

# USO DE MATERIALES ADSORBENTES EN LA RESPUESTA A DERRAMES DE HIDROCARBUROS

DOCUMENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA

8





# Introducción

Los materiales adsorbentes permiten retirar hidrocarburos en situaciones que no resultan adecuadas para otras técnicas y, por lo tanto, pueden proporcionar un recurso útil en la respuesta a un derrame de hidrocarburos. Sin embargo, los adsorbentes deben emplearse con moderación para minimizar problemas secundarios, concretamente al crear cantidades excesivas de desechos que podrían aumentar considerablemente los costes de una respuesta.

Este documento considera los tipos de adsorbentes y cómo emplearlos correctamente en una respuesta. Debe leerse junto con otros documentos de ITOPF de esta serie, en particular, sobre el uso de barreras, uso de skimmers, técnicas de limpieza de costas y desecho de hidrocarburos y desechos.

## Descripción general

Los adsorbentes de hidrocarburos se componen de una amplia gama de productos orgánicos, inorgánicos y sintéticos diseñados para retirar hidrocarburos en lugar de agua. Su composición y configuración dependen del material utilizado y de la aplicación prevista en la respuesta.

Aunque se utilizan ampliamente en la respuesta a derrames, los adsorbentes deben emplearse con cautela para reducir al mínimo el uso excesivo e inadecuado, ya que puede plantear dificultades logísticas importantes relacionadas con la contaminación secundaria, retirada, almacenamiento y desecho. Todos estos factores aumentan considerablemente los costes generales de las operaciones de limpieza. En particular, el material sintético debe emplearse con moderación y cuidado para asegurar que se utilice a pleno rendimiento para minimizar problemas posteriores de eliminación de residuos.

En general, la mayor eficacia de los adsorbentes se obtiene cuando se utilizan durante las etapas finales de la limpieza de costas (*Figura 1*) y para retirar pequeñas acumulaciones de hidrocarburos cuando no es posible retirarlas mediante otras técnicas de limpieza. El uso de adsorbentes no resulta adecuado en mar abierto y en general ofrece menor eficacia con hidrocarburos más viscosos, como fueloil pesado, y con hidrocarburos que se hayan meteorizado y emulsionado, aunque existen algunos adsorbentes diseñados para hidrocarburos viscosos.

## Principios de funcionamiento de los adsorbentes

Para que un material actúe como adsorbente, debe atraer hidrocarburos y repeler el agua; esto es, debe ser oleofílico e hidrófobo. Los materiales adsorbentes pueden actuar por adsorción o, menos habitualmente, por absorción. En la adsorción, se atraen preferentemente los hidrocarburos a la superficie del material, mientras que los adsorbentes incorporan los hidrocarburos, u otro líquido a retirar, en el cuerpo del material. La mayoría de los productos disponibles para la respuesta a derrames de hidrocarburos son adsorbentes; muy pocos son verdaderamente absorbentes.

### Absorbentes

Los líquidos se difunden en la matriz de un material absorbente sólido mediante un proceso similar a la acción capilar, lo que provoca que el material se hinche y el líquido se combine con el material de forma que no puedan producirse escapes ni se escurra bajo presión. Los absorbentes disponibles para



▲ *Figura 1: uso de barrera absorbente de polipropileno para retirar hidrocarburos liberados durante operaciones de lavado con agua.*

la respuesta a la contaminación se fabrican de polímeros diseñados con gran área superficial para facilitar una rápida absorción. Puede combinarse el uso de absorbentes con productos volátiles, ya que podría reducirse el área superficial del líquido. Aunque en teoría los materiales adsorbentes permiten retirar fueloils ligeros y algunos petróleos crudos, es posible que el tiempo necesario para la absorción no resulte práctico ni deseable y, por lo tanto, son más adecuados para la recolección de líquidos de baja viscosidad y productos químicos derramados, sustancias especialmente peligrosas y nocivas, como se analiza en el documento de ITOPF Respuesta a siniestros relacionados con productos químicos en el medio marino. Por este motivo, se utilizan absorbentes con menos frecuencia que adsorbentes en la respuesta a derrames de hidrocarburos.

### Adsorbentes

A continuación, se describen los diversos mecanismos que permiten a un material adsorber hidrocarburos.

### Propiedades humectantes

Para conseguir una adsorción satisfactoria, los hidrocarburos deberían humedecer el material y esparcirse sobre su superficie con preferencia al agua. Un líquido humedecerá un sólido si su tensión superficial es inferior a la tensión superficial crítica ( $\gamma_c$ ) del sólido. En consecuencia, para que un adsorbente satisfaga los criterios necesarios, debería presentar un valor de  $\gamma_c$  inferior al del agua y superior a la de los hidrocarburos. La tensión superficial del agua de mar es de aproximadamente

60 – 65 mN/m; el valor para los hidrocarburos depende de la composición aunque normalmente es de aproximadamente 20 mN/m. Por lo tanto, el PTFE, por ejemplo, con un valor de  $\gamma_c$  de 18 mN/m, no adsorberá ni hidrocarburos ni agua, mientras que el polipropileno, con un valor de  $\gamma_c$  de 29 mN/m, es ideal como adsorbente de hidrocarburos.

Numerosos materiales sólidos naturales y sintéticos presentan valores de  $\gamma_c$  adecuados. Existe la posibilidad de modificar sólidos inorgánicos que no presenten el valor requerido mediante tratamientos superficiales, incluido el calentamiento, para conseguir la condición necesaria. La vermiculita exfoliada representa un ejemplo de este tipo de productos. En el caso de diversos materiales, principalmente espumas y fibras sueltas adsorbentes, puede que las propiedades oleofílicas mejoren si se humedecen o impriman inicialmente con hidrocarburos.

### Acción capilar

Con algunos materiales, la adsorción se produce mediante acción capilar. Aunque también depende de las tensiones superficiales relativas del sólido y el líquido, la viscosidad de los hidrocarburos tiene un efecto importante sobre la tasa de penetración en la estructura del adsorbente. Las tasas de penetración de los hidrocarburos pueden ser rápidas (cuestión de segundos) para hidrocarburos de baja viscosidad, como por ejemplo petróleos crudos ligeros, o de lentas (varias horas) a insignificantes para hidrocarburos de alta viscosidad, como por ejemplo fueloil pesado o hidrocarburos meteorizados.

