

LIMPIEZA DE COSTAS CONTAMINADAS POR HIDROCARBUROS

DOCUMENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA

7



Introducción

Las estadísticas de ITOPF demuestran que la mayoría de los derrames de hidrocarburos procedentes de buques se producen cerca de la costa. Las acciones que se emprendan para evitar que los hidrocarburos lleguen a las costas podrían ofrecer resultados parcialmente satisfactorios porque, normalmente, las actividades de lucha contra los hidrocarburos flotantes presentan limitaciones por el tiempo, las condiciones climáticas u otras restricciones. Cuando los hidrocarburos lleguen a la costa, puede requerirse un esfuerzo considerable para limpiar las áreas afectadas. Por lo tanto, resulta fundamental incluir medidas integrales y bien ensayadas para la limpieza de costas en los planes de contingencia.

Las técnicas disponibles para la limpieza de costas son relativamente sencillas y normalmente no requieren equipos especializados. Sin embargo, los daños provocados por los propios hidrocarburos pueden verse agravados por la aplicación de técnicas inapropiadas y una organización inadecuada.

Este documento describe las técnicas habituales de limpieza de costas y ofrece asesoramiento sobre las alternativas más adecuadas para cada etapa de las operaciones para diferentes tipos de costas.

Estrategia general

La selección de las técnicas de limpieza más adecuadas requiere una rápida evaluación del grado y tipo de contaminación, junto con la longitud, naturaleza y accesibilidad de la línea de costa afectada. A la hora de decidir las acciones prioritarias, es necesario considerar las exigencias conflictivas presentes en el entorno marino. Por ejemplo, el uso de áreas de recreo podría requerir métodos rápidos y eficaces para la retirada de los hidrocarburos, aunque es posible que estos métodos no sean compatibles con consideraciones medioambientales, que exigirían técnicas más lentas y menos agresivas. En estas situaciones, resulta necesario encontrar un equilibrio adecuado entre estos posibles intereses en conflicto, para la respuesta en general y en cada emplazamiento en particular.

Las operaciones de limpieza suelen incluirse en tres etapas:

- **Etapas 1 – Fase de emergencia:** Recolección de hidrocarburos flotantes cerca de la costa y de hidrocarburos acumulados en tierra;
- **Etapas 2 – Fase de proyecto:** Retirada de hidrocarburos varados y de material de la costa contaminado por hidrocarburos;
- **Etapas 3 – Fase de limpieza exhaustiva:** Limpieza final de la contaminación ligera y retirada de manchas de hidrocarburos, si fuera necesario.

Durante la etapa inicial, los recursos se movilizarán con la mayor rapidez posible, para minimizar la capacidad de los hidrocarburos para desplazarse a lo largo de la costa y provocar daños adicionales o afectar la fauna y la flora. El paso a la segunda fase puede conllevar la contratación de recursos con mayor tiempo de análisis y, posiblemente, mediante la licitación de los trabajos. Aunque se denomina fase de proyecto y con frecuencia representa la parte más prolongada de la limpieza de costas, la Etapa 2 debería contemplarse como un componente de la respuesta general a la emergencia generada por el derrame de hidrocarburos y no debería percibirse como gestión de proyectos a más largo plazo.

En función de la situación existente, es posible que no resulte necesario avanzar a lo largo de estas etapas. En algunos casos, la operación completa podría finalizarse en una etapa, mientras que en otros casos, pueden combinarse las Etapas 1 y 2. En



▲ *Figura 1: retirada manual de acumulaciones de hidrocarburos. El uso de recursos humanos para la recolección selectiva de hidrocarburos de una costa minimiza la cantidad de material limpio retirado.*

numerosas situaciones, cuando finalice la Etapa 2, puede resultar preferible dejar que toda cantidad de hidrocarburos restante se meteorice y degrade de forma natural.

En cada caso, la primera prioridad es retirar los hidrocarburos flotantes contra la orilla con la mayor rapidez, para evitar que se desplacen a áreas no contaminadas o limpiadas anteriormente (Figura 1). Esto mismo se cumple para acumulaciones pesadas de hidrocarburos varados que las mareas sucesivas podrían volver a movilizar. Pueden emplearse barreras para mantener los hidrocarburos contra la orilla mientras se realiza la recolección. Sin embargo, puede que esta estrategia no resulte viable en costas medioambientalmente sensibles, en las que podría preferirse permitir que los hidrocarburos se desplacen hasta un área menos sensible o más accesible.

Después de retirar los hidrocarburos que puedan volver a desplazarse, tal vez sea necesario decidir entre esperar hasta

que los hidrocarburos que permanecen en el mar lleguen a tierra, para evitar limpiar la misma área repetidas veces, o iniciar la segunda etapa de las operaciones inmediatamente, aunque los hidrocarburos pueden quedar enterrados por mareas sucesivas, especialmente en playas de arena. Una solución habitual consiste en centrarse en la retirada de las áreas de hidrocarburos más gruesas en los lugares más accesibles sin intentar completar esta etapa del trabajo inmediatamente.

La experiencia obtenida en numerosos siniestros demuestra que el componente de una respuesta a un derrame de hidrocarburos que más coste y tiempo requiere es el tratamiento o desecho del residuo retirado. En consecuencia, a menos que estén presentes otros factores determinantes, la técnica de limpieza elegida debería ser aquella que genere la mínima cantidad de residuos a retirar. Esto aporta la ventaja añadida de minimizar la cantidad de material para las tareas posteriores de almacenamiento, transporte y tratamiento/desecho final, así como de reducir la posibilidad de erosión de la costa.

En muchos tipos de costas, la retirada de todos los restos de hidrocarburos puede resultar difícil o desaconsejable. Por lo tanto, no siempre resulta evidente determinar cuándo una costa, o emplazamiento de trabajo particular, se encuentra suficientemente limpia para concluir el trabajo. Un factor importante es el "uso" del área afectada respecto a la importancia relativa de inquietudes medioambientales, sociales y económicas. Las variaciones estacionales en la importancia y sensibilidad de la ubicación, así como el posible grado de exposición a la limpieza natural, son consideraciones adicionales importantes, al igual que el aspecto del coste. A medida que se reduzca la cantidad de hidrocarburos restantes en la orilla, también disminuirá su relevancia, ya que el esfuerzo y gasto necesarios para mejorar la limpieza aumentan de forma desproporcionada en relación con la cantidad de hidrocarburos retirada. Por lo tanto, normalmente solo se requiere una etapa de limpieza final exhaustiva, en la que se retiran trazas y manchas de hidrocarburos, en costas de baja energía y alto valor recreativo durante, o justo antes de, la temporada turística.

Normalmente, los criterios para finalizar la limpieza se discuten en conjunto y se acuerdan después de que un equipo, integrado por representantes de las diversas organizaciones que intervienen en la respuesta, realice las inspecciones necesarias (Figura 2). Para conseguir el consenso necesario, resulta importante comprender las limitaciones de las técnicas de limpieza de costas utilizadas y que los objetivos de la limpieza sean realistas y se acuerden en una fase temprana, si es posible, incluso antes del comienzo de las operaciones de limpieza. Idealmente, los miembros del equipo de inspección intervendrán durante todo el siniestro para disponer de la



▲ Figura 2: Los reconocimientos realizados conjuntamente entre las partes que intervienen en una respuesta permiten acordar las técnicas de limpieza adecuadas y el momento en el que las operaciones de limpieza pueden concluir.

capacidad de evaluar los logros de las operaciones de limpieza en el contexto de la situación inicial.

Técnicas de limpieza

Existen diversas técnicas disponibles para la limpieza de costas contaminadas. Las técnicas se pueden aplicar en más de una etapa de una respuesta. En particular, algunas técnicas de la Etapa 2 también podrían emplearse en las etapas primera o tercera. En consecuencia, las técnicas se agrupan como Etapas 1 y 2 ó 2 y 3.

Retirada de acumulaciones de hidrocarburos y tratamiento de material de la playa contaminado por hidrocarburos (Etapas 1 y 2)

Bombas, camiones aspiradores y skimmers

Normalmente, los hidrocarburos flotantes acumulados en aguas relativamente calmas, frente a costas accesibles para vehículos de carretera, se pueden retirar mediante el uso de bombas, camiones aspiradores o, si la profundidad del agua lo permite, el uso de skimmers. La eficiencia de los camiones de aspiración variará en función del tipo y cantidad de hidrocarburos derramados y de las capacidades de la bomba y el depósito, aunque habitualmente se consiguen tasas de recolección de 20 m³ de hidrocarburos diarios. La eficiencia puede mejorarse reduciendo la cantidad de agua recolectada con los hidrocarburos con la ayuda de un skimmer tipo vertedero conectado a la manguera de aspiración y a través del uso de barreras para concentrar los hidrocarburos más cerca de la orilla (Figura 3).

En el caso de la contaminación pesada en playas de arena y de guijarros finos expuestos a las mareas, se puede arrastrar o barrer los hidrocarburos para introducirlos en zanjas excavadas en paralelo con el borde del agua. Los hidrocarburos acumulados pueden retirarse de la zanja mediante bombas, camiones de vacío o remolques cisterna (Figura 4). Normalmente, las zanjas solo sobreviven un ciclo de las mareas y, a menos que se vacíen y limpien previamente, es posible que los hidrocarburos se mezclen en el sustrato. Resulta necesario identificar cuidadosamente la ubicación de las zanjas para permitir su reutilización durante las mareas bajas posteriores y la limpieza final de las zanjas durante las etapas finales de la respuesta.



