

LA VULNERABILIDAD DE LOS AMBIENTES COSTEROS A LOS IMPACTOS DE  
DERRAMES DE PETROLEO

Erich R. Gundlach y Miles O. Hayes  
Universidad de Carolina del Sur

Los planes de contingencia para derrames de petróleo se están convirtiendo en una necesidad para casi todas las vías fluviales y costaneras de los Estados Unidos. Una parte importante de un plan de contingencia útil es la protección de esos ambientes costaneros que puedan ser dañados seriamente por contaminación con petróleo en caso de un derrame.

Usando como base los estudios de campo de cinco importantes derrames de petróleo y revisando la literatura existente, los principales ambientes costaneros han sido clasificados en una escala del 1 al 10 en términos de vulnerabilidad potencial a los daños ocurridos por derrame de petróleo. La escala hace énfasis en el tiempo de permanencia del petróleo, considerando los impactos biológicos iniciales. Arrecifes rocosos y plataformas en rocas cortadas por las olas (1 y 2 en el Índice de Vulnerabilidad) son generalmente los menos afectados por un derrame de petróleo. Las playas de arena gruesa o guijarros, las cuales están sujetas al enterramiento y penetración del petróleo, tienen asignado un valor intermedio en el índice de 4 a 7. Aquellos ambientes protegidos como costas rocosas protegidas, pantanos salinos y manglares (valores en el índice de 8 a 10), son los ambientes que tienen más probabilidades de verse afectados adversamente por los derrames de petróleo. Por ejemplo, para algunas áreas de pantanos salinos el tiempo de permanencia está calculado en más de 10 años.

INTRODUCCION

Los planes de contingencia contra derrames de petróleo están convirtiéndose rápidamente en algo común, a niveles tanto regional como local, en respuesta a la preocupación pública sobre el ambiente. Un plan de contingencia bien desarrollado involucra: (1) la delineación de posibles causas de derrames y los patrones de dispersión subsecuentes; (2) selección del sitio para colocación de barreras de contención, locales de recolección del petróleo y sitios donde

deshacerse de los desechos petrolizados; (3) determinar los métodos apropiados de limpieza y control del derrame; (4) un sistema bien organizado y coordinado de respuesta rápida a cualquier derrame de petróleo.

Una parte integral de este esfuerzo es la determinación de cuales serían los ambientes de la costa que resultarían dañados más seriamente por un derrame de petróleo para que les mismos puedan recibir protección prioritaria. Este informe introduce una clasificación de los ambientes costaneros en términos de vulnerabilidad potencial al daño por un derrame de petróleo y sugiere los métodos indicados de respuesta a la contaminación por petróleo para cada una. También se presenta un método rápido para determinar el tipo ambiental y aplicar la clasificación indicada.

La necesidad de los planes de contingencia para derrames de petróleo ha sido llevada a la atención nacional debido a la racha de accidentes relacionados con el petróleo, que tuvieron lugar entre el 15 de Diciembre de 1976 y el 15 de Febrero de 1977. En esta lista estaba incluido el naufragio del "Argo Merchant" (7.000.000 galones; el más grande derrame de un tanquero ocurrido en aguas territoriales de los Estados Unidos); la explosión del tanquero "Sansinena" en Los Angeles (9 muertos, 50 heridos) y una serie de otros derrames en el rio Tamesis, en Connecticut; en el Rio Delaware, en Pennsylvania; en el Rio Hudson, en New York; y en la Bahia Buzzards, en Massachusetts.

Los incidentes relacionados con el transporte de petróleo (accidentes de tanqueros, descarga desde mar afuera hacia las facilidades portuarias y operaciones normales de barcos) son los causantes de más de una tercera parte de los 6,1 millones de toneladas métricas de petróleo que entran al ambiente marino anualmente. Los accidentes de tanqueros son claramente la más visible causa de contaminación por petróleo y están en el centro de la opinión pública en lo que se refiere a los derrames de petróleo.

Desde 1971, el Servicio de Guardacostas de los Estados Unidos ha sido responsable de la recolección y análisis de datos concernientes a la ocurrencia, localización y tamaño de los derrames de petróleo dentro del territorio de los Estados Unidos. Durante 1974 se reportaron 11.440 incidentes de polución por petróleo, de los cuales la actividad de barcos corresponde al 26% del número total de incidentes y el 25% de los 15.802.000 de galones perdidos. Las pérdidas de petróleo de las instalaciones marinas eran otro 6% de los incidentes y 8% de la pérdida del volumen total. Las aguas costaneras experimentaron un total del 70% de los incidentes relacionados con el petróleo, mientras que las aguas de tierra adentro recibieron un 20% adicional del total.

Desde 1971, ha habido un aumento de 52% en el número reportado de descargas de petróleo y un 83% de aumento en el volumen de la pérdida de petróleo. El aumento de la dependencia de los Estados Unidos en el petróleo importado solamente puede llevarnos a más accidentes de tanqueros y el daño ambiental resultante. La planificación anticipada contra los derrames de petróleo, realizada en los sitios críticos, pueden ayudar a minimizar el potencial desastre.