La acción capilar es particularmente importante con adsorbentes basados en espuma. Las espumas con poros finos recolectan con facilidad hidrocarburos de baja viscosidad, aunque los poros se obstruyen con rapidez con hidrocarburos más gruesos. Por el contrario, las espumas con una estructura celular gruesa proporcionan resultados eficaces con hidrocarburos viscosos aunque no tienen capacidad para retener con eficacia hidrocarburos de baja viscosidad.

### Cohesión / adhesión

Cohesión hace referencia a la atracción de un material al propio material, oponiéndose de ese modo al esparcimiento sobre una superficie sólida, mientras que adhesión hace referencia a la atracción de un material a otro. Los adsorbentes se basan tanto en la adhesión de los hidrocarburos a la superficie del adsorbente como en las propiedades cohesivas de los hidrocarburos, que permiten al adsorbente retener mayores cantidades de hidrocarburos. Si el adsorbente adopta la forma de una madeja

de hilos sueltos, la cohesión de los hidrocarburos entre los elementos adsorbentes puede servir para producir una masa solidificada que retarde el esparcimiento de los hidrocarburos, lo que facilita la recolección de la mezcla de hidrocarburos y adsorbente. La cohesión es mayor para hidrocarburos viscosos.

### Área superficial

Además de las características humectantes, de esparcimiento y capilares de un material adsorbente en particular, su tasa y capacidad de absorción guardan relación directa con el área superficial expuesta. Un material adsorbente satisfactorio debe presentar una alta relación entre área superficial y volumen, incluidas las superficies internas y externas disponibles.

En el caso de hidrocarburos viscosos sin capacidad para fluir con rapidez dentro de un material adsorbente, el área superficial externa disponible determinará el rendimiento. Por ejemplo, los hilos sueltos de adsorbente presentan un área superficial externa relativa mayor que una barrera y, por lo tanto, puede esperarse que tengan mayor tasa de absorción y que resulten más eficaces con hidrocarburos viscosos.

A diferencia de los absorbentes, los materiales adsorbentes deben emplearse sobre líquidos volátiles con cautela. El esparcimiento del líquido sobre el área superficial interna y externa de un material adsorbente puede aumentar la tasa de liberación de vapores, con consecuencias negativas para la combustión y/o la salud humana.

## Materiales adsorbentes y formas

### Materiales adsorbentes

Puede emplearse una amplia variedad de materiales como adsorbentes. Estos incluyen materiales orgánicos como corteza, turba, serrín, pulpa de papel, bagazo (el residuo del procesamiento de la caña de azúcar), corcho, plumas de gallina, paja (Figura 2), lana y cabello humano, materiales inorgánicos como vermiculita y piedra pómez y materiales sintéticos, como por ejemplo polipropileno (Figuras 3, 4 y 5) y otros polímeros.

En general, los adsorbentes sintéticos proporcionan la mayor eficacia en la recolección de hidrocarburos. En algunos casos, puede obtenerse una relación entre peso de hidrocarburos y adsorbente de 40:1 en comparación con una relación de 10:1 para productos orgánicos y de tan solo 2:1 para materiales inorgánicos. A pesar de la capacidad de adsorción limitada,



▲ Figura 2: barreras adsorbentes improvisadas construidas de paja y redes. Estas barreras son económicas y fáciles de construir y pueden proporcionar protección eficaz a corto plazo cuando se despliegan en áreas adecuadas.



▲ Figura 3: bandas de polipropileno encerradas en redes. Es posible que la estructura suelta y no homogénea de la barrera permita los hidrocarburos penetrar rápidamente en la estructura, lo que facilita que las superficies interiores los adsorban aunque las redes de contención pueden dañarse con facilidad.





▲ *Figura 4: sección transversal de una barrera continua y homogénea que muestra únicamente un uso parcial. El volumen interior no está contaminado por hidrocarburos, bien porque la barrera ha estado desplegada durante un periodo de tiempo insuficiente o porque los hidrocarburos son demasiado viscosos para penetrar en la estructura.*



▲ *Figura 5: los adsorbentes planos continuos, como este paño tendido en una costa, se caracterizan por su alta relación entre área superficial y volumen. Debe ponderarse el uso de adsorbente a gran escala de esta manera con respecto a la generación de volúmenes considerables de residuos potencialmente no contaminados por hidrocarburos.*

es posible que el uso de materiales orgánicos e inorgánicos resulte atractivo ya que con frecuencia son abundantes en la naturaleza o se obtienen como subproducto residual de un proceso industrial y su compra puede realizarse de forma rápida y económica.

Diversas organizaciones han realizado pruebas de la eficacia relativa de los diferentes materiales adsorbentes para evaluar la

cantidad de hidrocarburos que puede retener un peso específico de un material adsorbente en particular. Aunque los resultados de estas pruebas pueden resultar útiles en la clasificación comparativa de la eficacia de un material adsorbente con respecto a otro, se realizan bajo condiciones controladas de campo o de laboratorio y, en consecuencia, podrían ofrecer conclusiones engañosas. En la práctica, los adsorbentes están sometidos a la fuerza del viento, olas y corrientes y, bajo estas

	Material	Ventajas	Desventajas
<b>Suelto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Orgánico: incluidos corteza, turba, serrín, pulpa de papel, corcho, plumas de gallina, paja, lana y cabello humano.</li> <li>Inorgánico: vermiculita y piedra pómez</li> <li>Sintético: principalmente polipropileno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A menudo abundante de forma natural o ampliamente disponible como subproducto de residuo de procesos industriales</li> <li>El coste puede ser bajo</li> <li>Puede servir para proteger la fauna y flora y sitios de descanso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Difícil de controlar; el viento puede esparcirlo</li> <li>Difícil de retirar</li> <li>Puede resultar difícil bombear la mezcla de hidrocarburos y adsorbente</li> <li>Más limitaciones para desechar la mezcla de hidrocarburos y adsorbente en comparación con los hidrocarburos únicamente</li> </ul>
<b>Encerrado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Existe la posibilidad de encerrar en mallas o redes todos los materiales sueltos mencionados anteriormente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Más fácil de desplegar y retirar que en el caso del adsorbente suelto</li> <li>La barrera encerrada presenta mayor área superficial que la barrera continua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La resistencia estructural limitada por la resistencia de la malla o red</li> <li>Las barreras orgánicas pueden saturarse y hundirse rápidamente. La retención de hidrocarburos está limitada</li> </ul>
<b>Continuo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sintético: principalmente polipropileno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almacenamiento a largo plazo</li> <li>Relativamente sencillo de desplegar y retirar</li> <li>Posibilidad de obtener una elevada relación de recolección de hidrocarburos si se utiliza a pleno rendimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eficiencia limitada para hidrocarburos meteorizados o más viscosos</li> <li>No se descompone con rapidez; esto limita las opciones de desecho</li> </ul>
<b>Fibra</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sintético: principalmente polipropileno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eficaz sobre hidrocarburos meteorizados y más viscosos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menos eficaz sobre hidrocarburos frescos ligeros e intermedios</li> </ul>