▲ Figura 3: recolección de acumulaciones de hidrocarburos de la costa mediante un skimmer tipo fregadora de cuerdas y bombas de aspiración.



▲ *Figura 4: cisternas agrícolas de aspiración recolectan hidrocarburos introducidos en zanjas con chorros de agua.*



▲ *Figura 5: uso de maquinaria de ingeniería civil para retirar hidrocarburos de un área portuaria. En esta situación, la temperatura del agua se encontraba por debajo del punto de fluidez de los hidrocarburos; por lo tanto, estos se encontraban en estado semisólido e impedían el uso de skimmers.*



▲ *Figura 6: el uso de maquinaria en costas contaminadas por hidrocarburos puede dar lugar a contaminación adicional. En la imagen, la circulación de tractores sobre un área de hidrocarburos ha forzado su introducción en la playa.*

Si existe la posibilidad de que las condiciones de calma prevalezcan durante un tiempo, pueden excavarse zanjas justo debajo de la marca de la marea alta para que actúe como vertedero de acumulación de hidrocarburos. Durante la marea alta, o como resultado de las subidas del nivel de agua provocadas por el viento, los hidrocarburos concentrados en el borde del agua fluyen hasta introducirse en la zanja, donde permanecen después del retroceso del agua y pueden bombearse hasta un sistema de almacenamiento.

Resultará necesario transferir los hidrocarburos recolectados mediante bombas y skimmers hasta almacenamiento temporal, por ejemplo, bidones o depósitos portátiles, que pueden vaciarse mediante camiones de aspiración o bombearse hasta camiones cisterna. Para optimizar la logística del transporte y de conformidad con las normativas locales, debería permitirse que el agua libre recolectada con los hidrocarburos se asiente y decante antes de transportarla desde el emplazamiento.

Recolección mecánica

En el caso de hidrocarburos muy viscosos, emulsiones pesadas o hidrocarburos semisólidos por debajo de su punto de fluidez, es posible levantar directamente los hidrocarburos de la superficie del mar en cucharas o pinzas excavadoras para introducirlos en camiones o contenedores (Figura 5). Se requiere una operación muy profesional para minimizar la cantidad de agua recolectada. Si la maquinaria tiene que trabajar en el agua, debe prestarse atención a las mareas y a la topografía del lecho marino si no se conoce en detalle. En costas de marismas, se necesitará alcanzar un equilibrio entre la necesidad de recolectar acumulaciones de hidrocarburos para evitar que vuelvan a desplazarse hasta otras áreas y el daño adicional para el sustrato provocado por la maquinaria pesada, que podría requerir un largo período para restaurarse de forma natural.

En playas muy accesibles y costas abiertas, especialmente playas arenosas, podría emplearse diversa maquinaria de ingeniería civil no especializada, como niveladoras, cargadores y excavadoras frontales, para recolectar y retirar hidrocarburos varados y material contaminado. Por ejemplo, puede que el uso de niveladoras sobre playas de arena compactadas permita la recolección de hidrocarburos cuando hayan penetrado ligeramente en la superficie. La hoja de la niveladora se ajusta para rozar justo debajo de la superficie de la playa y se extraen los hidrocarburos y la arena en líneas paralelas a la playa para retirarlas con cargadores frontales. También se podría utilizar cargadores frontales o bulldozers de forma similar para repasar la superficie de una playa, aunque inevitablemente se recolectará más cantidad de arena limpia subyacente. Debe prestarse atención adicional porque estos equipos pesados también pueden mezclar los hidrocarburos con sedimentos no contaminados previamente (Figura 6).

Atítulo orientativo, la maquinaria pesada permitiría recolectar hasta 400–800 m³ de material en un día. Sin embargo, solo un 25% de este volumen será hidrocarburos y material contaminado, mientras que el 75% sería material limpio, sin contaminar por hidrocarburos. Una vez recolectado, el material limpio se mezclará con el contaminado por hidrocarburos y se generarán mayores volúmenes de residuos contaminados por hidrocarburos (Figura 7). A modo de comparación, un operario recolecta normalmente entre 1 y 2 m³ de arena contaminada por hidrocarburos al día con una cantidad mínima de material limpio. El contenido de hidrocarburos del material retirado varía considerablemente, aunque el material de la playa normalmente incluye un 1-2% de hidrocarburos, mientras que el retirado a mano normalmente incluye un 5-10% de hidrocarburos.

Normalmente, resulta preferible utilizar una combinación de equipos pesados y recolección manual para retirar material contaminado de la playa. La arena contaminada por hidrocarburos, algas marinas y otros materiales recolectados



▲ *Figura 7: la recolección directa mediante el uso de maquinaria pesada ha generado una elevada proporción de material limpio y concentraciones muy bajas de hidrocarburos en el residuo.*



▲ *Figura 8: retirada manual de hidrocarburos y algas marinas contaminadas en una pala excavadora telescópica. Este método permite seleccionar el material contaminado por hidrocarburos con respecto al material limpio, lo que minimiza la cantidad de residuos.*



▲ *Figura 9: área contaminada con fueloil varado que se retira manualmente mediante palas e introducido en bolsas.*



▲ *Figura 10: las bolsas pequeñas de residuos se reúnen en sacos "big bag" de una tonelada para facilitar el transporte al lugar de desecho.*

manualmente pueden colocarse en montones, bolsas u otros contenedores repartidos a intervalos a lo largo de la playa. A continuación, se utilizan cargadores frontales para transportar el material recolectado hasta el almacenamiento temporal, por ejemplo en la parte superior de la playa. De forma alternativa, el material contaminado por hidrocarburos puede introducirse con la ayuda de palas en la pala de carga del cargador (*Figura 8*). El emplazamiento debería dividirse en áreas limpia y sucia, con la maquinaria pesada trabajando desde el lado limpio, para evitar que los hidrocarburos se extiendan hacia la parte superior de la playa.

Recolección manual

El uso de mano de obra para recolectar hidrocarburos y material contaminado de la costa resulta adecuado en todos los tipos de costas, aunque ofrece resultados particularmente óptimos en orillas sensibles y áreas inaccesibles para los vehículos. Un equipo de trabajo que utilice herramientas manuales puede ser más selectivo que las técnicas que únicamente utilizan maquinaria, puesto que puede minimizarse la cantidad de material limpio subyacente recolectado. Aunque la limpieza manual puede requerir un uso intensivo de mano de obra, la recuperación general de costas limpiadas manualmente tiende a ser más rápida, puesto que se producen menos perturbaciones físicas en el sustrato.

Los hidrocarburos muy viscosos o las emulsiones que flotan en el borde del agua pueden recolectarse mediante rastrillos o recolectores calados que permiten drenar el exceso de agua, para luego ser transferidos a recipientes adecuados que se retirarán más tarde de la costa. Los hidrocarburos varados muy emulsionados, viscosos o mezclados con arena pueden introducirse directamente en bolsas de plástico (*Figura 9*). La gestión manual posterior se simplifica si el peso de las bolsas no supera 10-15 kg. Para resistir este peso, las bolsas deberían contener como mínimo material de calibre 500 (>125 µm); los sacos para escombros o fertilizantes resultarían óptimos. Puede resultar adecuado el uso de doble embolsado, por ejemplo una bolsa dentro de otra, para reducir la posibilidad de derrames de las bolsas. La bolsas de menor calibre se deterioran con rapidez cuando se exponen a la luz solar, lo que permite que se derrame el contenido y se genere contaminación secundaria. Puede resultar útil el uso de bolsas de polipropileno entretejidas, como por ejemplo las que se utilizan para el transporte de azúcar y arroz, aunque los hidrocarburos pueden filtrarse bajo la incidencia de la luz solar o a altas temperaturas.

Resulta necesario transportar las bolsas desde la costa hasta un punto intermedio en la parte superior de la playa o hasta un punto de almacenamiento temporal para evitar que sean arrastradas y se libere el contenido. Las bolsas u otros contenedores pueden cargarse en cargadores frontales



▲ *Figura 11: las bolsas más pequeñas de residuos contaminados por hidrocarburos se reúnen en sacos "big bag" de una tonelada que se transportan hasta una embarcación de desembarco para la retirada de una costa aislada.*



▲ *Figura 12: se raspa el petróleo crudo a lo largo de una playa arenosa compactada para recolectarlo en zanjas y, a continuación, recolectarlo mediante camiones de aspiración para transportarlo más adelante al lugar de desecho.*



▲ *Figura 13: almacenaje temporal de hidrocarburos recolectados en una costa rocosa en grandes recipientes abiertos. Se necesitaron bombas para transferir estos hidrocarburos hasta la parte superior del acantilado y, a continuación, hasta camiones cisterna.*

o en camiones, motocicletas de cuatro ruedas, remolques, buques de desembarco, etc. Cuando se disponga de equipos de manipulación mecánica, los sacos de residuos más pequeños pueden reunirse en sacos mayores de una tonelada (conocidos como sacos "big bag", sacos de una tonelada o sacos jumbo) (Figuras 10 y 11). También existe la posibilidad de utilizar sacos de una tonelada para almacenar directamente material adsorbente y otros desechos contaminados por hidrocarburo. Los sacos llenos deben colocarse sobre láminas de plástico para la minimizar contaminación secundaria por los hidrocarburos que podrían filtrarse o derramarse durante el almacenamiento.

