porque los mecanismos bacterianos son más lentos, sino también porque el petróleo se vuelve más viscoso y produce una película gruesa que impide o reduce el ataque microbiano. En período invernal, además, la oxidación fotoquímica se reduce por ser los días más cortos.

Las alteraciones que sufre el petróleo derramado en el medio marino se designan bajo el nombre de *intemperización*. Este petróleo intemperizado es bastante diferente

al petróleo producido o recientemente derramado, ya que pierde muchos de sus componentes solubles o volátiles. Este crudo puede dañar a los organismos marinos, permanecer en los sedimentos y dañar a las aves.

La degradación natural de los hidrocarburos en el mar incluye los siguientes procesos:

a) *Dispersión*: este proceso que es el primero en producirse atenúa la película aceitosa hasta unos milímetros y depende de la viscosidad, la tensión superficial del petróleo y del agua, y del factor tiempo.

b) *Evaporación*: los compuestos de petróleo de bajo peso molecular y de bajo punto de ebullición se volatilizan, dependiendo también de la viscosidad del petróleo, de sus características y de las condiciones climáticas imperantes.

c) *Disolución*: gran parte de los componentes de bajo peso molecular se separan de la masa de hidrocarburos y se disuelven en el medio marino. Aquí también los parámetros arriba indicados tienen su influencia. Generalmente este mecanismo es largo, ya que los procesos de oxidación y degradación microbiana producen compuestos polares que también se disuelven en el agua.

d) *Emulsificación*: el petróleo se mezcla con el agua de mar o viceversa, el agua se mezcla con el petróleo.

e) *Auto-oxidación*: reacción catalizada por la luz y el oxígeno del aire para formar cetonas, aldehídos, alcoholes y ácidos carboxílicos (todos compuestos polares) que se disuelven en el agua o actúan como detergentes u agentes emulsificantes.

f) *Degradación microbiana*: puede ser de dos tipos, aeróbica o anaeróbica. El petróleo es una fuente alimenticia de ciertas bacterias, enzimas, actinomicetes, hongos y levaduras.

- *Oxidación Aeróbica*: los microorganismos que oxidan el petróleo necesitan oxígeno, en la forma disuelta o en la forma libre. Por lo tanto, la degradación biológica ocurre en la interfase aire-agua. Bajo la superficie de la columna de agua o en el fondo del mar, esta degradación es muy limitada.

- *Oxidación Anaeróbica*: algunos organismos pueden oxidar el petróleo sin presencia de oxígeno. Estos utilizan los nitratos o los sulfatos como fuente de oxidación. Las pseudo monas aeruginosa, por ej., utilizan los n-hexadecano para reducir los nitratos a nitritos.

g) *Hundimiento*: la evaporación, la disolución y la oxidación del petróleo pueden provocar un aumento de su peso específico y permitir el hundimiento del mismo.

h) *Resurgimiento*: cuando la densidad del petróleo hundido se reduce por efecto de una prolongada oxidación anaerobia, el petróleo puede volver a flotar otra vez y los procesos anteriores se producirán nuevamente hasta desaparición completa o contaminación de una costa.

1.2.- *La Materia y la Columna de Agua*

La “columna de agua” se refiere a la proporción, o segmento vertical del mar, cuyo techo es la superficie del mar, y la base es el fondo marino, la cual tiene cierta estratificación que recibe la influencia de estímulos o factores externos, fauna y/o flora, típicos de las diversas capas y que migran de un estrato a otro.

Esta *columna de agua* constituye una referencia de estudio y permite analizar y explicar el biodinamismo del océano. Tiene suma importancia en el comportamiento y circulación del petróleo y demás productos derramados en el mar, ya que afectándose la *columna de agua*, se perjudica todo el ecosistema marino.

La existencia de materia orgánica en los océanos, aunque lejos de constituir un componente mayor, representa un elemento que permite la vida de las cuencas marinas. Se estima que los océanos y mares contienen 2.6×10^{12} toneladas de esta materia, siendo las cuencas mediterráneas las más ricas en ella.

Dentro de cada cuenca dicha materia orgánica no está uniformemente distribuida, con concentraciones generalmente mayores cerca de las costas y en las aguas someras. La concentración y distribución de las mismas varían también según la profundidad, con mayores niveles cerca de la superficie del mar y alguna declinación en las profundidades.