▲ *Tabla 1: ventajas y desventajas de los tipos de material adsorbente disponibles.*



▲ *Figura 6: habitantes locales construyen trampas a partir de bandas de polipropileno. Pueden obtenerse rentabilidades en términos de precio y eficiencia en el transporte mediante la fabricación de adsorbente a partir de materiales disponibles localmente.*



▲ *Figura 7: trampa atada a través de un estuario para capturar hidrocarburos flotantes. La estructura abierta y el gran área superficial del material son particularmente adecuados para la recolección de hidrocarburos viscosos.*

condiciones naturales e impredecibles, resulta improbable que su rendimiento coincida con los resultados informados en estas pruebas.

## Formas de adsorbentes

Se comercializan diferentes formas de adsorbentes según su composición y uso previsto, aunque en general entran dentro de una de las cuatro categorías siguientes: material suelto, con frecuencia en forma de partículas; encerrado en una malla como almohadas o barreras; continuo en forma de esterillas, paños, barreras o rollos; y como fibras sueltas combinadas para formar trampas o elementos de barrido (Tabla 1). Podría disponerse de otros tipos de adsorbentes para aplicaciones específicas.

### Adsorbente suelto

La mayoría de los materiales mencionados anteriormente se comercializan como adsorbente suelto y ofrecen buenos resultados para retirar pequeños derrames de hidrocarburos en tierra. Su uso en el entorno marino debería limitarse a las situaciones específicas que se describen en la sección siguiente sobre el uso de adsorbentes en costas, principalmente debido a las dificultades para controlar su aplicación y retirada.

### Adsorbente encerrado

Los materiales adsorbentes sueltos suelen encerrarse en un tejido, malla o red exterior para formar una barrera, almohada o bolsa que resulta más fácil de desplegar, controlar y para que la recolección posterior sea más sencilla que con el propio material suelto. Los productos adsorbentes encerrados presentan diferentes formas y volúmenes, aunque las barreras son las más habituales (no deben confundirse con la forma de barrera continua que se describe más adelante). El adsorbente encerrado normalmente se fabrica de materiales naturales, orgánicos e inorgánicos, fácilmente disponibles, como por ejemplo paja (Figura 2), aunque también puede integrar elementos individuales de material sintético como polipropileno (Figura 3).

### Adsorbente continuo

El adsorbente cilíndrico continuo, principalmente barreras, se diferencia de las barreras de material suelto encerrado que se describen en la sección anterior por su mayor homogeneidad y menor relación entre área superficial y volumen. Por lo tanto, los hidrocarburos tienen menor capacidad para penetrar hasta

el núcleo de la barrera (Figura 4). Los adsorbentes planos continuos, como paños, rollos, esterillas, almohadas y tejidos se caracterizan por su alta relación entre área superficial y volumen (Figura 5).

Los adsorbentes continuos se fabrican principalmente de materiales sintéticos. El material filtrante de polipropileno entretejido es uno de los que se utilizan más habitualmente durante la respuesta a derrames. Sin embargo, es posible encontrar a veces adsorbentes fabricados de otros materiales, como poliuretano, nylon y polietileno.

### Adsorbente de fibras sueltas

Aunque los productos adsorbentes sueltos, encerrados y continuos, ofrecen resultados eficaces sobre una amplia gama de hidrocarburos, resultan menos eficientes para retirar hidrocarburos más meteorizados y de alta viscosidad. Se comercializan mazos o madejas de fibras adsorbentes sueltas que permiten recolectar estos hidrocarburos mediante una combinación de adhesión a una gran área superficial y cohesión dentro de los propios hidrocarburos. Principalmente se fabrican a partir de bandas de polipropileno y normalmente se unen para formar trampas, también conocidas como “pompones” (Figura 6). Existe la posibilidad de unir varios lazos individuales a lo largo de una cuerda para formar elementos de barrido de hidrocarburos viscosos o “barrera trampa” (Figura 7). Los skimmers de cuerda oleofílica utilizan un tipo de elemento de barrido en una banda continua, a menudo de muchos metros de longitud, para recuperar y recolectar hidrocarburos. Consulte el documento independiente de ITOPF sobre el uso de skimmers para obtener información adicional.

También se han utilizado con eficacia trampas de hidrocarburos para ayudar en la detección de hidrocarburos hundidos y subsuperficiales, bien por suspensión en la columna de agua desde flotadores y anclajes o mediante barrido o arrastre por el lecho marino, fijadas a un bastidor de metal. La presencia de hidrocarburos en el mar se indica a través de la contaminación del adsorbente por hidrocarburos, lo que permite que métodos más cuantitativos se centren en las áreas identificadas. En el documento de ITOPF sobre el muestreo y monitorización de derrames de hidrocarburos en el medio marino se ofrece información adicional.



# Crterios para seleccionar adsorbentes

Además de la forma de presentación del adsorbente y de la capacidad de un material específico para absorber hidrocarburos, otros factores también afectan a la eficacia del adsorbente.

## Flotabilidad

Para utilizar adsorbentes con eficacia sobre hidrocarburos flotantes, deben presentar y mantener una elevada flotabilidad y permanecer a flote incluso cuando se saturan con hidrocarburos y agua. Numerosos materiales orgánicos naturales, como paja y serrín, presentan una buena flotabilidad inicial pero finalmente se saturan de agua y se hunden. Sin embargo, en algunos casos la flotabilidad puede resultar perjudicial para la eficacia de un adsorbente. Por ejemplo, algunos materiales más ligeros y menos densos pueden permanecer por encima de hidrocarburos pesados y viscosos. En estos casos, posiblemente sea necesario mezclar manualmente el material adsorbente con los hidrocarburos para promover la saturación y permitir que se realice una recolección eficaz.

La flotabilidad de los adsorbentes de espuma se vincula directamente con la relación entre células cerradas y células abiertas; cuantas más células abiertas, mayor capacidad de adsorción en perjuicio de la flotabilidad.