El uso de raspadores permite introducir hidrocarburos fluidos presentes en orillas arenosas compactadas en zanjas para su recolección (Figura 12). En otras orillas, pueden llenarse contenedores de basura, barriles o bidones de 200 litros abiertos o recipientes intermedios para graneles (RIG) de 1 m³ mediante el uso de recolectores, palas excavadoras o bombas. También en este caso los contenedores deberían situarse por encima de la marca de la marea alta. Una vez llenos, las operaciones de manipulación se dificultan y, en consecuencia, solo debería emplearse este tipo de contenedores cuando se disponga de equipos de manipulación mecánica o si los contenidos pueden bombearse hasta almacenamiento adicional (Figura 13). De forma alternativa, podría resultar preferible formar una "cadena humana" con cubos para transferir hidrocarburos desde el borde del agua hasta un almacenamiento temporal (Figuras 14 y 15).

Cuando la situación permita trabajar con seguridad, los bidones u otros contenedores pueden transportarse en pequeños botes para almacenar los hidrocarburos cerca de costas. Las inquietudes que plantea la manipulación de contenedores abiertos podrían ser incluso más relevantes en estos casos.

En circunstancias excepcionales, podría mezclarse hidrocarburos fluidos con adsorbentes, u otro material, para que pueda manipularse como un sólido. A continuación, puede recolectarse la mezcla de adsorbente/material/hidrocarburos con horquillas y rastrillos, puesto que resulta imposible bombear la mezcla resultante. Este enfoque aumentará considerablemente el volumen de residuos generados y podría sumar costes adicionales por la compra de adsorbente o material. Normalmente, los adsorbentes sintéticos resultan considerablemente más costosos que los materiales naturales disponibles localmente, como por ejemplo paja, esteras de cocoteros o paja de arroz, bagazo (fibra de caña de azúcar) o corteza molida, que podrían emplearse como alternativas. El incremento de la cantidad de residuos provoca que resulte preferible estudiar la aplicación de técnicas alternativas, como excavación de zanjas, antes de realizar la mezcla.

Lavado con agua

El lavado con agua utiliza grandes volúmenes de agua a baja presión para arrastrar hidrocarburos varados o enterrados de las orillas. Las dos aplicaciones habituales de la técnica son la retirada de hidrocarburos atrapados dentro de sedimentos y la retirada de hidrocarburos de costas sensibles.

Retirada de hidrocarburos atrapados dentro de sedimentos

Los hidrocarburos pueden mezclarse con sustrato (arena, guijarros o guijarros pequeños, etc.) a través de la filtración natural, enterrado debajo de sedimentos limpios depositados por el movimiento de las mareas o después de tormentas, o como resultado de actividades de limpieza. En muchos casos, el lavado con agua puede ofrecer una alternativa

viable a la retirada de material contaminado de la costa y reducir considerablemente el volumen de residuos.

El agua de mar se obtiene mediante bombas de agua portátiles (centrífugas con cebado automático de 30–60 m³/h), a través de filtros o cribas de entrada, y se descarga mediante mangueras hasta lanzas o boquillas. Las tuberías de plástico, de un metro de longitud, resultan ideales como lanzas para lavado con agua manual. Para liberar hidrocarburos enterrados, se inyecta el agua en el sedimento para generar agitación y hacer aflorar los hidrocarburos hasta la superficie. En playas con cantos rodados y guijarros, en ocasiones se introduce agua adicional a lo largo de la parte superior de la playa para inundar la costa y mejorar el flujo (Figura 16).

Para realizar el lavado por encima de la línea del agua, los hidrocarburos liberados pueden canalizarse hasta piscinas naturales existentes, o hasta represas, pozos o zanjas excavados para este propósito. En condiciones de calma, puede ser posible arrastrar con agua los hidrocarburos hasta el mar, donde puede contenerse dentro de longitudes cortas de barreras de contención ligeras o adsorbentes; esta última posibilidad también podría servir para recolectar los hidrocarburos. De forma alternativa, y en función de la cantidad de hidrocarburos, del acceso y la naturaleza de la costa, los hidrocarburos pueden recolectarse mediante skimmers, bombas o camiones de aspiración. En el caso del lavado realizado por debajo de la línea del agua, los hidrocarburos liberados pueden retirarse directamente a medida que emerjan en la superficie.

Retirada de hidrocarburos de áreas sensibles o inaccesibles

Inundar una costa con agua también puede servir para lavar con agua hidrocarburos fluidos y desechos contaminados por hidrocarburos de costas sensibles, como por ejemplo marismas y manglares. El lavado con agua a baja presión reduce la posibilidad de provocar daños físicos a la costa y la flora y fauna asociada en comparación con otras técnicas más invasivas. Normalmente, estos tipos de costas están relacionadas con aguas calmas y los hidrocarburos desplazados se retiran habitualmente de la superficie del agua cerca de la costa mediante el uso de barreras adsorbentes o barreras de contención y skimmers.

El lavado con agua también puede servir para asistir en la retirada de hidrocarburos de áreas inaccesibles, por ejemplo áreas rocosas (Figura 17), dentro de defensas marinas, como por ejemplo tetrápodos o escolleras, y debajo de embarcaderos o muelles soportados por pilares o columnas. El agua puede aplicarse mediante mangueras desde tierra o, alternativamente, desde mangueras o monitores contra incendios en buques desde el mar. Las hélices de los buques pueden servir para crear una corriente hacia el interior o debajo de la estructura para impulsar el flujo de salida que favorezca la recolección.

Lavado con el oleaje

El lavado con el oleaje utiliza los procesos de limpieza naturales y normalmente se emplea en costas arenosas, de guijarros o cantos rodados. La energía de las olas en la zona de oleaje intermareal retiran los hidrocarburos del material contaminado de la playa y lo dispersan a través de la columna de agua. En principio, el lavado con el oleaje es similar al lavado con agua, aunque se basa en la energía natural del oleaje para proporcionar la acción de lavado con volúmenes muy superiores de agua en comparación con los que proporcionarían las bombas. La agitación y abrasión resultante entre las partículas de sedimentos ayudan a liberar los hidrocarburos del interior del sustrato y pueden disgregarlos en gotas que se fijan a partículas muy finas de arena y lodo; un proceso conocido como “floculación



▲ Figura 14: cadenas de operarios que utilizan cubos de hidrocarburos y bolsas llenas permiten retirar con rapidez cantidades importantes de residuos de una costa.



▲ Figura 15: una cadena de operarios vacía cubos de hidrocarburos y material de la playa contaminado por hidrocarburos en un contenedor que se utiliza para almacenamiento temporal.



▲ Figura 16: retirada de hidrocarburos enterrados en una playa arenosa mediante agua a baja presión suministrada a través de lanzas y tuberías perforadas. También se agita manualmente el sustrato para fomentar la separación de los hidrocarburos y la arena. A continuación, la barrera adsorbente que rodea el área de trabajo recolecta los hidrocarburos.



▲ *Figura 17: se utiliza agua a baja presión para lavar hidrocarburos entre las rocas y recolectarlo mediante el uso de material adsorbente más abajo en la costa.*



▲ *Figura 18: la arena ligeramente contaminada se mueve hasta la zona de oleaje intermareal para que se lave durante mareas sucesivas.*



▲ *Figura 19: la marea entrante lava la arena amontonada y vuelve a desplazar los hidrocarburos atrapados. (Imagen gentileza de Bernard Fichaut, Britannia-Brest University).*



▲ *Figura 20: transferencia de cantos rodados contaminados por hidrocarburos a la zona de oleaje para realizar el lavado.*

de arcilla e hidrocarburos” o “agregación de hidrocarburos y mineral”. Estos floculados o agregados presentan una flotabilidad neutra y se dispersan ampliamente en el mar.

Las técnicas descritas anteriormente en este documento deberían emplearse para retirar en primer lugar toda acumulación de hidrocarburos presente en la costa. A continuación, se transfiere el material de la playa restante a tratar con un nivel de contaminación ligero a moderado desde la parte superior de la orilla hasta la zona de oleaje durante la marea baja, bien de forma manual o mediante el uso de maquinaria pesada (*Figura 18*). La marea entrante moviliza y redistribuye el sustrato a lo largo de la costa, liberando los hidrocarburos en el proceso (*Figura 19*). El proceso puede repetirse tantas veces como sea necesario si el lavado inicial no consigue reducir la contaminación hasta el nivel deseado.

Existe la posibilidad de que parte de los hidrocarburos liberados migren hasta la línea de la marea alta, donde pueden recolectarse manualmente. De forma alternativa, es posible retirar los hidrocarburos vueltos a movilizar mediante el uso de adsorbentes, en particular trampas, o redes de mallado estrecho, como las que se utilizan en el sector de la construcción para controlar polvo y residuos alrededor de andamios. Las redes han demostrado ser más eficaces si se fija un extremo a la costa y se permite que el otro extremo se mueva libremente en el mar.

El lavado con el oleaje resulta particularmente útil para solucionar problemas con hidrocarburos enterrados sin necesidad de realizar la retirada a gran escala para desecharlos fuera del emplazamiento. Sin embargo, puede requerirse la acción de varios ciclos de mareas antes de restaurar el perfil de la playa, puesto que se necesitará una acción enérgica de las olas para subir grandes piedras por la playa (*Figura 20*). Por lo tanto, debe considerarse el riesgo de erosión a más largo plazo antes de mover sustrato contaminado por hidrocarburos para acercarlo a la zona de oleaje.

Técnicas utilizadas en las últimas etapas de la limpieza de costas (Etapas 2 y 3)

Después de retirar o tratar las acumulaciones de hidrocarburos y el material de la costa muy contaminado por hidrocarburos, el trabajo puede centrarse en la limpieza de las áreas contaminadas restantes mediante la aplicación de una única técnica o una combinación de técnicas como las que se describen a continuación.