Estudios realizados en los sitios de ocurrencia de una cantidad de derrames de petróleo (Tabla 1) por nuestro grupo de investigación (Grupo Asesor de Derrames de Petróleo, Universidad de Carolina del Sur), ha permitido la observación directa de la respuesta y reacción de una variedad de diferentes ambientes costeros a los impactos del petróleo.

Estudios del sitio del derrame del "Metula" (un año, año y medio y dos años después del derrame) muestran cantidades variables de petróleo en playas de arena mixta y de guijaros, planicies de inundación y pantanos protegidos.

El derrame de petróleo del "Urquiola" en en noroeste de España afectó costas rocosas protegidas y desprotegidas, pantanos, planicies de inundación y playas recreacionales de arena fina y gruesa.

<u>Derrame</u>	<u>Fecha</u>	<u>Tipo de Petróleo y Cantidad</u>	<u>Línea de Costa Afectada</u>	<u>Metodos de Control y Tratamientos</u>	<u>Estudios de 1a EADP</u>
EN CALIDAD DE OBSERVADORES					
Argo Merchant, 17 millas fuera de la Isla de Nantucket en los EE.UU.	Dec. 1976	Fuel oil N° 6; 27.000 toneladas	Ninguna	El mar en condicio- muy fuertes no per- mitió el uso efec- tivo de los equipos	Vuelo de reconoci- miento Dec. 23, 1976
Plataforma Ekofisk Mar del Norte, 140 millas al suroeste de Noruega	Abril 22-30 1977	Crudo del Mar del Norte; 22.000 tons. perdidas	Ninguna	Las barreras flo- tantes y desnata- dores no fueron muy efectivas	25-30 Abril 1977

El derrame del "Jakob Maersk" contaminó playas de arena, expuestas y protegidas, y costas rocosas. Los derrames de las gabarras petroleras "Bouchard #65" y "Ethel H." demostraron la interacción petróleo-hielo que puede esperarse de derrames ocurridos bajo condiciones árticas. En cada derrame, excepto el del "Metula", se trató de limpiar, con muchos diferentes resultados. De estos estudios y del análisis de la literatura respectiva, se desarrolló el siguiente esquema de clasificación.

### CLASIFICACION PROPUESTA

Los ambientes costeros han sido clasificados en una escala del 1 al 10 en términos de vulnerabilidad potencial a daños por derrames de petróleo. Esta escala es llamada Índice de Vulnerabilidad y está resumida en la Tabla 2. La vulnerabilidad está basada en la interacción de la costa con los procesos físicos que controlan la deposición del petróleo, persistencia observada o longevidad del petróleo en ese ambiente y la extensión del daño biológico. La predicción de la respuesta biológica a la contaminación por petróleo es sumamente difícil. Entre otros factores la reacción variará con el tipo y la cantidad de petróleo derramado, época del año, etapa de la vida del organismo y tiempo de exposición al contaminante. Por lo tanto, la información biológica presentada es solamente general y debe ser suplementada con datos de campo obtenidos durante el estudio del área del plan de contingencia. Los ambientes cubiertos en nuestra clasificación son indicados más abajo en orden creciente de vulnerabilidad al daño de los derrames de petróleo.

1. Promontorios rocosos y rocas de buzamiento muy pronunciado expuestos a la acción de las olas.

Los promontorios rocosos expuestos son muy comunes en la costa este de Norte América, en la parte norte de Nueva Inglaterra y Nueva Escocia y a lo largo de la Costa del Pacífico, desde Baja California hasta Alaska.

TABLA N° 1

DERRAMES DE PETROLEO ESTUDIADOS POR EL EADP(\*)

<u>Derrame</u>	<u>Fecha</u>	<u>Tipo de Petróleo y Cantidad</u>	<u>Línea de Costa Afectada</u>	<u>Metodos de Control y Tratamientos</u>	<u>Estudios de la EADP</u>
Metula Estrecho Magallanes Chile	Agosto 1974	Crudo de Arabia Saudita(3% Bunker C) Total 53.000 tons.; 40.000 toneladas en la costa	150 kms playas de arena y grava; estuarios; pantanos/planicies de inundación	Ninguna acción de limpieza	12-20 Agosto 1975 4 Feb/13 Mar.1976 12-23 Agosto 1976
Urquiola La Coruña España	Mayo 1976	Crudo del Golfo Pérsico (2% Bunker C) Total 110.000 tons., 25/30.000 toneladas en la costa	215 kms playa de arena; costas rocosas; estuarios; pantanos/planicies de inundación.	Dispersantes Barreras flotantes y bombas; Maquinaria pesada Obreros	17 Mayo al 10 de Junio 1976
Jakob Maersk Porto Portugal	Enero 1975	Crudo Iraní (2% Bunker C) Total 80.000 tons.; 15-20.000 toneladas en la costa	Playas de arena; costas rocosas; instalaciones costaneras	Dispersantes Barreras flotantes Maquinaria pesada Obreros	4-6 Junio 1976
Bouchard #65 Area de Wings Neck Bahía de Buzzards Mass., EE.UU.	Enero 1977	Fuel oil N° 2; 275 toneladas	Aprox. 1-2 kms. hielo rápido playas protegidas	Bombas de succión Sorbentes	30 Ene./3 Feb.1977
Ethel H bajo Rio Hudson, New York, EE.UU.	Feb. 1977	Fuel oil N° 6; 1.500 toneladas perdidas	10 kms de costa; muy poco daño aparente debido al hielo rápido en la costa	Barreras flotantes Desnatadores de hielo. (Camión de succión en LCM)	7-8 Feb. 1977

(\*) Equipo Asesor de Derrames de Petróleo de la División de Investigación Costera, Universidad de Carolina del Sur.