## Saturación

Los adsorbentes pueden saturarse de hidrocarburos con rapidez. Incluso una mancha relativamente pequeña puede superar con rapidez la capacidad de una barrera adsorbente y podría liberarse hidrocarburos del adsorbente que llegara a contaminar el recurso que se pretendía proteger. Una vez saturados, los adsorbentes no pueden recolectar más hidrocarburos y deben ser retirados con la mayor rapidez posible para evitar cualquier lixiviación posterior. Puede resultar difícil identificar el nivel de saturación y con frecuencia se requiere cortar la barrera para abrirla. A menudo se experimenta una saturación incompleta con hidrocarburos viscosos, y podría ocurrir que se recuperen y descarten barreras erróneamente, dejándose sin utilizar las capas interiores (*Figura 4*). Puede evitarse o reducirse este desperdicio innecesario mediante el uso de barreras adsorbentes de pequeño diámetro, lo que reduce el volumen de materiales sin utilizar en el centro de la barrera, a la vez que se mantiene su eficacia, o mediante el uso de trampas de hidrocarburos.



▲ *Figura 8: los materiales adsorbentes son productos voluminosos por naturaleza. Es posible que el almacenamiento y transporte antes, durante y después de una respuesta a un derrame planteen problemas logísticos y de coste.*

Las láminas adsorbentes pueden saturarse con rapidez cuando entran en contacto con cantidades incluso pequeñas de hidrocarburos, y su uso debería limitarse a siniestros de pequeña escala en los que la cantidad de hidrocarburos a recolectar sea reducida.

## Retención de hidrocarburos

Uno de los aspectos clave del rendimiento general de un adsorbente es su capacidad para retener hidrocarburos. Algunos materiales adsorben hidrocarburos con rapidez aunque, sino se retiran en un tiempo razonable, es posible que el adsorbente libere posteriormente buena parte de los hidrocarburos por efecto del viento, olas y corrientes. De manera similar, algunos adsorbentes liberan hidrocarburos al elevarlos fuera del agua, ya que el peso del líquido recolectado puede provocar que el adsorbente se combe y se deforme, y que los hidrocarburos se escurran desde los poros o superficies internas. La retención de hidrocarburos puede representar un problema particular cuando se utilicen adsorbentes con baja resistencia inherente, en especial aquellos fabricados de materiales orgánicos.

Los materiales adsorbentes con poros finos, como vermiculita y piedra pómez, muestran buenas características de retención de hidrocarburos en general. El inconveniente con estos materiales es su bajo rendimiento en la recolección de hidrocarburos viscosos. Las trampas pueden saturarse de hidrocarburos con rapidez, principalmente por su gran área superficial. Sin embargo, es posible que liberen hidrocarburos al levantarlas de la superficie del agua. La tasa de liberación guarda una relación directa con la viscosidad de los hidrocarburos; los hidrocarburos más ligeros y menos viscosos se escurren con más rapidez.

## Resistencia y durabilidad

La durabilidad de un adsorbente es importante cuando existe la posibilidad de que permanezca desplegado durante un periodo de tiempo prolongado antes de la recolección. Las barreras adsorbentes podrían comenzar a degradarse y separarse en cuestión de horas como resultado de los efectos medioambientales, como la acción de las olas o la abrasión sobre rocas. La resistencia de algunas barreras adsorbentes, en especial aquellas que se componen de material suelto encerrado, depende de la durabilidad del material de las redes de retención, que podría romperse y abrirse bajo condiciones medioambientales adversas. Una vez dañadas, se perderá con facilidad el contenido de estas barreras y podría convertirse en una fuente secundaria de contaminación.

## Fermentación

Algunos adsorbentes orgánicos pueden fermentar si se dejan en contacto con el agua durante un periodo de tiempo prolongado. Además de alterar su composición y eficiencia en la recolección selectiva de hidrocarburos, esto puede ocasionar problemas a la hora de recolectar, almacenar y desechar la mezcla de adsorbente/líquido resultante.

## Coste

El coste de los productos adsorbentes varía considerablemente y depende principalmente del material utilizado. Los materiales orgánicos e inorgánicos son comparativamente menos caros que los productos snteticos. Sin embargo, este bajo coste unitario conllevará asumir el inconveniente de las cantidades adicionales necesarias debido a su baja eficiencia relativa. También deberían considerarse los costes adicionales que ocasiona desechar volúmenes superiores de material al seleccionar el producto más adecuado. A pesar del elevado coste de los productos snteticos, suelen ser más eficaces y, en ciertos casos, se pueden reutilizar.

## Disponibilidad, almacenamiento y transporte

El rendimiento de los adsorbentes sintéticos los convierte en una opción atractiva aunque no siempre están inmediatamente disponibles en el sitio del derrame. Aunque es posible que los adsorbentes orgánicos e inorgánicos sean menos eficientes, podrían ofrecer una alternativa práctica ya que con frecuencia son más accesibles. Sin embargo, en el caso de diversos productos orgánicos, la necesidad de realizar un tratamiento previo antes de utilizarlos con eficacia como adsorbentes podría limitar su disponibilidad en una respuesta de emergencia.

Los adsorbentes son voluminosos por naturaleza (Figura 8) y, en grandes cantidades, puede resultar relevante el espacio de almacenamiento necesario. El almacenamiento solo podría realizarse en el exterior cuando el espacio de almacenamiento esté limitado y se requieran grandes cantidades de adsorbentes. En este caso, se requerirá protección frente a la incidencia de la luz solar para evitar la degradación por luz UV, especialmente en el caso de los adsorbentes sintéticos. Para el almacenamiento de adsorbentes orgánicos, debería considerarse la posibilidad de deterioro en condiciones de humedad, así como los daños provocados por moho, roedores o insectos.

Como en el caso del almacenamiento, el transporte de grandes volúmenes de adsorbentes, desde el almacén hasta un centro de distribución en las inmediaciones del derrame y desde este lugar hasta el sitio en el que se utilizarán los adsorbentes, puede provocar problemas logísticos. En particular, resulta improbable que el envío de cargamentos aéreos de adsorbentes se justifique económicamente.