Lavado a presión

El lavado a alta presión puede aplicarse sobre la mayoría de superficies y sustratos duros, aunque normalmente se emplea cuando existe la posibilidad de que la limpieza

natural resulte insuficiente o demasiado lenta para satisfacer inquietudes recreativas o estéticas en costas de recreo o muy visibles (Figura 21). Esta técnica se utiliza con frecuencia para retirar hidrocarburos de muros de muelles en áreas comerciales. Puede emplearse agua fría y caliente en función de la disponibilidad de los equipos y del tipo de hidrocarburos. Cuanto más viscosos sean los hidrocarburos más temperatura se requiere para extraerlos.

Se trata de una técnica agresiva y, aunque es posible que el lavado con agua fría a alta presión provoque menos daños que el lavado con agua caliente, resulta inevitable que se destruya buena parte de la flora marina que habita en las superficies duras, por ejemplo lapas o líquenes. También puede sufrir daños la propia superficie, especialmente hormigón antiguo, ladrillos o roca blanda, particularmente cuando se utilizan presiones extremas.

Para lavado a alta presión, se recomienda trabajar con temperaturas entre 70-95 °C. No se recomienda utilizar temperaturas más altas porque el vapor no tiene tanta eficacia como el agua a presión. Las presiones recomendadas varían entre 50-150 bar con caudales de 10-20 litros/minuto. En función del tipo de hidrocarburos, su grado de meteorización y grosor, un operario con una lanza puede limpiar normalmente una superficie plana suave, como por ejemplo un muro de hormigón, a una velocidad media de 1-3 m²/hora. Para superficies rugosas y áreas de difícil acceso, el tiempo de limpieza puede ser considerablemente más prolongado.

Las actividades logísticas pueden simplificarse si se utiliza agua salada en lugar de agua dulce. Sin embargo, el agua de mar degrada rápidamente las juntas internas y los pistones y se requerirá realizar el mantenimiento de las máquinas con más frecuencia. No debería contemplarse realizar una operación con agua de mar a menos que se disponga de un suministro inmediato de piezas de repuesto y se cuente con un mecánico cualificado en el emplazamiento durante la operación. Además, se requerirá una bomba sumergible, equipada con un filtro o criba para evitar que los desechos marinos obstruyan el sistema, para suministrar agua a las máquinas. Siempre que sea posible, debería prepararse un depósito de almacenamiento temporal entre la bomba de agua y el equipo de lavado a presión para que actúe como almacenamiento intermedio (Figura 22). Cuando exista fácil acceso a agua dulce, es esperable que las operaciones se ejecuten con menos averías e interrupciones. Si las máquinas son de alquiler, probablemente el uso de agua salada incumpla las condiciones de alquiler, a menos que se acuerde previamente.

Los hidrocarburos liberados por el lavado pueden recolectarse con paños adsorbentes colocados en la base de la superficie a limpiar, que también permiten minimizar salpicaduras hacia superficies de trabajo limpias adyacentes. En algunos casos, existe la posibilidad de que los hidrocarburos liberados migren hasta el borde del agua, donde pueden contenerse y recolectarse mediante barreras. El lavado con agua puede contribuir a dirigir los hidrocarburos liberados hacia áreas de contención. Las manchas de hidrocarburos que permanecen sobre algunas superficies después del lavado a presión normalmente se desvanecen con el tiempo y la exposición a la intemperie. Sin embargo, las áreas de recreo pueden requerir limpieza adicional, especialmente durante la temporada turística. Esto puede conseguirse con lavado a presión adicional y/o el uso de productos químicos de limpieza en lugares específicos (Figura 23). En entornos tropicales y subtropicales, el lavado con agua caliente podría resultar menos eficaz que en climas templados, porque los hidrocarburos expuestos al sol pueden llegar a cocerse y adherirse a la roca.



▲ Figura 21: lavado a presión de la cara de un acantilado por encima de una playa de recreo. Una tormenta arrastró los hidrocarburos hacia la parte superior del acantilado y probablemente persistiría durante cierto tiempo si no se realizara la limpieza.



▲ Figura 22: limpieza a presión de un saliente de roca en una ubicación remota. Se bombeó agua de mar hasta el depósito de almacenamiento temporal mediante máquinas de alta presión adyacentes.



▲ Figura 23: aplicación de un producto químico de limpieza a una mancha de hidrocarburos, seguido de un lavado a presión.

Lavado a presión junto con productos químicos

En algunos casos, la eficacia de la limpieza a presión puede mejorar mediante el tratamiento previo de las manchas de hidrocarburos con productos químicos adecuados.

Los productos de limpieza de costas se diseñan específicamente para retirar hidrocarburos de superficies duras sin dispersión, para permitir la recolección de los hidrocarburos liberados. En todo momento se deben cumplir las tasas de aplicación recomendadas por el fabricante y limpiar la mezcla resultante, idealmente con agua fría con presión moderada. Únicamente deben emplearse productos aprobados por agencias regulatorias nacionales.

El cepillado enérgico de **dispersante** en la película de hidrocarburos genera una mezcla que puede lavarse, normalmente con agua fría a presión moderada. La tasa de aplicación adecuada puede calcularse mediante la estimación del grosor de la capa de hidrocarburos y el uso de una tasa de dosis de 1:20, de dispersante concentrado a hidrocarburos. Por ejemplo, una película de hidrocarburos con un grosor estimado de un milímetro equivale a un litro de hidrocarburos por metro cuadrado; esto requiere el uso de aproximadamente un litro de dispersante para cada 20 m² de superficie contaminada por hidrocarburos.

En muchos tipos de hidrocarburos, la mezcla resultante se dispersará en el agua cercana, imposibilitándose la recolección. En general, los materiales adsorbentes resultan ineficaces sobre hidrocarburos dispersos. Sin embargo, en algunos casos, principalmente con hidrocarburos viscosos, el dispersante actúa simplemente para liberar los hidrocarburos de la superficie y no provoca una dispersión. Por lo tanto, deben retirarse los hidrocarburos liberados para evitar que se repita la contaminación.

Numerosas especies presentes en áreas intermareales y cerca de la orilla son sensibles a los hidrocarburos dispersos. En consecuencia, el uso de dispersantes en costas debería limitarse a áreas en las que el movimiento del agua permita una rápida dilución de los hidrocarburos dispersos. La legislación podría prohibir el uso de dispersantes en costas aunque, cuando se permita, solo deberán emplearse productos regulados.

En circunstancias excepcionales, se utiliza arenado a presión sobre áreas limitadas y bien definidas, y cuando resulta necesario retirar todas las trazas de hidrocarburos. Se utiliza agua como medio portador en lugar de aire para reducir la capacidad de abrasión de la técnica. No obstante, esto puede provocar graves daños en la superficie subyacente.

Lavado de guijarros/cantos rodados

Los guijarros y cantos rodados pueden limpiarse satisfactoriamente en tambores giratorios de camiones hormigoneras o en instalaciones construidas para este propósito. En el caso de camiones hormigonera con una capacidad del tambor de 7,5–10 m³, se ha obtenido una capacidad de producción en lote de aproximadamente 5-6 toneladas/hora. Las piedras contaminadas por hidrocarburos se cargan en la mezcladora junto con un disolvente, como por ejemplo queroseno inodoro, o un producto de lavado de superficies, y se realiza una mezcla previa antes de añadir agua. A modo de referencia, se aplica una relación de 1:50, de disolvente a sustrato contaminado por hidrocarburos, aunque esto depende del grado de contaminación por hidrocarburos. Después de un período de mezclado rápido de aproximadamente 5 minutos, la velocidad de giro del tambor mezclador se ralentiza y se llena el tambor con agua hasta completar su capacidad. Después de mezclar brevemente, se añade agua adicional mientras la mezcladora gira muy lentamente, lo que permite que los hidrocarburos liberados se descarguen de la mezcladora hasta una serie de depósitos portátiles en los que es posible separarlos y



▲ *Figura 24: liberación de efluentes desde un camión hormigonera después de lavar guijarros y pequeños cantos rodados.*

recolectarlos (Figura 24). Debe reciclarse la mayor cantidad posible de agua para lavar los siguientes lotes de material.

Normalmente basta con treinta a sesenta minutos de lavado para liberar la mayor parte de los hidrocarburos de un lote. Aunque solo se encuentren ligeramente contaminados, existe la posibilidad de que los guijarros pequeños descargados aún presenten un ligero tacto grasiento que podría tratarse mediante la limpieza natural en la zona de oleaje. Si se dispone de suficientes camiones hormigonera, puede establecerse una “estación de limpieza” que combine todos los equipos necesarios, como por ejemplo cargadores, bombas y depósitos, en una ubicación. Esto permite optimizar el proceso de trabajo en lotes para que, por ejemplo, mientras se carga una hormigonera, otra lave y enjuague y una tercera descargue las piedras limpias.

La experiencia demuestra que puede producirse una acumulación de “finos”, principalmente arenas y arcillas finas asociadas habitualmente a guijarros y cantos rodados, en el tambor de mezclado después de varios lotes. Probablemente estos finos no estén suficientemente limpios para devolverlos a la costa y podría resultar necesario encontrar vías de desecho alternativas para este material. Además, debe considerarse el desecho final del agua contaminada. Cuando se contemple el lavado de cantos rodados, se requerirá realizar un análisis cuidadoso de la rentabilidad económica y la logística necesaria para respaldar esta operación.