Esta materia orgánica se encuentra en forma de soluciones, coloides, suspensiones de organismos vivos y detritos orgánicos. Son de diferente composición química; sea complejos de carbohidratos y proteínas de alta estabilidad química, sea productos inestables de degradación, organismos vivos, muertos y metabólicos.

Entre los organismos del fitoplancton, los principales productores de materia orgánica son los diatomeas y las peridineas.

Las diatomeas, algas unicelulares con esqueleto externo silicio que viven en las aguas templadas hasta frías, se multiplican muy rápidamente y juegan un papel importante en la sedimentación. Las peridineas viven en aguas más calientes.

El fitoplancton vive gracias a su actividad fotosintética, dada por la radiación solar, y su tarea de crecimiento es proporcional a la intensidad luminosa. La iluminación es por lo tanto uno de los factores más importantes en la distribución del fitoplancton y por eso se encuentra en las “capas” bien iluminadas del agua, es decir desde la superficie hasta unos 100 metros de profundidad. La cantidad del fitoplancton varía también según la cantidad y concentración de sales nutritivas que componen el agua del mar.

Este fitoplancton es consumido en cantidades considerables por el zooplancton fitófago que vive gracias a ello, y a su vez, el zooplancton es el alimento de los crustáceos y pequeños peces, los cuales proveen el alimento de los grandes peces, ballenas, delfines y aves marinas.

En otras palabras, el fitoplacton, debido a la materia orgánica y al oxígeno producido por fotosíntesis, constituye el eslabón inicial de toda cadena alimentaria.

Mas aún, las cantidades de varios organismos marinos son cautivamente dependientes unas de las otras: la cantidad de luz y la abundancia de ciertos peces, por ejemplo.

Existe también una conexión entre la distribución vertical del fitoplancton y la del zoo plancton en la "columna de agua". Es así, por ejemplo, que cerca de la superficie del mar la biomasa de zoo plancton puede alcanzar 1 gr./m³ mientras que es inexistente a 500 metros y mas abajo.

Mas del 90 % del plancton está localizado en los 100 primeros metros de profundidad, por esto se distinguen dos zonas, la zona productora que es la zona iluminada (fotosíntesis) y la zona consumidora que se encuentra justo por debajo de la productora.

Por lo antes expuesto es que se produce una migración de los consumidores.

Cuando hay oscuridad, los animales se congregan más cerca de la superficie donde se alimentan y sirven a su vez de alimentación a otros predadores. Cuando sale el sol, los mismos comienzan a migrar a profundidades mayores. Esta migración en la *columna de agua* va desde la superficie hasta 800 metros o más de profundidad.

Como resultado de estas migraciones diarias y nocturnas de los animales, la materia orgánica es transportada a zonas muy profundas, existiendo así mismo una conexión entre la zona superficial (productora) y la abisal (consumidora). Esta escalera de migraciones constituye una "vía" activa para el transporte del petróleo y sus productos desde la superficie hasta los sedimentos del fondo marino.

Por ende, existen tres vías por la que los hidrocarburos pueden llegar hasta los sedimentos del fondo marino:

- a) *Hundimiento*. Al aumentar la densidad de petróleo después de los procesos de los procesos de intemperización.
- b) A través de la *columna de agua*.
- c) A través de la *lluvia de cuerpos*, producto del hundimiento de los microorganismos del plancton muerto al contacto con el petróleo.

A través de los eslabones de la cadena alimentaria de la columna de agua, se va concentrando el contenido de hidrocarburos hasta llegar a los sedimentos y los predadores del fondo marino.

1.3.- *El Petróleo y su Toxicidad sobre el Ecosistema*

Los daños causados por la contaminación por petróleo son varios. Reducción o destrucción de la vida marina, destrucción de los hábitat de toda forma de vida silvestre, reducción total o parcial de las playas costeras y sus animales. En particular, sufrimiento y mortalidad de las aves, tales como las gaviotas y pingüinos, inmovilizados por "empetrolamiento".

Aunque todos los efectos tóxicos del petróleo son de difícil evaluación, debido a la amplia gama de compuestos químicos que lo compone.