La mayoría de las áreas de este tipo están expuestas a energía de grandes olas. Las olas que entran se reflejan fuertemente en las escarpadas rocas, generando usualmente un reflujó de regreso (resaca).

En caso de un derrame de petróleo, este reflujó de regreso mantendría la mayor parte del petróleo lejos de las rocas. Este proceso fue observado en varias localidades durante el derrame del "Urquiola" en España. Las partes expuestas de la costa rocosa escaparon completamente al daño del petróleo.

Estudios en Bermuda han demostrado que el alquitrán de numerosos accidentes de derrames, en forma similar, no tuvieron oportunidad de pegarse a las vertientes verticales a lo largo de la costa, debido a la acción constante de las olas. Además, la gran acción de mezclado, asociada con la zona de salpicadura en la base de las rocas, ayuda en el proceso natural de desintegración del petróleo en partículas más pequeñas que son degradadas más fácilmente por bacterias. La limpieza y control de derrames de petróleo es generalmente innecesaria en estas costas debido al bajo nivel de contaminación y la rápida rata de limpieza natural.

## 2. Plataformas erosionadas por las olas

Estas áreas consisten en playas estrechas bañadas por olas enfrente de material glacial erosionado (como en la costa norte de Long Island) o plataforma cortadas directamente en roca sedimentaria o cristalina que puede estar cubierta con arena o guijaros (como en las costas de California y Alaska). La acción de las olas es generalmente alta y una limpieza natural de las playas tiene lugar rápidamente, generalmente en pocas semanas. En el sitio del derrame del "Metula", áreas de este tipo fueron limpiadas completamente de petróleo en el momento de nuestra primera visita al sitio, un año después del derrame. La taza de la remoción del petróleo es una función del comportamiento de las olas, mientras grande es la energía de la ola, más rápidamente se removerá el petróleo. En la mayoría de los casos no se necesitan métodos de limpieza o control de derrames.

### 3. Playas planas de arena fina:

Las playas de arena fina (tamaño del grano 0,0625-0,25 mm.) usualmente tienen un perfil plano y son muy compactas, como la playa de Daytona, Florida, donde los carros pueden manejarse por la playa. La biota indígena consiste generalmente en moluscos (i.e. almejas), infauna (especialmente anfípodos) y meiofauna (organismos de 0,05 mm. que viven en agua intersticia entre los granos de arena). Varios estudios han indicado que los daños a estos organismos pueden ser severos durante un derrame de petróleo. Nuestras observaciones durante el derrame del "Urquiola" apoyan este argumento. En varias de las playas de arena fina llenas de petróleo, se encontraron miles de anfípodos muertos a lo largo de la línea de la marea alta. Sin embargo, aunque el daño biológico inicial puede ser grande, la repoblación de la playa puede ocurrir en el período de un año, dependiendo de la extensión y persistencia del petróleo y las propiedades inherentes del ecosistema.

La limpieza del petróleo es ayudada por la compactación de los granos en una playa de arena fina, la cual inhibe efectivamente la penetración del petróleo a menos de unos pocos centímetros debajo de la superficie. Una capa delgada de petróleo en la superficie puede muchas veces recogerse de la superficie con una máquina recogedora. Cuando hay una gran acumulación de petróleo el método más eficiente es el uso de una raspadora/motorizada junto con un recogedor elevador motorizado.

Se deben tomar las siguientes precauciones: (1) esperar hasta que todo el petróleo está en la playa; (2) no pasar repetidamente sobre las partes donde está el petróleo (metiéndose más profundamente el petróleo en la playa); y (3) remover sólo mínimas cantidades de arena. La erosión de la playa a largo plazo puede convertirse en un serio problema si se remueven cantidades excesivas de arena. El rastrillar manualmente puede ser adecuado y menos costoso para remover acumulaciones de petróleo de suaves a moderadas.

#### 4. Playas inclinadas de granos medianos a gruesos:

Estas playas (tamaño del grano de 0,25-2,0 mm.) están presentes en una variedad de ambientes costeros, variando desde playas de energía baja a lo largo de la Costa del Golfo, a ambientes de mayor energía a lo largo de las Costas del Pacífico y del Atlántico). La actividad biológica es relativamente baja y generalmente no de mayor consideración.

