



Introducción

La mayoría de las operaciones de limpieza de derrames de hidrocarburos, particularmente los de la costa, implican la recolección de cantidades importantes de hidrocarburos y desechos oleosos. El almacenamiento y la eliminación de residuos constituye un aspecto importante de cualquier operación de respuesta y será necesario plasmar claramente las disposiciones correspondientes sobre gestión de residuos en un plan de contingencia de derrames de hidrocarburos. Resulta fundamental que las medidas tomadas al comienzo de un siniestro actúen para evitar que los problemas con los residuos comprometan la respuesta y se conviertan en un problema costoso que continúe después de completarse la limpieza del derrame.

Este documento analiza las diferentes opciones disponibles para la gestión del material de residuo generado como resultado de derrames de hidrocarburos procedentes de buques en el medio marino.

El problema de los residuos

La experiencia ha demostrado que el componente más costoso y que requiere más tiempo de una respuesta a un derrame de hidrocarburos suele ser el tratamiento o la eliminación de los residuos recolectados. La cantidad de residuos generados depende de numerosos factores, como por ejemplo del tipo y volumen de hidrocarburos derramados, de la medida en que los hidrocarburos se esparcen y afectan la costa y, lo más importante, de los métodos empleados para recolectar los hidrocarburos derramados y el material oleoso de la superficie del mar y la costa.

Incluso en el caso de derrames de hidrocarburos relativamente menores, la cantidad de residuos recolectado puede sobrepasar rápidamente la capacidad de las instalaciones de desecho existentes. Para resolver este problema rápidamente, los métodos para tratar los residuos deben constituir un componente clave de cualquier plan de contingencia de derrames de hidrocarburos. Las decisiones sobre las técnicas de respuesta deben tener en cuenta la probable cantidad de residuos que se genere, y si fuera posible, dando preferencia a aquellas técnicas que minimicen la cantidad de residuos recolectados. Además, especialmente en el caso de la limpieza de costas, una atenta supervisión del personal se considera fundamental. No obstante, incluso con el uso de métodos de respuesta apropiados y razonables, el volumen de residuos generados a veces puede ser decenas de veces mayor que el volumen del derrame inicial de hidrocarburos.

Una vez recolectado, el esfuerzo y gasto necesarios para tratar los residuos dependerán de las opciones de almacenamiento, transporte, tratamiento y desecho disponibles y de los requisitos normativos locales. Las decisiones sobre el tratamiento de residuos deben tomarse al comienzo de un siniestro en función de una estimación realista de la cantidad y el tipo de residuos que probablemente se generarán. La organización eficaz de todas las partes del proceso de gestión de residuos resulta fundamental para evitar un problema importante y costoso. Cada vez existe una mayor conciencia medioambiental global y unos requisitos normativos concernientes a la eliminación de residuos más estrictos, por lo que es probable que sea necesario utilizar formas innovadoras de uso, reciclaje o desecho de residuos.

Opciones de gestión de residuos

La "Jerarquía de residuos" es un marco de trabajo internacional consolidado para clasificar y priorizar opciones de gestión de residuos aplicables a todas las formas de residuos y es igualmente válido como base para la gestión de residuos



▲ *Figura 1: limpieza in situ de arena contaminada por hidrocarburos mediante lavado a baja presión, con barreras adsorbentes desplegadas para capturar los hidrocarburos derramados.*

derivados de derrames de hidrocarburos. La jerarquía incluye cinco pasos distintos en orden de preferencia:

- 1. Reducción** de la cantidad de desechos oleosos generados, por ejemplo mediante el uso de técnicas selectivas de limpieza de costas que minimicen la recolección de material limpio y/o agua o a través del tratamiento in situ de material oleoso (*Figura 1*). El control riguroso de los consumibles, especialmente el uso de material adsorbente, también servirá para reducir los residuos. Los documentos de ITOPF sobre la limpieza de hidrocarburos de costas y el uso de materiales adsorbentes describen las prácticas apropiadas con mayor detalle.
- 2. Reutilización** de los recursos utilizados durante la limpieza, por ejemplo limpiando y reutilizando equipos y ropa de protección contaminados con hidrocarburos en la medida de lo posible (*Figura 2*).
- 3. Reciclaje** de hidrocarburo líquido incorporándolo en los flujos de las refinerías o estabilización de los hidrocarburos y material oleoso para su utilización en proyectos de construcción de carreteras o de recuperación de tierras.
- 4. Recuperación** del valor calorífico del material de los residuos como combustible para la generación eléctrica o térmica.
- 5. El desecho** de los residuos que no pueden tratarse con una de las opciones anteriores puede lograrse mediante incineración, relleno sanitario o técnicas de compost.