Las diferentes alternativas de lavado de guijarros incluyen la colocación de guijarros y cantos rodados contaminados por hidrocarburos en depósitos o baños de agua caliente. El proceso es similar, aunque la mezcla se realiza mediante una pala excavadora. En el caso de pequeñas áreas de guijarros contaminados por hidrocarburos, especialmente en lugares inaccesibles, se han obtenido los mismos resultados manualmente mediante el uso de recipientes adecuados, como por ejemplo bidones de aceite divididos a la mitad.

Arado/gradeo

Después de la retirada de las acumulaciones de hidrocarburos y de la contaminación pesada de playas arenosas o de guijarros pequeños, normalmente permanece cierta contaminación ligera, por ejemplo, donde los hidrocarburos se han mezclado con el sustrato por la circulación de vehículos sobre la playa. En esta etapa de la operación, los sedimentos normalmente presentan una sensación grasienta al tacto y el uso de equipos agrícolas para arar o gradar los sedimentos ligeramente contaminados por hidrocarburos hasta el nivel de la marea baja contribuye a retirar dichos hidrocarburos restantes de las playas sometidas a mareas (Figura 25). La disgregación de los sedimentos contaminados por hidrocarburos aumenta el área de hidrocarburos expuestos a los procesos de meteorización, facilita la floculación de arcilla e hidrocarburos o agregación de hidrocarburos y mineral y mantiene los sedimentos aireados. Esto permite que las bacterias y otros microorganismos presentes de forma natural degraden los hidrocarburos con más rapidez. En ocasiones, se liberan pequeñas cantidades de hidrocarburos durante el ciclo de las mareas, que puede recolectarse mediante el uso de adsorbentes en la marea alta o desde la superficie de la playa a medida que se retire la marea. Realizar este tipo de repaso en el material de la costa puede afectar a las especies que habitan en los sedimentos. Sin embargo, puede que esta técnica resulte especialmente útil cuando no sea posible el lavado con el oleaje.

Máquinas de tamizado de arena/limpieza de playas

La contaminación que permanece después de la limpieza de playas arenosas normalmente presenta la forma de bolas de alquitrán o pequeños nódulos de arena contaminada por hidrocarburo, con un diámetro de 50 mm o inferior. Las máquinas diseñadas para la recolección habitual de basura y restos de la playa pueden servir para recolectar residuos contaminados por hidrocarburos, masas más grandes de arena contaminada por hidrocarburos y bolas de alquitrán. Normalmente, se conducen o remolcan máquinas a lo largo de la playa para retirar la superficie hasta una profundidad predefinida y pasar el material sobre una criba vibratoria o giratoria (Figura 26). En función del tamaño del mallado, se transfiere el material recolectado hasta un recipiente de almacenamiento en el vehículo, a la vez que se permite que la arena limpia caiga sobre la playa. Puede que estas máquinas no resulten eficaces para recolectar bolas de alquitrán más pequeñas o hidrocarburos frescos menos viscosos, ya que los aglomerados de hidrocarburos y arena tienden a disgregarse por el efecto de las vibraciones de la criba y caen a través de esta.

Dispositivos de tamizado a menor escala, mecánicos y manuales, pueden servir para retirar residuos de arena oleosa y bolas de alquitrán de arena ligeramente contaminada que se haya recolectado de forma manual (Figura 27). Este método requiere un uso intensivo de mano de obra y probablemente solo sea aplicable para áreas de recreo importantes, donde existe mano de obra abundante y resulta primordial la necesidad de minimizar la cantidad de residuos recolectados. De forma alternativa, en ocasiones se retiran a mano bolas de alquitrán y pequeños residuos de arena oleosa, a veces mediante cribas de jardinería portátiles, aunque incluso para áreas de recreo de gran valor, es improbable que este método resulte rentable.

Limpieza a mano

En situaciones en las que el acceso limitado a costas de rocas o cantos rodados impida el uso de lavado a presión u otros equipos, la limpieza a mano puede ofrecer la única opción para retirar los hidrocarburos de forma activa. Las acumulaciones ligeras a moderadas de hidrocarburos pueden retirarse mediante limpieza a mano (Figura 28).



▲ Figura 25: el sustrato de la playa contaminado se expone a la superficie mediante arado. A continuación, el efecto de la marea entrante liberan hidrocarburos que se recolectan en el borde del agua.



▲ Figura 26: recolección de bolas de alquitrán mediante una máquina de limpieza de playas remolcada por un tractor.



▲ *Figura 27: tamizado improvisado para recolectar bolas de alquitrán.*

En general, el uso de trapos resulta más rentable que los adsorbentes sintéticos. Después del uso, los materiales manchados deben embolsarse para transportarlos al lugar de desecho. Cuando se autorice, puede resultar adecuado el uso de productos químicos de limpieza, aunque esto podría reducir la eficacia de los materiales adsorbentes. La limpieza a mano tiende a realizarse en países en los que existe mano de obra abundante, aunque se requiere un estrecha supervisión para garantizar un avance uniforme a lo largo de la costa y minimizar la contaminación secundaria.

Biorremediación

El término biorremediación sirve para describir diversos procesos que pueden emplearse para acelerar la biodegradación natural de hidrocarburos en compuestos sencillos, como por ejemplo dióxido de carbono, agua y biomasa. Más específicamente, bioestimulación es la aplicación de nutrientes y bioaugmentación o siembra es la incorporación de microbios especialmente seleccionados para degradar hidrocarburos.

La biodegradación natural puede acelerarse con más eficacia cuando se emplea bioestimulación en tierra, como por ejemplo en tratamiento biológico del suelo. En este caso, pueden controlarse los factores químicos y biológicos que afectan a la biorremediación para proporcionar las condiciones óptimas para la biodegradación. El uso de este proceso en la costa rara vez resulta aconsejable, puesto que no es tan fácil conseguir el mismo nivel de control en el entorno marino.

Limpieza natural

Con el transcurso del tiempo, la mayoría de las costas se limpian de forma natural a medida que los hidrocarburos se meteorizan y se degradan. Los procesos clave de la retirada natural son abrasión, floculación de arcilla e hidrocarburos o agregación de hidrocarburos y mineral, fotooxidación y biodegradación. En costas expuestas con fuerte oleaje, es probable que la mayor parte de los hidrocarburos se retire durante un ciclo estacional. Con la excepción de manchas situadas muy por encima de la marca de la marea alta, la mayoría de las trazas de hidrocarburos desaparecerán en el plazo de dos o tres años. Sin embargo, si los hidrocarburos se han incorporado en el sedimento o en lodo anaerobio fino, la degradación se realizará muy lentamente y los hidrocarburos podrían llegar a persistir durante muchos años, por ejemplo como bloques de asfalto.

En numerosos derrames, después de concluir las Etapas 1 y 2 de la operación de limpieza, se permite que la limpieza final se realice mediante procesos naturales, al tratarse de la



▲ *Figura 28: voluntarios limpian rocas contaminadas por hidrocarburos con trapos.*

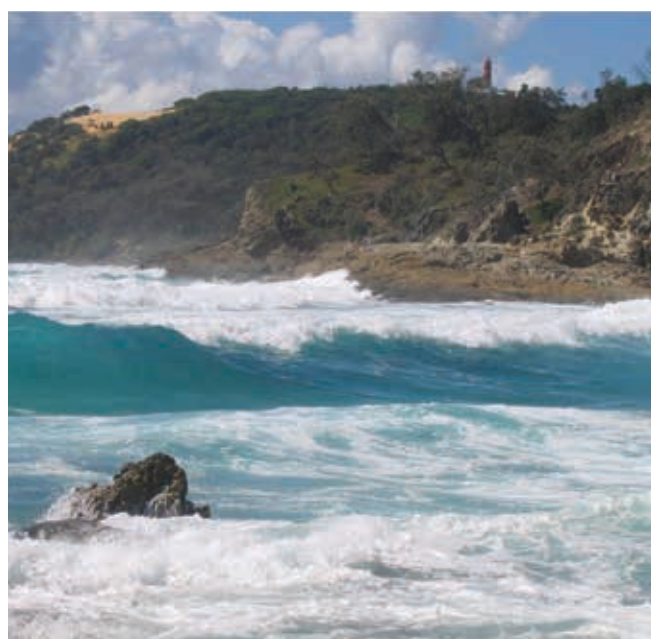
solución más eficaz y rentable, especialmente si se acerca un período de tormentas estacionales (*Figura 29*). Cuando las circunstancias lo permitan, la limpieza natural representa la opción preferible para diversos tipos de costas sensibles, por ejemplo manglares y marismas, para minimizar los daños de las actividades de limpieza. Los reconocimientos de la costa ofrecen los mejores resultados si se realizan después del período de tormentas invernales o tropicales, para determinar si la limpieza natural ha conseguido los objetivos de respuesta deseados o si se requiere realizar limpieza adicional.

Tipos de costa

Se describen técnicas de limpieza para siete tipos de costas:

Amarres, puertos y otras instalaciones

Los muros y otras estructuras verticales pueden presentar una banda de hidrocarburos a lo largo del intervalo de acción de las mareas, que puede retirarse mediante lavado a presión desde botes o balsas (*Figura 30*). Los hidrocarburos que se hayan introducido debajo de embarcaderos o muelles u otras estructuras construidas sobre pilares o columnas puede resultar difícil de retirar, especialmente si el espacio



▲ *Figura 29: en numerosas situaciones, no se actúa para permitir que los procesos naturales realicen la limpieza final de una costa.*



▲ Figura 30: lavado a presión desde una pequeña balsa muelle y pilares contaminados por hidrocarburos. Los hidrocarburos liberados se recolectan en la barrera adsorbente.