El petróleo que entra puede hundirse fácilmente 15-25 cms. en la arena y puede enterrarse por procesos naturales a una profundidad mucha mayor. En Playa de Doniños, España, una playa de alta energía de olas impactada por el derrame del "Urquiola", el petróleo se enterró en capas no continuas de 50-100 cms. debajo de la superficie de la playa después de unos días del impacto inicial del petróleo.

La limpieza del derrame del petróleo se torna muy difícil cuando el petróleo se entierra profundamente en la playa. La remoción completa de todo el sedimento contaminado por el petróleo puede resultar en un daño permanente a la playa.

Como un problema adicional, la maquinaria pesada puede quedarse atascada e inmobilizada en la arena poco compacta. Afortunadamente los mismos procesos en las playas de alta energía que causan el enterramiento rápido del petróleo, también removerán la mayoría del petróleo de la superficie de la playa, en un período relativamente corto, usualmente de semanas a meses.

Sin embargo, el uso de maquinaria podría necesitarse para remover el petróleo depositado por encima de la acción normal de las olas durante el final de la primavera o las mareas que ocurren durante una tormenta y en las playas con menor acción de las olas.

5. Planicies de inundación compactas, expuestas:

Estas son planicies inundadas por las mareas altas, de grano fino, compactas (de arena o barro) que están relativamente expuestas a los vientos, mareas y corrientes. Tal como se observó en los sitios de los derrames del "Metula" y del "Urquiola", el petróleo no se adhiere fácilmente, ni penetra a la superficie compacta de estas planicies o "bajos". Casi todo el petróleo que entra es movido fácilmente sobre la superficie del "bajo" y llevado al borde de la playa. Cualquier rastro de petróleo que permanezca en el "bajo" será rápidamente degradado por procesos naturales.

Las actividad biológica es bastante extensa, consistiendo mayormente de organismos infauna (principalmente policaete y lombrices nemalode y moluscos). A pesar de que la mayor parte del petróleo no permanece en la superficie del bajo, las concentraciones de petróleo de medianas a altas pueden dañar seriamente la comunidad biológica indígena.

Si fuera necesario, las actividades de limpieza deberían concentrarse en la remoción manual de posibles pequeños charcos de petróleo que queden después de cada ciclo de mareas. La maquinaria sólo debe ser utilizada si la cobertura del petróleo fuera muy extenso.

6. Playas mixtas de arena y guijarros:

Las playas de este tipo son comunes en Nueva Inglaterra, Nueva Escocia y Alaska y muchas veces están localizadas en ambientes de energía entre alta y moderada. El petróleo penetra fácilmente entre 10-20 cms. dentro del sedimento, y el enterramiento puede ser rápido, posiblemente en unos pocos días.

La comunidad biológica de la superficie de la playa está relativamente limitada debido a la inestabilidad del ambiente. El petróleo que se derrama en este tipo de playa puede permanecer durante largos períodos de tiempo.

En el sitio del derrame del "Metula" el petróleo que se depositó alto en la playa durante las mareas de primavera todavía estaba presente dos años después del derrame. Además, la remoción de todo el petróleo puede ser extremadamente difícil sin dañar aún más la playa. Bajo la mayoría de las circunstancias, probablemente sería mejor dejar que los procesos naturales eliminaran el petróleo de la superficie de la playa y concentrar la labor manual o mecánica en la remoción del petróleo depositado en la parte alta de la orilla de la zona donde salpica la marea alta.

#### 7. Playas de guijarros:

Las playas de guijarros (tamaño del grano 2 mm.) son más comunes a lo largo de las costas de Nueva Inglaterra, Nueva Escocia y del Pacífico Noroeste. El petróleo penetra rápido y profundamente en los sedimentos gruesos de este tipo de playa.

En Playa Cañabal, España, el petróleo crudo del "Urquiola" penetró 60-80 cms. en los guijarros finos de la playa. Los petróleos procesados livianos probablemente penetrarían aún más. Además, el petróleo puede enterrarse más rápidamente bajo condiciones de alta energía de las olas que mueven los guijarros.

Una playa de guijarros que esté de moderada-a-muy impregnada de petróleo es prácticamente imposible de limpiar sin remover grandes cantidades de sedimentos lo cual puede resultar en posibles efectos adversos para la estabilidad a largo plazo de la playa.

En los doce meses que siguieron a la remoción de sedimento grueso impregnado de petróleo por el derrame del "Arrow" en la bahía de Chedabucto, Nueva Escocia, la playa de Indian Cove se retiró entre 10 y 20 m. La actividad biológica principal, la cual está usualmente limitada a la zona del sublitoral, puede ser extensa y diversa. El petróleo enterrado o disperso puede causar daños a largo plazo en el fondo de la comunidad.

8. Costas rocosas protegidas:

Las numerosas cuevas y bahías protegidas a lo largo de las costas rocosas de la Costa Oeste de los Estados Unidos y la parte norte de Nueva Inglaterra y Nueva Escocia son representativas de este tipo de costas. El petróleo cubrirá las superficies rugosas y los charcos de mareas encontradas en este ambiente. La longevidad del daño del derrame de petróleo está influenciada por el grado de la actividad de las olas. En áreas más expuestas, el petróleo se degrada bastante rápidamente; mientras que los ambientes muy protegidos el petróleo puede permanecer durante años. La comunidad biológica residente, consistente en algas, moluscos, crustáceos, infauna, etc. es extensa, variada y vulnerable a los daños de los derrames de petróleo.