## Uso de adsorbentes en tierra o cerca de la costa

Los adsorbentes pueden desempeñar diversas funciones útiles en las operaciones de limpieza cerca de la costa y en tierra. Sin embargo, debería evitarse el uso de grandes cantidades de adsorbentes siempre que sea posible para minimizar problemas secundarios relacionados con el desecho (Figura 9). En consecuencia, debería limitarse el uso de adsorbentes a gran escala en tierra a aquellas situaciones en las que otras técnicas probablemente resulten ineficaces o inviables. Por ejemplo, normalmente pueden recolectarse los hidrocarburos sobre

playas arenosas compactas sin el amplio uso de adsorbentes mediante el trabajo de operarios equipados con palas o a través del uso de zanjas. Por otra parte, cuando los hidrocarburos estén retenidos contra una costa, solo se pueda acceder a los mismos a pie y cuando no sea posible desplegar skimmers y bombas, resultará muy difícil tratar los hidrocarburos fluidos sin la ayuda de adsorbentes. No obstante, aún serían aplicables muchas de las cuestiones relacionadas con la disponibilidad, transporte y almacenamiento de adsorbentes, tanto antes como después de su uso.

Puede emplearse con eficacia una barrera adsorbente, con anclajes cerca de la orilla, para capturar las escorrentías de las operaciones de lavado de la orilla, por ejemplo durante el lavado a alta presión de rocas contaminadas por hidrocarburos (véase la portada), o en la zona intermareal para retirar hidrocarburos reflotados/removilizados. Las barreras adsorbentes y barreras trampa, conocidas en ocasiones como "limpieza pasiva", pueden resultar muy eficaces para atrapar hidrocarburos movilizadas por las sucesivas mareas desde áreas muy sensibles, en especial marismas salinas y manglares, donde cualquier otra técnica de respuesta ocasionaría daños adicionales inaceptables. De forma similar, puede emplearse la técnica para recolectar hidrocarburos liberados de gaviones y escolleras por el efecto de las sucesivas mareas. También se ha utilizado de esta forma el material mallado de entramado fino que se utiliza como criba para el polvo en los trabajos de andamiaje con resultados satisfactorios para capturar hidrocarburos viscosos liberados de costas que contienen rocas grandes, áridos gruesos y arena gruesa. Un extremo de las redes se asegura en la orilla mientras que el otro puede moverse en el mar libremente. Siempre que las condiciones medioambientales sean adecuadas, en especial si la velocidad del agua a través de la barrera no es demasiado alta, puede resultar eficaz el uso de barreras trampa atadas transversalmente a tomas industriales de agua, para ayudar a limitar la entrada de hidrocarburos de alta viscosidad (Figura 7).

En general, es preferible utilizar adsorbentes junto con técnicas de lavado de costas durante la fase final de una operación de limpieza que utilizar adsorbentes directamente para limpiar rocas, ya que esta última técnica genera grandes cantidades de material a desechar. No obstante, los adsorbentes pueden resultar útiles para retirar pequeñas cantidades de hidrocarburos residuales que, de lo contrario, serían difíciles de recolectar con un coste y esfuerzo razonables. En particular, las agrupaciones de rocas son candidatos a la limpieza con adsorbentes. Por ejemplo, las trampas de polipropileno tienen la capacidad de retirar hidrocarburos viscosos y meteorizados. En general, no



▲ Figura 9: uso de adsorbente a gran escala para retirar hidrocarburos sobre una playa arenosa compacta. El uso de material adsorbente debería corresponderse con la escala de la contaminación, aportar un beneficio apreciable a la respuesta y no aumentar indebidamente los residuos a desechar.



▲ Figura 10: puede aplicarse material adsorbente con partículas orgánicas, como por ejemplo turba y cortezas sobre orillas rocosas importantes para la fauna silvestre (por ejemplo, pingüinos y focas), para minimizar la contaminación de piel y plumas cuando lleguen a tierra.





▲ *Figura 11: aplicación de almohadas adsorbentes en el mar. Se requerirá un esfuerzo considerable en la recuperación posterior de las almohadas para eliminar la contaminación secundaria. Posiblemente, el uso de barreras de contención y skimmers proporcionaría un medio de recolección de hidrocarburos más eficaz que el uso de adsorbentes.*

es necesario utilizar adsorbentes para recolectar brillos en la mayoría de los climas, puesto que los brillos normalmente se disipan de forma natural.

No se recomienda el uso a gran escala de adsorbentes sueltos cerca de la costa o en la costa, principalmente por las dificultades que plantea controlar la aplicación del material y su posterior recolección. No obstante, podrían surgir situaciones en las que no se contemple la recolección y su uso podría resultar beneficioso. Por ejemplo, pueden esparcirse productos orgánicos como turba o corteza sobre costas contaminadas para adsorber las acumulaciones de hidrocarburos y proporcionar un medio de protección para la fauna local, especialmente aves y mamíferos marinos sensibles, como por ejemplo focas o pingüinos, en sitios de descanso (*Figura 10*). En algunos países, se emplean adsorbentes orgánicos e inorgánicos en las etapas finales de limpieza al conocerse que, aunque no se recuperarán los adsorbentes, los procesos naturales retirarán la mezcla de hidrocarburos/adsorbente con el transcurso del tiempo, lo que también contribuirá a su amplia distribución y a la descomposición gradual de los hidrocarburos.

## Uso de adsorbentes en el mar

Se desaconseja el uso de adsorbentes como herramienta de recolección principal en una respuesta a un derrame importante de hidrocarburos en el mar. Además de los problemas de control del material sobre la superficie del agua y al mayor volumen de residuos contaminados por hidrocarburos a desechar (*Figura 11*), la aplicación de adsorbentes a una mancha de hidrocarburos no mitiga los problemas propios de las operaciones de contención y recolección en el mar. Muy posiblemente, la mezcla de hidrocarburos y adsorbente resultante perjudicará el funcionamiento de los skimmers y se verá sometida a los efectos del viento, corrientes y olas, lo que provocará la disgregación de manchas que no resultarán más fáciles de controlar que el derrame original.

### Aplicación

El uso de adsorbentes sueltos en el mar plantea varios problemas de eficiencia y seguridad, ya que la distribución de adsorbentes en polvo o partículas sueltas en aguas abiertas presenta diversas desventajas inherentes. Probablemente, el efecto del viento desplazará el producto de la mancha, y



▲ *Figura 12: barrera adsorbente remolcada en una configuración en "U" detrás de dos embarcaciones, con el propósito de retirar brillos (películas de hidrocarburos muy finas) en el mar. La saturación de la barrera con agua de mar reduce su eficacia y la ausencia de un faldón en la barrera limita la capacidad para contener hidrocarburos. En este caso puede observarse escapes de brillos de la barrera.*

podría producirse un desperdicio de recursos y contaminación adicional. En ocasiones se utilizan sopladores para distribuir adsorbentes sueltos sobre un derrame y el personal que realice estas actividades deberá utilizar protecciones antipolvo para sus ojos y adoptar medidas de precaución frente a la inhalación o ingestión accidental. El adsorbente podría quedarse flotando por encima de los hidrocarburos, sin ofrecer resultados eficientes, si no se realiza una mezcla adecuada del material adsorbente en los hidrocarburos. Para superar estos obstáculos, se han diseñado varios dispositivos especiales para descargar adsorbentes en polvo y en partículas por encima del costado de una embarcación de forma controlada. Para que ofrezcan ventajas, estos dispositivos deberían encontrarse a una distancia razonable del sitio del derrame, aunque no están ampliamente disponibles.