▲ Figura 31: Puede que la falta de espacio libre y de ventilación debajo de embarcaderos impida a los operarios de limpieza trabajar de forma fácil y segura.



▲ Figura 32: limpieza de escolleras mediante equipos de lavado a alta presión.



▲ Figura 33: la limpieza de tetrápodos contaminados plantea problemas porque es difícil acceder a los hidrocarburos en el interior de la estructura.

vacío está limitado (Figura 31). El arrastre generado por las hélices de buques podría ayudar a retirar acumulaciones de hidrocarburos, aunque puede que sea imposible realizar una limpieza fina y se dejen los hidrocarburos para que se degraden de forma natural. Las estructuras de madera, en especial cuando se encuentran en proceso de putrefacción, pueden sufrir daños al emplear técnicas de limpieza más agresivas. La limpieza de áreas comerciales de la costa se trata con mayor detalle en el documento independiente sobre los Efectos de la contaminación por hidrocarburos en las actividades sociales y económicas.

Defensas marinas

Los diversos diseños de defensas marinas plantean un problema de limpieza particularmente difícil. Los hidrocarburos pueden penetrar profundamente en la estructura a través de los espacios entre rocas o tetrápodos de hormigón, donde quedarán protegidos de la acción de las olas y los procesos de meteorización se producirán lentamente. Las formas abiertas de escolleras (Figura 32) y tetrápodos (Figura 33) también acumulan cantidades considerables de desechos que actúan como adsorbente de hidrocarburos, lo que dificulta aún más la retirada de los hidrocarburos. Si el derrame se produce durante el invierno, los hidrocarburos pueden permanecer atrapados dentro de la estructura hasta los meses de verano, cuando pueden volverse más fluidos y filtrarse hacia el exterior. Además, las defensas marinas se encuentran inevitablemente expuestas

al mar abierto y son entornos de trabajo potencialmente inseguros.

En condiciones climatológicas favorables, los hidrocarburos

Defensas marinas		
	Accesibles	Inaccesibles
Etapa 1	Skimmers/bombas Camiones de aspiración Lavado con agua	Manual Manual y adsorbentes
Etapa 2	Lavado a presión Limpieza pasiva Desmontaje (excepcionalmente) Limpieza natural	Limpieza natural Limpieza a mano
Etapa 3	Limpieza a mano Limpieza natural	Limpieza natural

▲ Tabla 1: técnicas aplicables para limpiar diversos tipos de defensas marinas.

flotantes en la base de las defensas marinas pueden recolectarse desde botes. Los operarios situados en la estructura, y hasta cierto punto dentro de ella (en la medida que resulte seguro trabajar de esta manera), pueden retirar residuos contaminados por hidrocarburos y limpiar rocas grandes y tetrápodos con equipos de lavado a presión o manualmente con trapos y adsorbentes. La limpieza pasiva, en la que se colocan adsorbentes a lo largo de la superficie de las defensas marinas, permite recolectar los hidrocarburos arrastrados por el movimiento de mareas, marejadas y acción de las olas. En ciertas situaciones, esta acción natural puede intensificarse mediante el bombeo de agua en la estructura para eliminar los hidrocarburos.

En circunstancias muy excepcionales, las defensas marinas pueden desmantelarse para que resulte más fácil retirar residuos contaminados por hidrocarburos y lavar las rocas grandes y tetrápodos individuales. Esto podría resultar adecuado si los hidrocarburos se filtran hacia el exterior y plantean riesgos de contaminación de playas turísticas o instalaciones de maricultura aunque, incluso en estos casos, normalmente debe encontrarse un equilibrio entre la amenaza de contaminación y los costes de desmontaje y reensamblaje de las defensas marinas. Probablemente, solo se realizará el desmontaje si se realiza este tipo de trabajo de forma rutinaria, por ejemplo para el mantenimiento de defensas marinas, y si ya se dispone de los equipos y la infraestructura necesarios.

Rocas y bloques de piedra

Normalmente, las superficies duras como rocas y bloques de piedra se impregnan de hidrocarburos en el intervalo de acción de las mareas, y se produce una acumulación de hidrocarburos y desechos contaminados en agrupaciones de rocas y hendiduras (Figura 34). En costas expuestas los hidrocarburos no suelen permanecer estáticos y se desplazan a lo largo de la costa hasta quedar varados en sitios protegidos. En ocasiones, el acceso a playas rocosas resulta difícil y debe prestarse atención especial a la seguridad de los operarios sobre superficies resbaladizas, así como a los riesgos que plantean las olas y mareas. Cuando el acceso por otros medios, por ejemplo desde el mar, resulte imposible, podrían construirse pasos provisionales para mejorar las condiciones de trabajo (Figura 35).

En áreas de alta concentración de fauna y flora en las que hayan quedado varadas cantidades importantes de hidrocarburos, puede extenderse material adsorbente suelto sobre rocas contaminadas por hidrocarburos y, en

ocasiones, cepillarlo sobre los hidrocarburos, para que actúe como una máscara y se reduzca la contaminación de piel y plumas de animales. En algunos países, se favorece el uso de corteza molida, mientras que en otros se han utilizado adsorbentes minerales. Por ejemplo, este método se empleó para proteger focas y pingüinos en sitios de descanso conocidos. Normalmente, no se retira la mezcla de adsorbente/hidrocarburos, sino que se mantiene hasta que el mar propicia su retirada y la distribuye ampliamente para facilitar la degradación. Sin embargo, esta técnica debe emplearse con cautela, porque la mezcla de adsorbente/hidrocarburos presente en esterillas a la deriva puede producir contaminación secundaria, y debido al coste potencial del adsorbente.

Cantos rodados y guijarros grandes y pequeños

Este tipo de costa es una de las más difíciles de limpiar de forma satisfactoria porque los hidrocarburos pueden penetrar hasta los espacios existentes entre las rocas y

Cantos rodados y guijarros grandes y pequeños

	Accesibles	Inaccesibles
Etapa 1	Skimmers/bombas Camiones de aspiración Lavado con agua	Manual Manual y adsorbentes
Etapa 2	Lavado con agua Lavado con el oleaje/ de cantos rodados Mecánica Limpieza natural	Limpieza natural Limpieza a mano
Etapa 3	Limpieza natural Lavado con el oleaje/ de cantos rodados Arenado a presión (excepcionalmente)	Limpieza natural

▲ Tabla 3: técnicas aplicables para limpiar sustratos intermedios.

Rocas y bloques de piedra

	Accesibles	Inaccesibles
Etapa 1	Skimmers/bombas Camiones de aspiración Lavado con agua	Manual Manual y adsorbentes
Etapa 2	Lavado a presión Materiales adsorbentes Limpieza natural	Limpieza natural Limpieza a mano
Etapa 3	Limpieza natural Lavado a presión Arenado a presión (excepcionalmente)	Limpieza natural

▲ Tabla 2: técnicas aplicables para limpiar rocas y bloques de piedra.



▲ Figura 34: los hidrocarburos y desechos contaminados se acumulan en grietas y charcas rocosas, por lo que se necesitará una limpieza manual importante.



▲ *Figura 35: en costas rocosas, existe la opción de construir pasos provisionales para minimizar los riesgos para los operarios.*



▲ *Figura 36: recolección de guijarros pequeños contaminados por hidrocarburos en bolsas.*

en profundidad en la playa. Las características de escasa resistencia a la carga de estas costas impide el movimiento de vehículos y personal. Por lo tanto, la retirada masiva de piedras muy contaminadas por hidrocarburos puede resultar problemática. Asimismo, las vías disponibles para desechar cantos rodados muy contaminados por hidrocarburos presentan más limitaciones con respecto al caso de las playas de arena y guijarros pequeños contaminados. Sin embargo, puede que resulte necesario retirar guijarros pequeños muy contaminados por hidrocarburos en costas protegidas para evitar la formación de bloques de asfalto (Figura 36). Cuando las condiciones lo permitan, el lavado de piedras contaminadas por hidrocarburos minimizan la cantidad de residuos a transportar a lugares de desecho. Las técnicas de lavado con agua y de lavado con el oleaje también resultan muy prácticas en estos entornos.

Playas de arena

Las playas de arena suelen considerarse recursos de recreo valiosos que reciben la máxima prioridad en la limpieza (Figura 37). Normalmente, las playas de recreo ofrecen un buen acceso y, debido a que la profundidad de la penetración de los hidrocarburos es limitada para numerosos hidrocarburos, en general se consideran como el tipo de costa más fácil de limpiar (Figura 38). Sin embargo, los hidrocarburos pueden quedar enterrados en la playa por el efecto de mareas sucesivas y los hidrocarburos de baja viscosidad penetrarán en arenas de grano más grueso. Para tratar los hidrocarburos enterrados, puede que resulte conveniente utilizar técnicas de lavado con agua, lavado con el oleaje y grabeo.

Pueden construirse pistas provisionales para permitir el acceso de equipos pesados a la playa, por ejemplo para evitar daños en hábitats frágiles en dunas. Las ruedas o cadenas de vehículos que trabajen en playas sueltas o de arena gruesa corren el riesgo de hundirse en la arena (Figura 39). Esto puede provocar que los hidrocarburos varados profundicen aún más en el sustrato de la playa. Los camiones y otros vehículos que circulen por la playa pueden quedar inmovilizados una vez cargados.