En realidad, las decisiones de gestión de residuos están determinadas por el coste y la capacidad de las opciones disponibles que cumplen las normativas sobre eliminación de residuos en la región donde se produjo el siniestro. Si



▲ *Figura 2: en la respuesta a derrames resulta fundamental minimizar los residuos. Siempre que sea posible, los equipos de protección individual (EPI), incluida la ropa, se limpiarán y reutilizarán.*

existieran varias opciones técnicamente viables (Tabla 1), la rentabilidad representará probablemente un factor significativo en la selección de la vía de eliminación. No obstante, los

derrames de hidrocarburos suelen suponer, por su naturaleza, emergencias que requieren una respuesta rápida, y a menos que se le proporcione la debida consideración a la gestión de residuos durante la planificación de la contingencia, las opciones de desecho más viables y rentables podrían prevalecer sobre opciones de gestión de residuos más sostenibles.

Naturaleza de los hidrocarburos y del material oleoso

Como regla general, es probable que los derrames de hidrocarburos persistentes, como por ejemplo petróleos crudos, fueloils más pesados y algunos aceites lubricantes, generen cantidades considerables de residuos. Una vez derramados, los hidrocarburos empiezan a meteorizarse, con el consiguiente aumento en viscosidad y contenido de agua. Evitar retrasos en la recolección de hidrocarburos aumenta la probabilidad de que sea fluido y relativamente libre de contaminación. Con el tiempo, los hidrocarburos pueden acumular desechos como resultado de la destrucción de la embarcación al partirse, de la carga perdida (Figura 3) o de desechos procedentes de la costa (Figura 4).

Incluso si los hidrocarburos estuvieran libres de desechos sólidos, la recolección en el mar podría suponer la recolección de cantidades significativas de agua debido a los métodos de

	Tipo de material	Métodos de separación	Opciones de desecho
Líquidos	Hidrocarburos no emulsionados y aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> Separación por decantación/gravedad de agua libre El agua recolectada puede requerir tratamiento/filtración posterior 	<ul style="list-style-type: none"> Uso de hidrocarburos recuperados como combustible o materia prima para refinerías Retorno de aguas tratadas a su origen
	Hidrocarburos emulsionados	La separación de la emulsión libera agua mediante: <ul style="list-style-type: none"> Tratamiento térmico Uso de desémulsificantes 	<ul style="list-style-type: none"> Uso de hidrocarburos recuperados como combustible o materia prima para refinerías Estabilización y reutilización Incineración
Sólidos	Hidrocarburos mezclados con arena	<ul style="list-style-type: none"> Recolección de hidrocarburos líquidos lixiviados en arena durante el almacenamiento temporal Extracción de hidrocarburos de la arena mediante lavado con agua o disolvente Retirada de hidrocarburos sólidos o bolas de alquitrán mediante cribado 	<ul style="list-style-type: none"> Uso de hidrocarburos líquidos recuperados como combustible o materia prima para refinerías Retorno de aguas tratadas a su origen Estabilización y reutilización Degradación mediante compostaje o técnicas de compost Relleno sanitario Incineración
	Cantos rodados, guijarros grandes o pequeños	<ul style="list-style-type: none"> Recolección de hidrocarburos líquidos lixiviados en material de la playa durante almacenamiento temporal Extracción de hidrocarburos del material de la playa mediante lavado con agua o disolvente 	<ul style="list-style-type: none"> Retorno de piedras limpiadas a su origen Estabilización y reutilización Relleno sanitario
	Hidrocarburos mezclados con madera, plásticos, algas marinas, mariscos y adsorbente Equipos y suministros de pesca contaminados por hidrocarburos: redes, boyas y bastidores	<ul style="list-style-type: none"> Recolección de hidrocarburos líquidos lixiviados durante almacenamiento temporal Lavado con agua de los hidrocarburos para separarlo de los desechos Retirada del agua libre Compresión 	<ul style="list-style-type: none"> Estabilización y reutilización después de la retirada de plásticos y desechos grandes Degradación mediante compostaje o técnicas de compost de hidrocarburos mezclados con algas marinas, mariscos o adsorbentes naturales Relleno sanitario Incineración
	Bolas de alquitrán	<ul style="list-style-type: none"> Separación de arena mediante cribado 	<ul style="list-style-type: none"> Estabilización y reutilización Relleno sanitario Incineración

▲ *Tabla 1: resumen de las opciones principales que suelen utilizarse para la separación y eliminación de hidrocarburos y desechos.*

recolección utilizados, o a la formación de una emulsión de agua en hidrocarburos (Figura 5). Por otra parte, los hidrocarburos con un punto de fluidez por encima de la temperatura del mar podrían convertirse rápidamente en semisólidos (Figura 6), lo que implicaría la recolección mediante palas o pinzas mecánicas que también suelen recolectar cantidades importantes de agua. Los derrames de hidrocarburos no persistentes tienden a evaporarse y dispersarse de forma natural en un corto período de tiempo y por lo tanto tienen menos posibilidades de asociarse con problemas de generación de residuos.