La barrera adsorbente es mucho más fácil de desplegar que el adsorbente suelto. Sin embargo, el uso de barreras adsorbentes está aún más limitado por los vientos, corrientes y el estado del mar que el uso de barreras de contención. Las barreras adsorbentes son relativamente ligeras, especialmente inmediatamente después del despliegue, y el viento podría levantarlas con facilidad. Por lo tanto, requieren el uso de amarres o anclajes y se suministran algunas barreras adsorbentes con puntos de amarre incorporados. Para combinar las ventajas de los adsorbentes con las barreras de contención convencionales, algunos fabricantes han lanzado al mercado barreras adsorbentes con un faldón lastrado. En el caso de derrames pequeños de hidrocarburos, por ejemplo en puertos deportivos o pesqueros, el uso de este producto podría facilitar las operaciones de contención y recolección. Se comercializa como un producto desechable de un solo uso, lo que conlleva costes de desecho adicionales.

En general, se considera que el remolcado de barreras adsorbentes para retirar películas finas de hidrocarburos o brillos de la superficie del agua (*Figura 12*) representa un uso ineficiente de recursos, puesto que los brillos normalmente se evaporan o dispersan con rapidez. Asimismo, los efectos de olas y turbulencias suelen provocar que la barrera adsorbente se sature de agua, lo que limita considerablemente la recolección de hidrocarburos. La saturación es más evidente en las barreras compuestas de material adsorbente suelto y menos apreciable en barreras que contienen material continuo y homogéneo. Además, probablemente las fuerzas que se ejercen durante el remolcado resulten excesivas para la mayoría de barreras



adsorbentes, lo que provocará su rotura, así como la liberación posterior de material adsorbente y la pérdida de cualquier hidrocarburos contenidos.

Los paños y almohadas adsorbentes son aún más susceptibles a la dispersión por efecto del viento que las barreras adsorbentes, ya que su diseño no permite el uso de amarres o anclajes al no resultar prácticos en este caso. El uso a gran escala de paños o almohadas adsorbentes no es una técnica recomendable porque pueden esparcirse con rapidez sobre un área amplia y, aunque su retirada resulta más viable que la recolección del adsorbente suelto, se basa en una recolección manual lenta e ineficiente. Los paños, almohadas y otros materiales adsorbentes varados en playas pueden quedar enterrados con rapidez por el movimiento sucesivo del sustrato por el efecto de las mareas, y podría resultar difícil localizarlos posteriormente (Figura 13).

## Uso con otras técnicas de limpieza

Se requiere una gestión cuidadosa de la respuesta y del personal de respuesta para asegurar que las técnicas de limpieza empleadas no se neutralicen entre sí. Cuando se utilicen adsorbentes, es importante recordar que los agentes activos superficiales presentes en los dispersantes pueden alterar considerablemente la tensión superficial de los hidrocarburos y del agua. Como resultado de ello, existe la posibilidad de que el uso de dispersantes u otros productos químicos de respuesta afecte a la capacidad de los adsorbentes a la hora de cumplir la función prevista, ya que pueden reducirse las propiedades oleofílicas e hidrofóbicas, lo que aumentaría considerablemente la cantidad de agua y reduciría la cantidad de hidrocarburos retirados. En consecuencia, no deberían emplearse adsorbentes junto con dispersantes en una respuesta si se desea obtener un uso eficaz.

De forma similar, el uso de adsorbentes no es compatible con la recolección mecánica de hidrocarburos con skimmers. Existe la posibilidad de que el adsorbente suelto a granel, las almohadas adsorbentes y otras formas de adsorbentes sueltos bloqueen o limiten gravemente el funcionamiento de vertederos y bombas, y que las barreras adsorbentes restrinjan el flujo de hidrocarburos hasta un skimmer.

## Recolección

El adsorbente es tan contaminante como los propios hidrocarburos si permanecen en la superficie del agua. El viento puede desplazar las partículas sueltas del adsorbente a lo largo de grandes distancias y podrían plantearse riesgos para la fauna, principalmente por ingestión. En particular, no se recomienda su uso cerca de instalaciones de maricultura puesto que podría confundirse con alimento para peces.

La recolección de cualquier mezcla de hidrocarburos y material adsorbente de la superficie del mar presenta diversas dificultades. La mezcla podría ser más viscosa y voluminosa que los hidrocarburos sin mezclar, y solo algunas bombas de alta resistencia y skimmers tendrían capacidad para tratar estos materiales. Si el bombeo del material no fuera viable, los depósitos de almacenamiento a bordo de las embarcaciones de recolección no tendrán utilidad y se requerirá mayor capacidad de almacenamiento en la cubierta.

Durante la recolección de mezclas de adsorbente suelto e hidrocarburos, se intentó utilizar redes de pesca tipo jábega. Sin embargo, este método experimentó los mismos problemas que la recolección de hidrocarburos sin mezclar, como por ejemplo obstrucciones y olas reflectantes. También será necesario recuperar, almacenar y limpiar o desechar las redes contaminadas por hidrocarburos. Las opciones de recolección podrían verse reducidas al uso de recolectores, ineficientes e intensivos en mano de obra, o de cucharas mecánicas.



▲ Figura 13: almohadas adsorbentes varadas sobre la costa con la marea alta, después del despliegue en el mar. A menos que se retire con rapidez, el movimiento de la arena durante las mareas posteriores cubrirá las almohadas, obstaculizando la recolección.

La operación de recuperación de barreras, paños y almohadas adsorbentes de la superficie del agua también requiere tiempo y uso intensivo de mano de obra. En particular, el aumento de peso de la barrera adsorbente saturada puede dificultar considerablemente la retirada del mar.