La retirada excesiva de arena puede plantear inquietudes por los posibles problemas de erosión en la playa. Sin embargo, en las playas más expuestas, los ciclos estacionales de erosión y acreción son tan grandes que la cantidad de material retirado durante las operaciones de limpieza normalmente resulta insignificante en comparación con estos procesos y suele reemplazarse de forma natural. No obstante, en ocasiones se propone importar arena limpia de otro lugar para devolver una playa a su uso original en el



▲ *Figura 37: en la temporada turística, la limpieza de playas de arena puede resultar prioritaria.*



▲ *Figura 38: recolección manual de fueloil emulsionado de una playa de arena gruesa.*

Playas de arena		
	Accesibles	Inaccesibles
Etapa 1	Skimmers/bombas Camiones de aspiración Manual/mecánica Excavación de zanjas Lavado con agua	Manual Manual y adsorbentes
Etapa 2	Lavado con agua Lavado con el oleaje Manual/mecánica	Limpieza natural Manual
Etapa 3	Limpieza natural Lavado con el oleaje Arado y gradeo Máquinas de limpieza de playas Tamizado de arena	Limpieza natural

▲ Tabla 4: técnicas aplicables para limpiar playas de arena.

menor plazo de tiempo posible. Si se sigue este método, es imprescindible que, en la medida de lo posible, esta arena limpia presente la misma densidad y tamaño de grano que el material original para que se comporte de forma similar. Si, por ejemplo, se utiliza arena de grano más fino para sustituir la original, existe el riesgo de que sea arrastrada de la playa.

Puede que sea posible mover la arena por encima de la marca de la marea alta cuando se disponga de tiempo suficiente antes de la llegada del derrame a la playa. A continuación, puede reponerse este material después de limpiar la playa. También pueden retirarse los residuos de la playa por si llegan hidrocarburos, reduciéndose así considerablemente la cantidad de desechos contaminados que deben eliminarse.

Costas fangosas

Siempre que sea posible, resulta preferible permitir la llegada de los hidrocarburos a este tipo de costa para que se meteorice de forma natural, especialmente cuando hayan sido arrastrados hasta la vegetación. En numerosas ocasiones, se ha comprobado que las actividades que pretendían eliminar la contaminación han generado más daño que los propios hidrocarburos, debido a las pisadas continuas y a la erosión (Figuras 40 y 41).

En climas templados, la vegetación de las marismas sobrevive con frecuencia a una asfixia por hidrocarburos y, en muchos casos, afloran nuevas plantas a través de la cobertura de hidrocarburos. Resulta más difícil predecir los daños en manglares en regiones tropicales y depende de las especies, de la naturaleza de los hidrocarburos (los hidrocarburos ligeros son más tóxicos que los hidrocarburos pesados) y de la porosidad del sustrato. Los manglares en sedimentos gruesos parecen mostrarse menos vulnerables que los que crecen en lodo fino.

Cuando resulta imprescindible retirar los hidrocarburos para evitar que vuelvan a desplazarse y se extiendan a lo largo de la costa, pueden arrastrarse hacia aguas abiertas, donde es posible contenerlos para su posterior recolección. La mejor opción es aproximarse a la costa desde el agua



▲ Figura 39: los vehículos cargados pueden hundirse en sustratos blandos. Esto puede provocar daños adicionales y la mezcla de hidrocarburos con sedimentos limpios.

Costas fangosas		
	Accesibles	Inaccesibles
Etapa 1	Skimmers/bombas Camiones de aspiración Lavado con agua	Manual Manual y adsorbentes
Etapa 2	Lavado con agua Manual	Limpieza natural Manual
Etapa 3	Limpieza natural	Limpieza natural

▲ Tabla 5: técnicas aplicables para limpiar costas fangosas.

en botes de poco calado o desde tierra mediante el uso de pasos provisionales. Alternativamente, si se decide realizar recolección manual, el trabajo debe realizarse bajo estrecha supervisión, para minimizar daños adicionales en raíces y brotes (Figura 42).

Si aves u otra fauna se ven amenazadas, podría considerarse la opción de cortar y retirar vegetación de marismas contaminadas por hidrocarburos, aunque debe ponderarse con el riesgo de que las pisadas provoquen daños a más largo plazo. Debe evitarse realizar cortes de vegetación en manglares porque los plazos de recuperación son muy prolongados.

Corales

Las posibilidades de que los corales vivos sufran contaminación por hidrocarburos son reducidas, porque rara vez se encuentran en la superficie del mar. Sin embargo, si el coral expuesto sufre contaminación por hidrocarburos, resulta preferible dejarlo intacto y permitir que se recupere de forma natural. La limpieza natural de plataformas de coral que se secan en la marea baja puede favorecerse mediante lavado a baja presión con agua de mar para minimizar la exposición de las comunidades de los arrecifes a los hidrocarburos.

Cuando resulte necesario recolectar hidrocarburos, por ejemplo para evitar que vuelvan a desplazarse, debe extremarse el cuidado para minimizar los daños provocados en las estructuras frágiles.

Gestión y organización

La gestión eficiente de los recursos utilizados en la limpieza de costas resulta fundamental para el éxito de la operación. La responsabilidad de gestionar la respuesta al siniestro puede recaer sobre un equipo compuesto por diversas organizaciones o agencias diferentes o sobre una única entidad gubernamental. En cada caso, su función es ofrecer apoyo al personal en la costa y tratar los asuntos operativos diarios, logística, planificación futura, relaciones con los medios y financiación de la operación. El equipo de gestión debe tener en cuenta los intereses de todos los relacionados con los diversos usos locales del entorno marino a la hora de decidir las técnicas de limpieza a emplear. Normalmente, estos usos incluyen intereses como por ejemplo recreo, turismo, pesquería, industria e inquietudes medioambientales. Los medios para abordar estos problemas difieren según las medidas de contingencia nacionales y varían de un país a otro. A menudo, el equipo de gestión incorpora asesores que representan a cada una de estas áreas de interés. En particular, la presencia de asesores medioambientales es una característica habitual en muchos equipos de gestión, para evitar que las operaciones de limpieza resulten contraproducentes debido a la falta de conocimiento de las sensibilidades medioambientales.

La organización adecuada del personal en la costa adquiere la misma importancia (Figura 43). Puede conseguirse mediante la división de la costa afectada en áreas más pequeñas, a menudo relacionadas con las divisiones naturales en diferentes tipos de costas. Debe asignarse un supervisor o patrón de playa que asuma la responsabilidad del personal dentro de cada área. Si se utilizan técnicas manuales, la plantilla puede dividirse adicionalmente en equipos, cada uno con un líder, que se asignarán a la limpieza de una parte de la costa. Las tareas deberían realizarse dentro de un plazo de tiempo realista, posiblemente media jornada. La satisfacción que proporciona finalizar la tarea y observar el avance realizado puede ayudar a mejorar la motivación de los operarios, que posiblemente soporten duras condiciones de trabajo. Al mismo tiempo, la costa se limpia metódicamente, sección por sección. Normalmente, cada equipo integrará entre 5 y 10 operarios (Figura 44) y cada supervisor o patrón de playa sería responsable de un número máximo 100 personas, esto es, aproximadamente 10 equipos, dentro del área. Los operarios deben recibir formación básica para garantizar que la limpieza se realice de forma ordenada y eficaz y para concienciar sobre los aspectos relacionados con la seguridad y salud. Los equipos deben contar con instalaciones que satisfagan las necesidades de alimentación y sanitarias cerca de los emplazamientos de trabajo (Figura 45).

Resulta difícil evaluar el rendimiento potencial del personal hasta que se inicia el trabajo y transcurre cierto tiempo. Por este motivo, la mejor alternativa para decidir el número de operarios necesarios en una costa sería establecer una operación a pequeña escala en una sección representativa de la costa y, a continuación, replicar este método con el nivel de recursos humanos adecuado en otras áreas de la costa, una vez optimizadas las prácticas de trabajo. El número de personas necesarias se determinará en función de las exigencias de la técnica de limpieza empleada y de la cantidad de material que puede manipularse razonablemente durante un día. Sin embargo, el rendimiento del personal también depende de su formación, motivación y supervisión, así como del tipo de costa, accesibilidad, condiciones medioambientales y los niveles de contaminación. Idealmente, el personal debe dotarse desde una organización local con una estructura de gestión existente, que ofrezca líneas de autoridad y relaciones laborales consolidadas. Aunque las estructuras de mando militares cumplen estos criterios y podrían adaptarse bien a este tipo de operación, pueden proporcionar equipos muy numerosos y es posible



▲ Figura 40: la limpieza invasiva de una marisma contaminada por hidrocarburos provocó considerables daños adicionales, superiores a los de los propios hidrocarburos.



▲ Figura 41: el uso de maquinaria pesada en áreas sensibles de la costa podría provocar considerables daños adicionales. En este caso, se concedió prioridad a la necesidad de recolectar rápidamente los hidrocarburos que flotaban libremente.



▲ Figura 42: debe analizarse cuidadosamente la necesidad de retirar hidrocarburos en manglares, para minimizar el daño adicional a estructuras muy sensibles.



▲ *Figura 43: el personal debe recibir información clara para que comprenda perfectamente los objetivos y los medios disponibles para alcanzar esos objetivos.*



▲ *Figura 44: el equipo de limpieza de costas óptimo se compone de 10 operarios; esto permite la supervisión eficaz y el avance de la tarea.*



▲ *Figura 45: construcciones provisionales, situadas cerca del emplazamiento de trabajo, sirven como instalaciones de avituallamiento y sanitarias para los operarios.*

que la estructura necesite algunos cambios. El documento independiente sobre Liderazgo, control y gestión de derrames de hidrocarburos ofrece información adicional.