Las principales propiedades del petróleo que influyen sobre el medio ambiente

son las siguientes:

a) *Toxicidad*: Los hidrocarburos aromáticos de bajo punto de ebullición son letales para casi todos los organismos terrestres y marinos. Algunos de los hidrocarburos parafínicos son menos tóxicos y hasta no tóxicos para los seres vivientes.

b) *Solubilidad*: Los hidrocarburos de alto peso molecular son insolubles en agua. Los derivados del benceno y los naftalenos pueden solubilizarse en agua. Dicha solubilidad influirá en la toxicidad del componente de petróleo en el ámbito marino.

c) *Biodegradabilidad*: La biodegradación del petróleo es función de sus características y peso molecular de sus componentes, por lo cual la tasa de degradación debe estudiarse y referirse al tipo de petróleo producido. Para el caso presente, referirse al análisis del petróleo producido en el área Magallanes (formación, en el capítulo *Operaciones Terrestres y BRM*).

d) *Volatilidad, densidad y actividad superficial*: Indican las tendencias del petróleo y de sus componentes a la evaporación, a hundirse o a dispersarse fácilmente o no.

e) *Carcinogenecidad*: Varios componentes del petróleo tienen sustancias potencialmente carcinógenas.

El petróleo o cualquier tipo de hidrocarburo, crudo o refinado, daña la ecología marina a través de diferentes efectos:

- Muerte de los organismos por asfixia.
- Muerte de los organismos por envenenamiento, sea por absorción o por contacto.
- Muerte por exposición a los componentes tóxicos del petróleo, solubles en agua.
- Destrucción de los organismos jóvenes o recién nacidos.
- Destrucción de las fuentes alimenticias de las especies superiores.
- Disminución de la resistencia, infecciones, etc. de las especies y en particular de las aves por absorción de cantidades subletales de petróleo.
- Incorporación de carcinógenos en la cadena alimentaria.
- Efectos negativos sobre la reproducción y propagación a la fauna y flora marina.

No solamente el petróleo crudo es tóxico, lo es todavía más todo subproducto refinado como, por ejemplo, el kerosene o el fuel - oil, utilizados en los motores de barcos, lanchas y plataformas de perforación o producción. Estos combustibles contienen elementos tóxicos solubles en agua y son de difícil y lenta degradación, que pueden matar directamente toda la vida costera o cercana a un derrame.

Los hidrocarburos saturados de bajo punto de ebullición, fácilmente solubles en agua de mar, producen anestesia y narcosis en los animales "contaminados", y muertes a altas concentraciones. Es conocido que el ciclo propano y el eteno son

anestésicos potentes.

Los hidrocarburos saturados de alto punto de ebullición están presentes naturalmente en muchos organismos marinos y no son altamente tóxicos, sin embargo pueden interferir con la recepción de los estímulos químicos que utilizan ciertos animales marinos para comunicarse entre sí.

Los hidrocarburos aromáticos son altamente tóxicos. Los aromáticos de bajo punto de ebullición son solubles en agua y pueden matar por contacto (benceno, tolueno, xileno). Los aromáticos de alto punto de ebullición y en particular los aromáticos polinucleares pueden ser venenosos largo plazo. El naftaleno y el fenantreno, por ejemplo, son más tóxicos para los peces que el xileno o benceno.

Los hidrocarburos olefínicos, intermedios en estructura, propiedades y en toxicidad entre los saturados y los aromáticos están ausentes en el petróleo crudo, pero existen los productos refinados como la gasolina y como los combustibles que son altamente peligrosos para las poblaciones macro bentónicas, por alterar el equilibrio de las mismas por largo tiempo.

1.4.- *Efectos del Petróleo sobre la Flora Marina y Terrestre*

Hidrocarburos similares o idénticos a los encontrados en el petróleo son constituyentes comunes en muchos vegetales. El "Kelp", por ejemplo, es una típica "fábrica" de hidrocarburos producidos fotosintéticamente. Los microorganismos contienen a su vez un aproximado a 0,03 % de hidrocarburos.

El petróleo puede constituir un sustrato para algunos microorganismos vegetales y pueden encontrarse en los tanques de almacenamiento y en los depósitos de combustibles.

El mar contiene abundante flora microbiana, capaz de metabolizar el petróleo y sus compuestos, hasta degradar el petróleo gracias a sus enzimas específicas.

Sin embargo se necesita oxígeno, disuelto o libre, para que los microorganismos oxiden a los hidrocarburos. Algunos como por ejemplo la "pseudomonas aeruginosa" reducen nitrato a nitrito metabolizando n-octano o n-hexadecano y no necesitan oxígeno.