## Uso de adsorbentes en tareas de "mantenimiento" y otros roles

Uno de los usos más habituales de los adsorbentes consiste en neutralizar pequeños derrames en tierra y a bordo de embarcaciones, aunque también encuentran una aplicación importante en funciones de "mantenimiento", como por ejemplo mejorar la seguridad de los trabajadores y evitar mayor contaminación. Pueden emplearse esterillas adsorbentes para reducir al mínimo la posibilidad de resbalar a bordo de embarcaciones de recolección y en puntos de descontaminación de equipos, y también en estaciones de limpieza para separar los lados limpio y sucio de las operaciones. De forma similar, a menudo se colocan esterillas adsorbentes en el umbral de los alojamientos a bordo o de centros de mando en tierra para evitar que se introduzcan hidrocarburos hacia el interior con el calzado. Al igual que en las situaciones hipotéticas anteriores, para evitar que se desperdicien recursos, debe emplearse el adsorbente hasta obtener el máximo rendimiento antes de descartarlo.

En el sector de la maricultura, se han utilizado con éxito paños adsorbentes para recolectar hidrocarburos flotantes y películas de hidrocarburos de la superficie del agua dentro de jaulas para peces, que contienen los paños contaminados por hidrocarburos y facilitan la recolección. En condiciones relativamente calmas, existe la posibilidad de utilizar barreras adsorbentes para rodear el exterior de una jaula para peces u otro recurso sensible para reducir la posibilidad de contaminación. También se ha utilizado una gama de materiales adsorbentes, desde fibras sueltas hasta materiales sueltos inorgánicos, en la construcción de filtros diseñados para evitar la introducción de hidrocarburos en tomas de agua que suministran agua de mar a diversas instalaciones en tierra, como criaderos y salinas.

## Almacenamiento, transporte y desecho de adsorbentes usados

### Almacenamiento temporal y transporte de material contaminado por hidrocarburos

Una vez recolectado, será necesario almacenar el adsorbente utilizado en el mar a bordo de cualquier embarcación de recolección y, a continuación, en tierra antes del desecho final. Los hidrocarburos adsorbidos podrían escurrirse a medida que el adsorbente saturado, en especial las barreras, se comprima con el peso del material adicional colocado encima. Por lo tanto, el almacenamiento a bordo debe estar cerrado para asegurar que el lixiviado no contamine las cubiertas o zonas de circulación y se vuelvan inseguras, o evitar que fluya por la borda y contamine de nuevo. Además, debe descargarse con cuidado el adsorbente contaminado por hidrocarburos para minimizar la contaminación de embarcaderos o muelles (Figura 14).

Normalmente, los desechos y materiales contaminados por hidrocarburos bajados a tierra y retirados de la costa, incluidos los adsorbentes, requerirán almacenamiento temporal mientras se organiza la logística de transporte y desecho. En un derrame importante, la cantidad de material retirado podría superar la capacidad de las instalaciones de tratamiento o desecho disponibles en el área local. El uso excesivo de materiales adsorbentes agrava este problema (Figura 15) y provoca que se requiera un sitio de almacenamiento temporal más grande para el que se exigen certificaciones en numerosas partes del mundo. Normalmente, se retira la mayor cantidad posible de hidrocarburos libres antes del transporte (Figura 16) y, en el mejor de los casos, se comprimen los adsorbentes para minimizar el volumen y optimizar la logística de transporte. Debe recolectarse la mezcla de hidrocarburos y agua procedente de la compresión de los adsorbentes, y los sitios de almacenamiento temporal deben estar revestidos para evitar el escape de lixiviado.

### Vías de eliminación

Las opciones de eliminación disponibles para materiales adsorbentes contaminados por hidrocarburos son relativamente reducidas en comparación con las de los hidrocarburos fluidos retirados. La presencia de incluso pequeñas cantidades de material adsorbente en el flujo de residuos podría evitar su procesamiento por ciertas vías, por ejemplo, como materia prima en refinerías.

### Reutilización

En teoría, podrían reutilizarse algunos tipos de adsorbentes si se consiguen extraer los hidrocarburos. Esto puede realizarse por compresión mediante un escurridor o exprimidor de rodillos (como en el caso de los sistemas con skimmers de cuerda oleofílica), por centrifugación o por extracción con disolventes. En general, la compresión es la opción más práctica y resulta viable para algunos productos sintéticos. Sin embargo, debe considerarse el número de ciclos de reutilización que el material adsorbente puede resistir antes de que quede inservible debido a roturas, aplastamientos o deterioro general.

Otros factores a tener en cuenta al reutilizar adsorbentes son la contaminación del flujo de hidrocarburos de desecho con partículas del material adsorbente separadas durante la compresión, la tasa de reducción de la capacidad de adsorción y el porcentaje de hidrocarburos que puede retirarse con niveles razonables de mano de obra y equipos. No obstante, algunos adsorbentes muestran un aumento de la capacidad de adsorción al realizarse una reutilización reiterada, en especial para hidrocarburos más viscosos.



▲ Figura 14: la lixiviación de hidrocarburos de una barrera adsorbente recuperada es una fuente de contaminación secundaria.



▲ Figura 15: uso de adsorbente acumulado en un sitio de almacenamiento temporal. La compresión provocará que los hidrocarburos recolectados se escurran de la barrera y deberá prestarse atención para evitar contaminación secundaria.



▲ Figura 16: trampa adsorbente recuperada, colgada de una pértiga para permitir que los hidrocarburos se introduzcan en un contenedor y minimizar la cantidad de hidrocarburos libres en el residuo.



## Incineración

La incineración de adsorbente contaminado podría ser una opción viable si el material adsorbente es combustible y no contiene cantidades excesivas de agua. Este último criterio excluye con frecuencia la incineración de adsorbentes orgánicos, ya que suelen ser menos selectivos en la recolección de hidrocarburos con respecto al agua y podrían contener una cantidad excesiva de agua. Aunque es posible que se disponga de incineradores en el país en el que se produzca un siniestro, normalmente su capacidad coincide con la demanda local y muy probablemente se vean superados por la llegada imprevista de grandes cantidades de residuos contaminados por hidrocarburos habituales en un derrame importante. Entre los diferentes tipos de incineradores disponibles, los hornos rotativos y de solera son los más adecuados para grandes cantidades de desechos sólidos. Resultará necesario retirar del flujo de residuos los fragmentos grandes de desechos, como por ejemplo barreras adsorbentes contaminadas por hidrocarburos, y reducir su tamaño antes de la incineración.