La limpieza es igualmente difícil y muy costosa ya que este ambiente es por regla general relativamente inaccesible. El uso de dispersantes, vapor, limpieza por chorro de arena, raspadura o casi cualquier otro método solamente aumentará la cantidad de daños biológicos. Sólo debe considerarse la limpieza de este tipo de costa cuando un área está totalmente inundada con fuertes concentraciones de petróleo.

9. Planicies estuarinas de inundación, protegidas:

Estas planicies estuarinas protegidas son comunes en los estuarios y lagunas a lo largo de las costas Pacífica, Atlántica y del Golfo. La productividad biológica es usualmente alta, consistiendo en grandes cantidades de moluscos y lombrices policaete. El petróleo que se derrame en este tipo de costa puede tener efectos dañinos a largo plazo. Los ambientes estuarinos de Falmouth, en Massachusetts y en la bahía Penobscot, de Maine, se mantuvieron adversamente afectados años después que cada uno recibió contaminación menor por petróleo. Como resultado del derrame del

"Urquiola" en España, 70% de la población de caracoles comibles de una planicie arenosa de inundación bien protegida, fue destruida. Además la remoción del petróleo contaminante es imposible sin destruir aún más el área y a la comunidad biológica residente. Durante un derrame de petróleo, se deben concentrar los esfuerzos en prevenir que el petróleo entre a este tipo de ambiente utilizando barreras flotantes y materiales para absorción de petróleo.

10. Marismas estaurinas y manglares protegidos:

Los pantanos son unos de los ambientes acuáticos más productivos. Una gran variedad de organismos y plantas viven en un delicado balance con el ambiente. Es el sitio de reproducción para un gran número de peces comerciales y de pesca deportiva. Los detritos del pantano proporcionan una importante fuente de alimento para muchos organismos marinos. La contaminación por petróleo puede persistir con efectos dañinos durante años. Las acumulaciones fuertes por petróleo del supertanquero "Metula" no demostró esencialmente ningún cambio después de dos años en una marisma Salicornia en la costa sur del Estrecho de Magallanes. Basado en la aparente baja tasa de desintegración del petróleo, nosotros estimamos que el petróleo permanecerá en este ambiente durante diez años por lo menos. Durante un sólo derrame con una concentración menor, el pantano tiene mejor chance de una recuperación relativamente rápida. La probabilidad de causar daños a largo plazo aumenta con los derrames sucesivos.

Los manglares ocurren comunmente en las costas del Golfo y del Caribe. Como en las marismas, los manglares contienen un ecosistema diverso y extenso y juegan un papel importante en la cadena alimenticia oceánica.

Los contaminantes de petróleo pueden tener efectos negativos a largo plazo en la comunidad de los manglares. El petróleo del tanquero "Zoe Colocotronis" causó la defoliación y muerte de una hectárea de mangles rojos y negros en el suroeste de Puerto Rico durante los tres años siguientes al derrame. La muerte puede haber sido causada por residuos del petróleo en el terreno y en las raíces aéreas.

En los derrames de petróleo de los Cayos de la Florida, los manglares rojos que recibieron petróleo en más del 50% de sus ojas, murieron. Los manglares negros que recibieron petróleo en más del 50% de sus pneumatoforos o que estaban localizados en sedimentos con petróleo, también murieron. Durante el derrame del "Witwater" en las afueras de Panamá en 1968, de todos los ambientes costeros fueron los manglares los que sufrieron el mayor daño. La recuperación del ecosistema del manglar toma un mínimo estimado de 20 años.

A pesar de que el número estudiado de sistemas de mangles afectados por el petróleo no es mucho, la variedad y extensión de sus comunidades biológicas, su vulnerabilidad a los agentes contaminantes, así como la dificultad en remover los residuos del petróleo de los extensos sistemas de raíces de los manglares, pone a este ambiente a la cabeza de nuestro esquema de clasificación.

Las marismas y las costas de mangles deben ser delineadas como parte del plan de contingencia y designadas como los ambientes primarios para recibir protección al ocurrir un derrame de petróleo. Barreras flotantes o materiales absorbentes deben ser aplicados para prevenir que el petróleo entre a estas áreas. En casos extremos, tal como ocurrió durante el derrame del "Urquiola", las barreras pueden ser utilizadas para atrapar el petróleo dentro de un área para prevenir que se extienda a otras costas no contaminadas. Una vez que una marisma se contamina seriamente, se requiere la tala o la quema, pero esto debe hacerse sólo en última instancia.

Algunos estudios indican que la tala ha sido utilizada con efectividad en ciertas instancias, a pesar de que no se realizó un estudio acerca de la regeneración de las plantas en las áreas no tratadas no fue realizada. El lavado de la marisma llena de petróleo con agua a baja presión es presentado como el método de preferido por los biólogos, ya que la tala o quema resultará en una casi total destrucción de la comunidad bentónica residente.