Los hidrocarburos recolectados de la costa normalmente se mezclarán con cantidades considerables de otros materiales, como por ejemplo arena, guijarros, madera, plásticos y algas marinas. Cada material puede requerir un método diferente de tratamiento o eliminación y la separación puede resultar difícil. Por ejemplo, la madera contaminada con hidrocarburos puede quemarse bajo condiciones controladas, posiblemente in situ, mientras que no resulta práctico quemar algas marinas contaminadas con hidrocarburos. Los materiales contaminados por hidrocarburos procedentes de las operaciones de respuesta, como por ejemplo materiales adsorbentes (Figura 7), ropa de protección (EPI), barreras de contención dañadas, sacos de almacenamiento (Figura 8) y otros tipos de receptáculos de residuos también pueden contribuir considerablemente al volumen de residuos generados después de un derrame de hidrocarburos, sobre todo si se recurre a un gran número de trabajadores o voluntarios sin experiencia. También pueden generarse cantidades considerables de residuos si se contaminaran aparejos de pesca e instalaciones de maricultura

y no pudieran limpiarse satisfactoriamente, o si la producción se declarara inutilizable. Estos problemas se consideran de forma más detallada en un documento de ITOPI *Efectos de la contaminación por hidrocarburos en el sector de la pesca y acuicultura*.

Transporte, almacenamiento y preparación para el desecho

En ocasiones, la limpieza genera grandes volúmenes de residuos y su eliminación puede plantear problemas logísticos importantes relacionados con la manipulación y el transporte. Para permitir que las operaciones de limpieza continúen sin obstáculos, suele ser necesario almacenar el material temporalmente para proporcionar un almacenamiento intermedio entre la recolección y tratamiento y/o desecho final. Esto también ofrece tiempo a las autoridades para seleccionar el método apropiado para tratar los residuos, si aún no estuvieran identificados. En el caso de residuos procedentes de la limpieza de costas, el almacenamiento en la parte de atrás de la playa por encima de la marca de la marea alta (Figura 8) permite realizar el transporte en dos etapas: desde el almacenamiento principal en la playa hasta el almacenamiento intermedio y finalmente hasta el tratamiento y/o desecho final según sea necesario. Esto reduce el riesgo de contaminación de carreteras restringiendo el número de vehículos utilizados en la transferencia de la primera etapa desde la playa.



▲ Figura 3: residuos plásticos de contenedores perdidos por la borda, mezclados con hidrocarburos y varados en manglares.



▲ Figura 4: hidrocarburos mezclados con plástico desechado, basura doméstica, madera, vegetación y otros residuos.



▲ Figura 5: hidrocarburos emulsionados varados sobre arena. La recolección manual selectiva permite minimizar la cantidad de sustrato limpio retirado.



▲ Figura 6: hidrocarburos semisólidos contenidos dentro de una barrera. Las dificultades para bombear los hidrocarburos pueden limitar las vías de eliminación disponibles.

Los desechos oleosos deben transportarse, almacenarse y desecharse de conformidad con las normativas locales. En algunos países, se requerirán licencias para emplazamientos de desecho temporal y para los contratistas que se ocupan de las diferentes tareas de desecho. La consulta con las autoridades reguladoras y de adjudicación de licencias, desde la primera fase de un siniestro, favorecerá a este importante componente administrativo del proceso de desecho.

En la medida de lo posible, y siempre que exista una vía de eliminación disponible, los diferentes flujos de residuos deben segregarse en el punto de recolección y almacenarse por separado. La pérdida de control y disciplina en cualquier etapa de la vía de eliminación puede dar lugar a complicaciones posteriores y a costes adicionales innecesarios (Figura 9). Por ejemplo, los hidrocarburos recolectados, desechos oleosos y materiales no oleosos deben almacenarse en áreas separadas para que puedan aplicarse diferentes métodos de tratamiento y desecho según la categoría. Siempre que los hidrocarburos se bombeen a temperatura ambiente, pueden almacenarse en depósitos cerrados. No obstante, es necesario tener mucho cuidado durante el almacenamiento en grandes cantidades de materiales más viscosos, particularmente si los depósitos no se instalaran con serpentines calentadores, ya que el vaciado de los depósitos puede resultar difícil sin calentamiento. Los grandes volúmenes de hidrocarburos recolectados podrían almacenarse en buques tanque, si estuvieran disponibles, aunque esta podría ser una opción bastante cara.