El alto poder calorífico de los adsorbentes sintéticos puede dificultar el control de la temperatura de la estufa u horno, y podría resultar necesario combinar los adsorbentes contaminados por hidrocarburos con un flujo de residuos que incluya materiales menos combustibles para reducir la tasa de alimentación. Puede conseguirse una reducción considerable del volumen de material destinado al relleno sanitario con la combustión completa de los adsorbentes sintéticos y orgánicos. Por otra parte, la incineración de materiales inorgánicos eliminará el contenido de hidrocarburos aunque no reducirá de forma significativa el volumen final a desechar.

Normalmente, la incineración se controla estrictamente y se requerirá combustión a alta temperatura, junto con una estrecha

monitorización de los gases de escape, para asegurar que no se liberen a la atmósfera dioxinas tóxicas, hidrocarburos aromáticos policíclicos y cloruro de hidrógeno (HCl), especialmente en el caso de los adsorbentes sintéticos. El coste de incineración suele ser considerablemente superior al de otras técnicas de desecho. Por lo tanto, debe considerarse este hecho si se selecciona este método.

## Relleno sanitario

El desecho de material adsorbente como relleno sanitario también suele estar estrictamente regulado por normativas locales y nacionales. En algunos países, el material adsorbente se trata como residuo peligroso y podría exigirse el uso de emplazamientos de relleno sanitario designados, lo que aumentaría el coste de transporte y desecho. Normalmente, los emplazamientos modernos están rodeados por una membrana impermeable para evitar escorrentías. No obstante, cuando no se utilicen estos revestimientos habitualmente, debe prestarse atención a las medidas para evitar la contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas.

## Biodegradación

En general, los adsorbentes orgánicos presentan la ventaja de ser biodegradables. Podría permitirse el desecho de adsorbentes orgánicos mediante compostaje dependiendo de las normativas sobre eliminación de residuos locales y suponiéndose un contenido de hidrocarburos relativamente bajo. El adsorbente contaminado por hidrocarburos se esparce sobre un área de terreno muy extensa y se permite que se produzca la biodegradación. El proceso de degradación podría durar varios años, aunque con frecuencia puede acelerarse mediante aireación a través del uso de equipos de cultivo y la aplicación de fertilizantes. Otra posible vía de eliminación es el compostaje de ciertos adsorbentes orgánicos.

## Puntos clave

- Debe desaconsejarse enérgicamente el uso a gran escala de adsorbentes en tierra y en el mar, ya que se generan volúmenes excesivos de residuos contaminados por hidrocarburos a desechar posteriormente.
- No obstante, el uso de adsorbentes puede resultar adecuado y eficaz en ciertas situaciones, principalmente durante las operaciones de lavado de costas o cuando otras técnicas sean inviables.
- Se considera que el uso de adsorbentes en mar abierto para retirar hidrocarburos del agua representa un uso de recursos muy ineficaz e ineficiente debido a las dificultades para distribuir el material con precisión sobre los hidrocarburos y, aún más importante, para recolectarlo más tarde una vez contaminado por hidrocarburos.
- Las operaciones que utilizan técnicas de limpieza, como dispersantes y skimmers, entran en conflicto con el uso de adsorbentes y se requiere una gestión cuidadosa de la respuesta para evitar que las técnicas interfieran entre sí.
- Los adsorbentes son voluminosos para almacenarlos y transportarlos. Deben considerarse cuidadosamente las medidas de almacenamiento para evitar daños de roedores, insectos, moho, humedad, radiación UV o incendios.
- Los materiales orgánicos o inorgánicos de bajo coste disponibles localmente podrían representar una opción más rentable que los adsorbentes sintéticos almacenados en reservas, a pesar de su menor eficiencia de recolección para el mismo peso de material adsorbente.
- El uso excesivo e ineficiente de material adsorbente puede provocar contaminación secundaria y generar problemas logísticos y financieros importantes durante el almacenamiento temporal, transporte y desecho del material contaminado por hidrocarburos. Por lo tanto, se controlará la salida de adsorbentes de los almacenamientos de reservas y se supervisará atentamente al personal para evitar estos problemas.

# DOCUMENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA

- 1 Observación aérea de derrames de hidrocarburos en el mar
- 2 Destino de los derrames de hidrocarburos en el medio marino
- 3 Uso de barreras en la respuesta a la contaminación por hidrocarburos
- 4 Uso de dispersantes para el tratamiento de derrames de hidrocarburos
- 5 Uso de skimmers en la respuesta a la contaminación por hidrocarburos
- 6 Reconocimiento de hidrocarburos en costas
- 7 Limpieza de costas contaminadas por hidrocarburos
- 8 Uso de materiales adsorbentes en la respuesta a derrames de hidrocarburos
- 9 Eliminación de hidrocarburos y desechos
- 10 Liderazgo, control y gestión de derrames de hidrocarburos en el medio marino
- 11 Efectos de la contaminación por hidrocarburos en el sector de la pesca y acuicultura
- 12 Efectos de la contaminación por hidrocarburos en las actividades sociales y económicas
- 13 Efectos de la contaminación por hidrocarburos en el medio marino
- 14 Muestreo y monitorización de derrames de hidrocarburos en el medio marino
- 15 Preparación y presentación de reclamaciones de contaminación por hidrocarburos
- 16 Planificación de contingencias para derrames de hidrocarburos en el medio marino
- 17 Respuesta a siniestros relacionados con productos químicos en el medio marino

ITOPF es una organización sin ánimo de lucro constituida en nombre de los armadores de todo el mundo y sus aseguradoras para fomentar la respuesta eficaz a los derrames marinos de hidrocarburos, productos químicos y otras sustancias peligrosas. Los servicios técnicos incluyen respuesta a emergencias, asesoramiento en materia de técnicas de limpieza, evaluación de daños, análisis de reclamaciones, asistencia en la planificación de la respuesta a derrames y la prestación de servicios de capacitación. ITOPF es una fuente de información integral sobre contaminación marina por hidrocarburos y este documento pertenece a una serie basada en la experiencia del personal técnico de ITOPF. La información que se incluye en este documento puede reproducirse con la autorización expresa previa de ITOPF. Para obtener información adicional póngase en contacto con:



## ITOPF Ltd

1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1HQ, United Kingdom

Tel: +44 (0)20 7566 6999  
Fax: +44 (0)20 7566 6950  
24hr: +44 (0)20 7566 6998

E-mail: [central@itopf.org](mailto:central@itopf.org)  
Web: [www.itopf.org](http://www.itopf.org)