Cabe señalar que si bien el petróleo puede ser *biodegradado* por estos microorganismos, las sustancias mas tóxicas son muy lentamente o no atacadas. Por otra parte la oxidación bacteriana de los hidrocarburos produce varios compuestos intermedios que pueden resultar tóxicos para el medio ambiente y hasta para las bacterias. También, ciertos compuestos del petróleo pueden ser bactericidas, es decir inhibidores o reductores de la degradación.

La oxidación completa de 4 litros de petróleo crudo requiere una cantidad de oxígeno disuelto de aproximadamente 1.300 m³ de agua de mar y, por lo tanto, la oxidación es muy lenta, más aún si la zona marítima ha sido previamente contaminada.

La temperatura del agua constituye un factor importante en la velocidad de biodegradación (oxidación) y las aguas frías como las del Atlántico Sur, por ejemplo, no son las más propicias a una rápida degradación. Los hidrocarburos o en el lecho marino profundo, por falta de luz y oxígeno, no tendrán, o lo tendrán de manera extremadamente lenta, degradación bacteriana.

La degradación por oxidación y descomposición microbiana estarán muy retardadas y serán hasta nulas, si el agua de la cuenca ha sido contaminada reiteradamente y con sus variados ecosistemas parcial o totalmente destruidos.

Las algas son aparentemente menos sensibles que los animales a la contaminación por petróleo y presentan diferentes reacciones a dichas contaminaciones.

Los "Kelps" (*Macrocystis*), parecen tener una protección dada por su secreción de mucus, lo mismo que algunas algas verdes filamentosas. Otras, las algas rojas (*Porphyra*) mueren al contacto con el petróleo y con agua con 2 ppm de contenido de hidrocarburos y adquieren el olor a petróleo.

Se ha observado cierta proliferación de algas en zonas contaminadas, pero este proceso parece imputable a la desaparición de los moluscos herbívoros que controlan las mismas y su crecimiento indebido de ciertas algas tal como la "*Enteromorpha*" o la "*Fucus vesiculosus*" determina la declinación de especies animales tales como los crustáceos cirripedios.

Algunas algas verdes, tales como la *Ulva lactuca*, la *Gratelupia dichotoma* y la *Polysiphonia*, mueren por la inhibición de la fotosíntesis y biosíntesis ocasionada por el petróleo.

La *Pophyra tenera* o alga roja de cultivo, al ser contaminada por petróleo, desarrolla una enfermedad carcinomatosa.

En el fitoplancton, a grados diversos según su especie, el contacto con el petróleo provoca muerte más o menos lenta. Por ejemplo las diatomeas de tipo *Licmophora ehrenbergii*, *Coscinodiscus granii*, *Melosira monolimorfosis*, *Prorocentrum trochoideum*, *p7 3 Peridinium trochoideum* mueren con una concentración de petróleo de 1 ml/l en agua de mar, con exposición inferior a una semana. Si bien el petróleo o el agua contaminada pueden ser removidos por las mareas, vientos o corrientes, una breve exposición puede provocar un retardo en el desarrollo y crecimiento de los mismos.

Los líquenes que viven en las costas rocosas están afectados por el petróleo, de manera diferente según la especie.

Las plantas costeras que crecen en las arenas o en las marismas tienen también respuestas diferentes a la contaminación, por ejemplo, el pasto marino (*Phyllospadix*) muere.

Algunas plantas mueren y se recuperan por brotes; otras se restablecen después de largo tiempo.

Cabe destacar que en el caso de las plantas de playa, si la contaminación ocurrió

durante el periodo invernal, cuando el crecimiento es leve o adormecido (*Juncus gerardii*, *Spartina anglica*), el crecimiento en primavera se realiza normalmente, una vez que la contaminación ha desaparecido.

De acuerdo con las observaciones y estudios de respuesta de las plantas, frente a una contaminación petrolera, se ha podido establecer una escala de resistencia:

a) *Plantas muy susceptibles a la contaminación*: las de raíces de poca profundidad, con reservas alimenticias muy bajas. No se recuperan y mueren - Ej. *Suaeda marítima*.

b) *Plantas susceptibles*: plantas perennes arbustivas, con los extremos de las ramas expuestos al petróleo.

Ejemplo: *Halimione portulacoides*.

Algas verdes filamentosas.

c) *Plantas Intermedias*: plantas perennes que aceptan una o dos contaminación y luego declinan en otra. Ej. *Spartina anglica*, *Puccinellia marítima*.

d) *Plantas resistentes*: plantas perennes con grandes reservas alimenticias y en particular las que mueren superficialmente en invierno. Ej. *Armenia marítima*.

e) *Plantas muy resistentes*: del mismo tipo que d) y que además tienen resistencia a nivel celular. Ej. Familia de las *Umbíferas*.