La organización de los equipos y vehículos que trabajan en la costa no resulta menos importante. La división del emplazamiento de trabajo en zonas limpia y sucia, para limitar el número de vehículos dentro de la zona sucia y restringir el movimiento de estos vehículos a esa zona, ayuda a minimizar la contaminación secundaria. Los camiones de mayor capacidad, por ejemplo aquellos que se utilizan para transportar el material recolectado hasta emplazamientos de almacenamiento y desecho, deben mantenerse fuera de la playa para que las áreas sucia y limpia permanezcan segregadas. Esto también ayuda a reducir la cantidad de hidrocarburos diseminada sobre las calzadas. Los tipos de vehículos seleccionados deben resultar apropiados para el residuo transportado, para asegurar que las cargas sean seguras y que no se produzcan fugas de hidrocarburos.

Debe controlarse el tráfico rodado en las cercanías del emplazamiento de trabajo para que el movimiento de entrada y salida de camiones no se vea obstaculizado. La playa también puede cerrarse en interés de la seguridad pública, especialmente cuando se utilicen vehículos pesados.

En orillas expuestas a mareas, el trabajo debe organizarse en relación con las mareas, y los períodos de descanso y las interrupciones para almorzar tendrán lugar durante la marea alta preferiblemente. Aunque puede que el trabajo nocturno resulte oportuno dentro de un puerto en el que se disponga de la iluminación adecuada, en otras ubicaciones, como por ejemplo costas abiertas, suele ofrecer resultados insatisfactorios y puede resultar peligroso, incluso si hay iluminación disponible.

Un registro de las cantidades de hidrocarburos y desechos contaminados que se retiran cada día permite supervisar fácilmente los avances en cada emplazamiento de trabajo desde el centro de mando. Aparte de los informes escritos, el estado de cada emplazamiento de trabajo y la ubicación del personal y los equipos pueden registrarse convenientemente y monitorizarse en grandes mapas a gran escala.

Los registros diarios del personal, equipos y materiales utilizados en cada emplazamiento de trabajo también resultan esenciales para redactar las reclamaciones de indemnización posteriores. El documento independiente sobre Preparación y presentación de reclamaciones de contaminación por hidrocarburos ofrece información adicional relacionada con este aspecto de una respuesta.

Planificación de contingencias

Los planes de contingencia para limpieza de costas requieren un alto nivel de conocimiento local y, en consecuencia, el ámbito geográfico se limita normalmente a una única autoridad administrativa costera. Resulta importante que las agencias y organizaciones con responsabilidad para la limpieza de hidrocarburos de costas preparen los planes dentro de la extensión de costa identificada. Probablemente, el personal de estas organizaciones estará familiarizado con las medidas locales, y también se contribuye a asegurar que los planes sean realistas y prácticos. Los patrones de playas procederán normalmente del entorno local y estarán familiarizados con la costa. Sin embargo, aún se requerirá impartir formación sobre las técnicas de limpieza y la gestión y seguridad del personal. Si se produjera un derrame, puede que se solicite la participación de la policía y otras entidades públicas para controlar el acceso a las áreas afectadas o ayudar de otra forma en la respuesta.

Debe identificarse una ubicación central, o una serie de ubicaciones, desde la que gestionar la limpieza. Esta

ubicación debe permitir el alojamiento del equipo de gestión e incorporar los sistemas de comunicación adecuados. Las comunicaciones fiables entre el equipo de gestión y los supervisores individuales a lo largo de la costa facilitarán una respuesta coordinada. Si fuera necesario, se aprovisionarán sistemas de comunicación adecuados para las situaciones previstas.

Durante la preparación del plan de contingencia, debe considerarse el almacenamiento temporal, transporte y desecho final de los residuos contaminados por hidrocarburos, puesto que estos aspectos pueden tener una gran influencia sobre la eficiencia de la limpieza. El plan debe especificar las fuentes que proporcionarán personal, equipos y materiales, junto con sus datos de contacto. Resulta necesario identificar contratistas que puedan proporcionar camiones de aspiración, cargadores frontales, contenedores u otros tipos de contenedores para el almacenamiento temporal, sistemas de agua caliente y otros equipos necesarios y, si es posible, los términos y condiciones de alquiler se acordarán antes de que se produzca un derrame.

Los mapas de sensibilidad de la costa resultan particularmente útiles en las primeras etapas de un derrame y pueden prepararse dentro del proceso de planificación de contingencias, introduciéndose a menudo la información en un sistema de información geográfica (GIS). Estos mapas deben mostrar la ubicación de recursos ambientalmente sensibles y áreas de recreo de alta prioridad, e indicar las variaciones estacionales en ambas. También puede que se registren otras características, como por ejemplo tipos de costas, puntos de acceso de vehículos, playas que admitan la circulación de equipos pesados y áreas en las que no se debe emplear dispersantes en la costa.

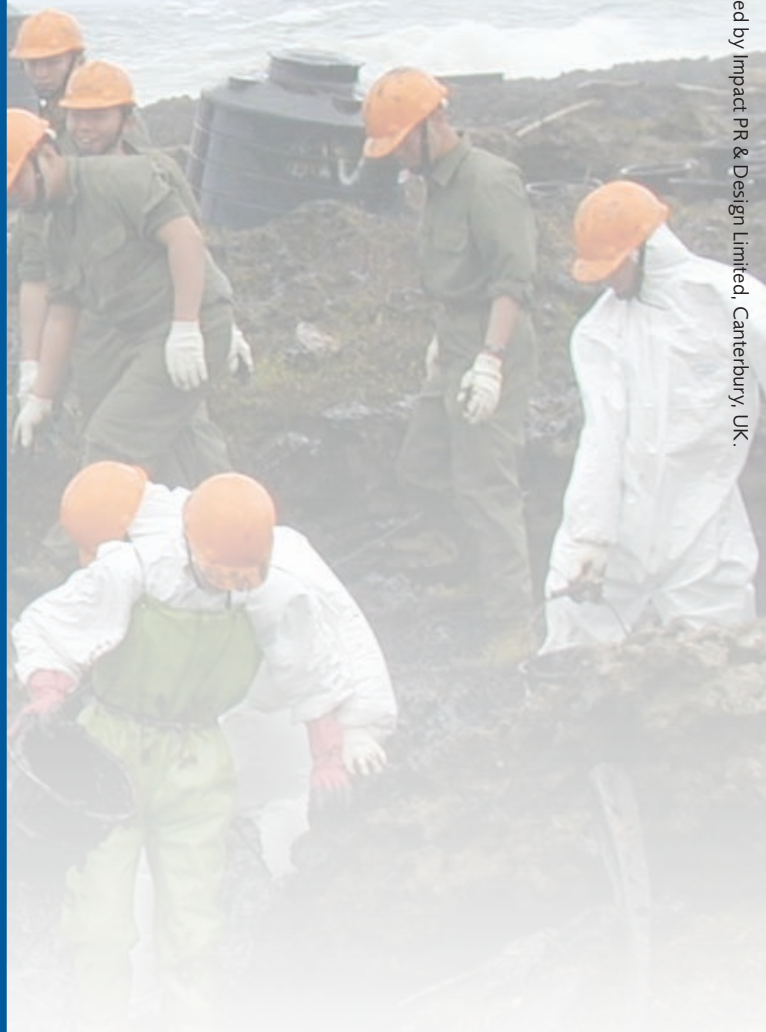
Periódicamente, se realizarán ejercicios prácticos del plan de contingencia, no solo para probar aspectos organizativos sino para asegurar que los equipos identificados en el plan también estén disponibles. El documento independiente sobre Planificación de contingencias para derrames de hidrocarburos en el medio marino ofrece información adicional sobre la planificación de contingencias.

Puntos clave

- La limpieza satisfactoria de costas depende de la rápida disponibilidad de personal, equipos y materiales, y de la calidad de la organización que se establezca para gestionar y dirigir la operación.
- La mejor alternativa es definir y acordar los objetivos y puntos finales de la limpieza de la costa antes del comienzo de las operaciones.
- Desde el primer momento se tendrán en cuenta el almacenamiento, transporte y desecho final de los residuos, ya que pueden influir considerablemente en las operaciones.
- El tipo de costa determina en gran medida la técnica de limpieza más adecuada a utilizar.
- Los hidrocarburos en movimiento deben recolectarse con la mayor urgencia para que no se desplacen hacia otros lugares.
- Aunque los equipos pesados pueden limpiar playas con rapidez, también pueden retirar cantidades importantes de sustrato limpio, lo que da lugar a problemas con las cantidades de residuos a transportar y desechar y a posibles problemas de erosión. A menudo resulta preferible utilizar técnicas manuales más lentas.
- Con frecuencia, resulta preferible no actuar y permitir que los procesos de limpieza naturales tengan lugar en costas sensibles desde el punto de vista ambiental, como por ejemplo marismas, cenagales protegidos, manglares y corales.
- En el caso de áreas sin uso recreativo, cuando finalicen las Etapas 1 y 2 de la respuesta, toda cantidad de hidrocarburos restante podrá quedar sin limpiar para que se meteorice y degrade de forma natural.
- El plan de contingencia local debe identificar el personal y los equipos necesarios, que se movilizarán regularmente en ejercicios prácticos para probar su eficacia.

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
Web: www.itopf.org