Al aplicar cualquiera de estos métodos, debe tomarse en cuenta que, muchas veces, el mayor daño a largo plazo a la marisma se inflige por la utilización de maquinaria pesada y la gran cantidad de personas sin entrenamiento especializado que son contratados para trabajar en la limpieza de la marisma. En la mayoría de los casos, y particularmente donde la acción de la marea o el crecimiento estacional de la planta es significativo, se debe dejar que los procesos marinos físicos limpien la marisma en forma natural.

### Arrecifes de Coral

Los arrecifes de coral son parte integral de la ecología de la zona costera en las aguas tropicales. Dentro del territorio de los Estados Unidos, los Cayos de la Florida, Puerto Rico y las Islas Vírgenes contienen todas extensas comunidades de arrecifes. Aún no se ha resuelto la cuestión de hasta que punto sufren daño los arrecifes de coral como resultado de los derrames de petróleo.

Las pruebas de laboratorio indican que los corales varían en cuanto a sensibilidad a la contaminación por petróleo y pueden ser afectados adversamente por ciertos dispersantes. Estudios de campo en áreas de derrames de petróleo no han encontrado daños resultantes a los arrecifes de coral. La extensión del posible daño depende en la profundidad del arrecife, la toxicidad del petróleo derramado y la cantidad total de petróleo perdido.

Aquellos corales que están expuestos (como durante las mareas bajas de la primavera) o cerca de la superficie son los que sufrirán mayores daños. El petróleo que se derrama en los ambientes coralinos probablemente es preferible dejarlo sin tratar, excepto cuando las acumulaciones son excesivamente grandes. Se necesitarían otros estudios de campo para resolver la cuestión de la vulnerabilidad de los arrecifes de coral a los impactos de derrames de petróleo. Tentativamente deben ser colocados entre 7-8 en el Índice de Vulnerabilidad.

#### APLICANDO EL INDICE DE VULNERABILIDAD

Para aplicar el Índice de Vulnerabilidad a una área costera específica, la distribución de los ambientes costeros debe cartografiarse antes. Una técnica rápida ha sido desarrollada por Hayes y asociados para determinar la variación geomorfológica de grandes secciones de la costa. Esta técnica llamada el "método zonal" ha sido aplicado a la costa sur del Golfo de St. Lawrence en el sureste de Alaska, y durante el estudio de los derrames de petróleo del "Urquiola", el "Metula" y el "Jakob Maersk" (Tabla 1). A continuación presentamos una forma modificada del "método zonal" que fue aplicada para determinar los ambientes vulnerables al petróleo en Nueva Inglaterra y en el Golfete Interior de Cook, en Alaska. En el estudio del Golfete Interior de Cook, un total de 1.216 kms. de costa fueron clasificados en 21 días por un equipo de tres personas. El trabajo de campo para la costa completa de Nueva Inglaterra fue terminado con igual rapidez.

El método consiste en lo siguiente:

1. Estudiar la literatura existente, fotografías aéreas, mapas y cartas del área entera antes de comenzar el trabajo de campo.

2. El trabajo de campo comienza con un reconocimiento aéreo del área completa. Los vuelos iniciales tienen lugar cuando la marea está baja para obtener la exposición máxima de la zona intermarea. Las observaciones son grabadas verbalmente en un grabador y fotográficamente con una cámara de mano de 35 mm.
3. Se selecciona un intervalo de muestreo para estudios de tierra de los ambientes de todas las costas observadas durante el vuelo. El intervalo de muestreo depende en el detalle deseado en el estudio, seleccionando las áreas de importancia económica o ecológica particular para hacer estudios más detallados.
4. Cada estación de muestra incluye:
  - a) un perfil topográfico de la playa tomado desde la parte de atrás de la playa hasta más allá de la línea baja del mar.
  - b) tres muestras igualmente espaciadas de sedimento coleccionadas de la zona intermarea (hasta 15 cms. de profundidad) para hacer un análisis posterior del tamaño de los granos.
  - c) muestras biológicas de los principales grupos de fauna y flora.
  - d) un dibujo hecho a mano alzado para forzar la inspección de todos los aspectos del área.
  - e) varias fotografías tomadas desde distintos ángulos para ilustrar características morfológicas y sedimentarias.
  - f) Hacer zanjas y tomar muestras adicionales, según se necesiten, para determinar la variación sedimentaria dentro del área de estudio.