Por supuesto, en cada *segmento* o *escala* indicada, la respuesta puede ser diferente según el tamaño, la morfología y fisiología de las plantas.

1.5.- Efecto del Petróleo en Animales

Los protozoos: no existen muchos datos sobre los efectos del petróleo sobre los unicelulares. Los hidrocarburos de alto peso molecular no parecen realizar mayor daño sobre los protozoarios. Sin embargo, las amebas expuestas a hidrocarburos de bajo peso molecular (tóxicos) mueren.

Los corales: Los corales representan un gran grupo de animales de gran importancia para la vida de otros animales y del ecosistema local en general. Las especies de corales que segregan mucus parecen protegerse contra el petróleo. En el caso de la *Favia speciosa*, la *Porites compressa*, la *Motipora verrucosa*, la *Fungia scutaria*.

En otras especies, se observa alteración de "conducta", con reacciones de la abertura bucal, relacionada con la alimentación del coral. Se han observado, en dichas contaminaciones, retardo de crecimiento y reducción de la sobrevivencia de la mayor parte de los corales.

Los Anélidos: Los anélidos han sido utilizados como indicadores de ambientes marinos contaminados, en particular la *Capitella capitata*, especie que se encuentra en todos los mares y que vive en los sedimentos que reciben efluentes de los desagües domésticos y en sedimentos ricos en productos de desechos de las refinerías de petróleo.

Los Crustáceos: En el grupo de los copépodos se encuentran muchos crustáceos que componen el zooplancton. Estos copépodos son sensibles a concentraciones de petróleo de 0,5 a 0,1 ml/l y mueren, salvo algunas excepciones.

En el grupo de los cirripedios o más conocidos como "picos de mar" viven generalmente en la zonas cubiertas y descubiertas por las mareas. La mayor parte muere por asfixia, y los sobrevivientes con petróleo adherido demuestran gran dificultad de respiración, nutrición, etc.

En el grupo de los isópodos, especie bentónica de las aguas frías, más conocidos como "bichos bolitas", se han notado una resistencia notable a las contaminaciones, aunque no existen estudios para definir el comportamiento a posteriori.

Los Anfípodos, o pulgas de mar, presentan una repulsión por el petróleo y la capacidad de evitar algún contacto con el mismo.

Los Decápodos o crustáceos superiores tales como los camarones, las centollas, el cangrejo, etc. tienen una resistencia notable a las contaminaciones, en el estado adulto. Las larvas no resisten; algunas, sensibles a la contaminación, migran a lugares más apropiados en caso de detectarla.

Los Moluscos: Los gasterópodos demuestran comportamientos, reacciones y resistencias diferentes según las especies. La mayor parte de los que viven cerca del litoral son más resistentes a los hidrocarburos tóxicos que los que viven mar adentro.

Los bivalvos tales como los mejillones, cholgas, choros, tienen la particularidad de resistir a las contaminaciones, ya que captan los hidrocarburos (saturados y aromáticos) y los acumulan con pequeñas desintegraciones metabólicas. Es decir, los mejillones son capaces de degradar los hidrocarburos, pero en caso de contaminación no son aptos para el consumo humano.

Los Peces: El petróleo y sus derivados en el mar son altamente tóxicos para los huevos de los peces, pero las larvas son algo más resistentes. Los peces que nacen de huevos contaminados son generalmente anormales.

Los peces grandes adquieren olor a hidrocarburo, tanto del mar como del lecho marino. Este olor se comunica a través de las branquias, que generalmente desaparece con el lavado con agua limpia.

Los efectos a largo plazo de la contaminación sobre los peces igual que sobre otros animales marinos y mamíferos resultan en cambios de metabolismo lípidos, con acumulación de grasas en el hígado y otros tejidos.

Las Aves: El petróleo y sus derivados provocan daños importantes sobre la avifauna y, en particular, el petróleo fresco. Por una parte ciertas aves suelen ingerir las "bolitas" de petróleo o deglutiirlas a sus pichones, y por otra parte el "empetrolamiento" de las aves modifica su flotabilidad, el poder aislante y térmico de su plumaje, y se produce la muerte por hipotermia y la imposibilidad de volar.