5. Adicionalmente al estudio básico también se pueden realizar algunos proyectos a corto plazo como el hacer las cartas o mapas de los hitos físicos resaltantes, dentro de las áreas más representativas.
6. Se analizan las muestras de sedimentos para determinar el tamaño del grano de arena, determinando los parámetros estadísticos del tamaño de los granos para cada muestra. Se pueden hacer conteos puntuales en secciones delgadas de muestras seleccionadas para determinar la composición.
7. La información es recopilada y la costa es caracterizada geomorfológicamente, haciendo luego los mapas de la misma tal como se indica en el ejemplo mostrado en la Fig. 1A y en la Tabla N° 3.
8. La última etapa es la construcción de mapas detallados indicando la vulnerabilidad determinada para cada uno de los ambientes costeros. Una forma conveniente de presentar los datos es calculando la proporción relativa de cada división de costa a la cantidad de costa total (por ejemplo: 32% de la línea costera consiste en áreas con Índice de Vulnerabilidad entre 7-10 y debería recibir protección prioritaria). La Figura 1B presenta una costa hipotética y su clasificación (usando como modelo el sitio del derrame del "Urquiola").

TABLA 2

Sumario de Clasificación Ambiental Propuesta en Orden Creciente de Vulnerabilidad al Daño del Derrame de Petróleo.

<u>Indice de Vulnerabilidad</u>	<u>Tipo de Costa</u>	<u>Comentarios</u>
1	Acantilados rocosos expuestos.	El reflujo de la ola mantiene la mayor parte del petróleo alejado de la orilla. No se necesita limpieza.
2	Plataformas cortadas y erosionadas por olas.	Barrido de ola. La mayoría del petróleo se remueve por procesos naturales en pocas semanas.
3	Playas de arena fina	El petróleo no penetra en el sedimento, facilitando la remoción mecánica si fuera necesario. En caso contrario el petróleo puede persistir durante varios meses.
4	Playas de arena gruesa	El petróleo puede hundirse y/o enterrarse rápidamente haciendo que la limpieza sea difícil. Bajo condiciones de energía moderada-a-alta, el petróleo puede removerse de forma natural de casi toda la playa en pocos meses.
5	Planicies de marea compactas expuestas	La mayoría del petróleo no se pegará a, ni ni penetrará en, las planices compactas. Generalmente no hace falta limpiarlas.
6	Playas mixtas de arena y grava	El petróleo puede tener una rápida penetración y enterramiento. Bajo condiciones de energía de moderada-a-baja, el petróleo puede persistir por años.

TABLA 2 (Cont.)

<u>Indice de Vulnerabilidad</u>	<u>Tipo de Costa</u>	<u>Comentarios</u>
7	Playas de grava	Lo mismo que lo anterior. La limpieza debe concentrarse en el área de barrido de la ola. Un pavimento sólido de asfalto puede formarse bajo fuertes acumulaciones de petróleo.
8	Costas rocosas protegidas	Areas de accion reducida de las olas. El petróleo puede persistir por muchos años. No se recomienda limpiar a no ser que la concentración de petróleo sea muy fuerte.
9	Planicies de marea protegidas	Areas de gran actividad biológica y baja energía de olas. El petróleo puede permanecer por años. La limpieza no es recomendada a no ser que la acumulación de petróleo sea muy fuerte. Estas áreas deben recibir protección prioritaria mediante la utilización de barreras flotantes o sorbentes.
10	Marismas y manglares	El más productivo de los ambientes acuáticos. El petróleo puede perdurar por años. La limpieza de la marisma mediante la tala o quema debe ser realizada unicamente si está echumbada de petróleo. Los manglares no deben alterarse. La protección de estos ambientes mediante barreras flotantes o sorbentes deben recibir prioridad.

## CONCLUSIONES

La combinación del "método zonal" de verificación rápida de los ambientes costeros y la aplicación del Índice de Vulnerabilidad a los Derrames Petroleros (IV) que indican la vulnerabilidad potencial de esos ambientes a los daños causados por derrames de petróleo en método efectivo, rápido y de un costo relativamente bajo para suministrar información de línea básica para los gerentes que manejan áreas costeras, así como para otros que tienen que ver con la planificación contra los derrames de petróleo. Las áreas clasificadas como las más vulnerables a daños por derrames (IV= 8-10) incluye las marismas, manglares, planicies de inundación y ambientes rocosos protegidos. Los arrecifes coralinos posiblemente también sean de alta vulnerabilidad, pero no existen datos de campo para verificar esta conclusión.

Los acantilados rocosos expuestos y plataformas cortadas por las olas son los tipos de costa con menos probabilidad de ser dañados por derrames (IV= 1-2). Dentro de la categoría intermedia (IV= 3-7) son playas con granos de tamaños variados y planicies de marea expuestas. La protección prioritaria y el tratamiento ante los derrames deberá ser extendida a los ambientes que puedan sufrir más con los derrames. La determinación del carácter biológico de la región y los procesos físicos más influyentes (vientos, corrientes, mareas) debería acompañar al estudio geomorfológico del Índice de Vulnerabilidad para darle al responsable del área o al gerente del plan de contingencia, informaciones acerca de la línea costera y de sus ambientes, la trayectoria de los derrames y las áreas de importancia económica y ecológica.

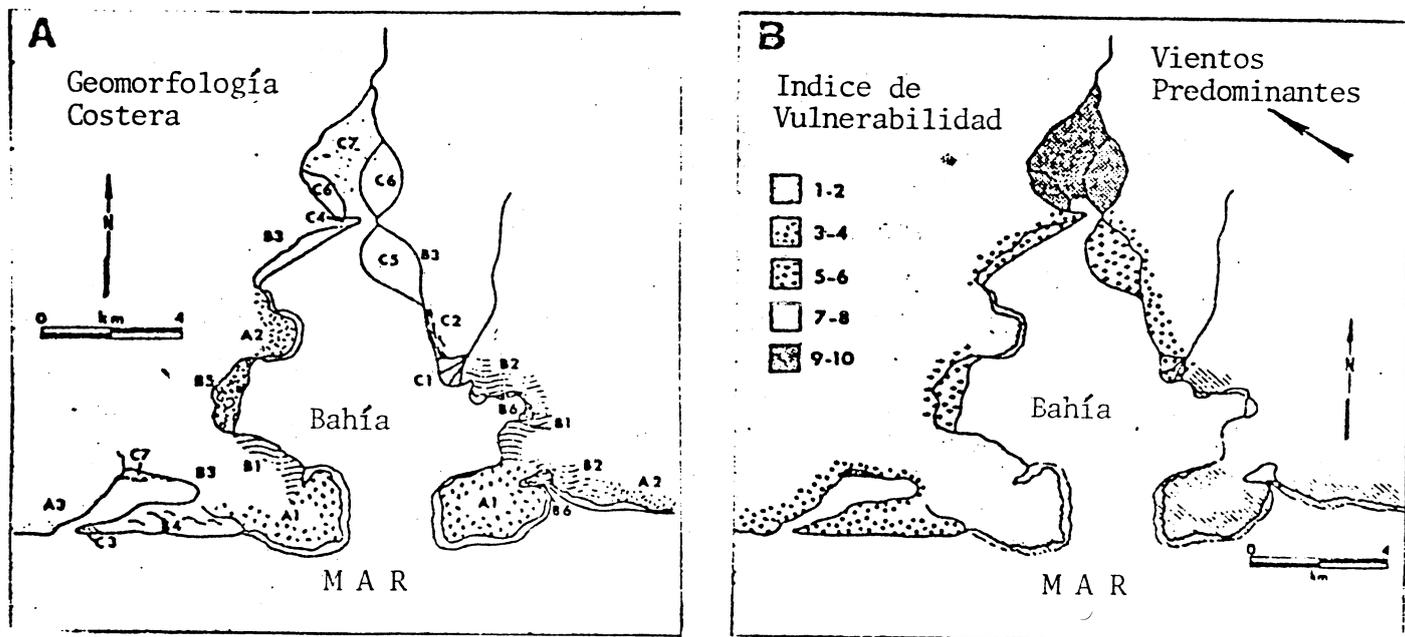


FIGURA 1.A. Geomorfología Costera de una costa hipotética. Los tipos de costa (A.1 - B.6) aparecen en la lista de la Tabla N° 3.

B. Aplicación del Índice de Vulnerabilidad a los tipos de línea de costa mostrados en la Fig. 1.A.

En este modelo, 28% de la costa está clasificada con un IV= 1-2.

31% tiene un IV= 3-4 (áreas de bajo riesgo); 7% tiene un IV= 5-6;

15% tiene un IV= 7-8 y 19% está clasificada como con gran potencial

de daño por derrames con un IV= 9-10.

Las instalaciones petroleras costa afuera o en tierra deberían ser ubicadas en la parte inferior de la bahía, lejos de las zonas más vulnerables del sistema estuarino en la parte superior de la bahía.

TABLA N° 3

Morfología Costera para la Línea de Costa Hipotética mostrada en la Figura 1. Este método de presentación de la información es muy útil para realizar una verificación expedita de la geomorfología de la costa del área de estudio seleccionado.

MORFOLOGIA COSTERA

A. LINEAS DE COSTA EROSIONADAS (32% del total)

<u>Subclase</u>	<u>Línea de Costa Total (km)</u>	<u>% de Costa</u>	<u>Indice de Vulnerabilidad</u>
A1. Acantilados >30 mts. de alto con plataforma cortada por olas	15	19	1-2
A2. Acantilados <30 mts. de alto con plataforma cortada por olas	6	8	1-2 (4%) 7-8 (4%)
A3. Banco interno de canal de erosión	4	5	3-4

B. LINEAS DE COSTA NEUTRALES (39% del total)

<u>Subclase</u>			
B1. Montañosa con acantilados escarpados	5	7	7-8
B2. Colinas bajas con subidas suaves	4	5	1-2
B3. Playas protegidas de arena fina	9	12	3-4
B4. Playas de guijaros	6	8	3-4
B5. Playas mixtas de arena y grava	2	3	5-6
B6. Playas con bolsillos de grava	3	4	7-8

C. COSTAS DEPOSICIONALES (29% del total)

<u>Subclase</u>			
C1. Delta	1	1	3-4
C2. Playas cortadas	2	3	3-4
C3. Curvas con hondonadas	1	3	3-4
C4. Boca de bahía	1	1	3-4
C5. Planicie de marea de arena	3	4	5-6
C6. Planicie de marea de barro	5	7	9-10
C7. Marismas	9	12	9-10