▲ *Figura 7: barrera adsorbente contaminada parcialmente por hidrocarburos. El uso a gran escala de materiales adsorbentes debe evitarse para minimizar la generación de recursos.*



▲ *Figura 9: residuos segregados de forma deficiente en un pozo correctamente revestido; se requiere un esfuerzo adicional para separar y tratar los residuos.*

Los hidrocarburos de alta viscosidad deben almacenarse en recipientes abiertos tales como barcazas, contenedores o bidones para facilitar las operaciones de tratamiento y transferencia. Si los desechos de hidrocarburos se almacenaran durante un periodo considerable de tiempo, será fundamental utilizar recipientes cubiertos para evitar la entrada de agua de lluvia (Figura 10), lo que podría provocar que los hidrocarburos flotarán y rebosarán. Si no se dispone de contenedores para este propósito, pueden retenerse los hidrocarburos recolectados dentro de muros de tierra compactada o en pozos de almacenamiento sencillos recubiertos con polietileno grueso (u otro material adecuado resistente a los hidrocarburos). Resulta preferible utilizar pozos de almacenamiento de aproximadamente 2 metros de ancho y 1,5 metros de profundidad para mantener un fácil acceso a todas las partes del pozo (Figura 11). Sin embargo, el tamaño y número de pozos debería reflejar el volumen de residuos previsto. Si existe la posibilidad de que se produzcan lluvias intensas, debería dejarse el margen necesario al llenar los pozos. Cuando se requiera almacenar temporalmente hidrocarburos en áreas sensibles, como por ejemplo dunas de arena, es importante evitar daños en la vegetación de estabilización, lo que podría dar lugar a erosión. Siempre que se excaven pozos, estos deben rellenarse después de retirar completamente los hidrocarburos y, en la medida de lo posible, se restablecerá el área a su estado original.

Los sacos de plástico deben contemplarse como un medio de transporte de material oleoso y no como un medio de almacenamiento, ya que tienden a deteriorarse y degradarse



▲ *Figura 8: almacenamiento temporal de bolsas de plástico con material de la playa contaminado por hidrocarburos por encima de la marca de la marea alta, sobre láminas de plástico para contener cualquier lixiviado.*



▲ *Figura 10: almacenamiento de hidrocarburos recolectados en una barcaza. Se requiere una cubierta para evitar la entrada de agua.*

bajo la luz solar, lo que libera su contenido (Figura 12). Si se requiriera tratar los contenidos de alguna forma antes de desecharlos, normalmente será necesario vaciar las bolsas y desecharlas por separado. Independientemente de que los residuos se almacenen en contenedores, en montones o apilamientos o por otros medios, debe revestirse el área de almacenamiento y se establecerán medidas para capturar y tratar los lixiviados para evitar contaminación secundaria del área circundante y las aguas subterráneas (Figura 13). Los olores que se deriven de la descomposición de vegetación contaminada por hidrocarburos, las moscas y parásitos, pueden resultar una molestia si los emplazamientos temporales se ubican cerca de áreas habitadas.

La seguridad de las áreas de almacenamiento temporal debe ser proporcional a los riesgos asociados con el acceso no autorizado y podría abarcar desde señalizaciones y áreas acordonadas hasta vallas más impenetrables y vigilancia durante las 24 horas. Sin la seguridad adecuada, especialmente cerca de centros urbanos, existe el riesgo adicional de vertido de residuos domésticos o comerciales en los emplazamientos de almacenamiento temporal. El tiempo necesario para transferir los residuos hasta los emplazamientos de desecho final designados debe minimizarse para evitar problemas provocados por el vertido de residuos y problemas derivados de la contaminación secundaria.

Si se han identificado métodos de desecho finales y la



▲ Figura 11: fueloil emulsionado vaciado de un contenedor a un pozo de almacenamiento temporal revestido.



▲ Figura 13: la captura y tratamiento de lixiviado procedente de arena contaminada por hidrocarburos amontonada en el almacenamiento temporal evita la contaminación secundaria del área circundante y de aguas subterráneas.

capacidad lo permite, el transporte de residuos desde la costa directamente hasta el emplazamiento de desecho final elimina la necesidad de almacenamiento temporal. Esto evita doble manipulación, minimiza la acumulación de residuos y permite completar la respuesta general con más rapidez y mayor rentabilidad.

Como buena práctica, se recomienda registrar las cantidades y tipos de desechos oleosos recolectados para supervisar la marcha de los trabajos desde el centro de mando. Los registros también resultan útiles para redactar la reclamación de indemnización posterior.

Minimización de residuos

Los problemas asociados con la eliminación se reducirán si se concede prioridad a minimizar la cantidad de residuos generados durante la respuesta. A menos que existan otros factores prevalentes, éste debería ser un factor importante al considerar las técnicas de limpieza.

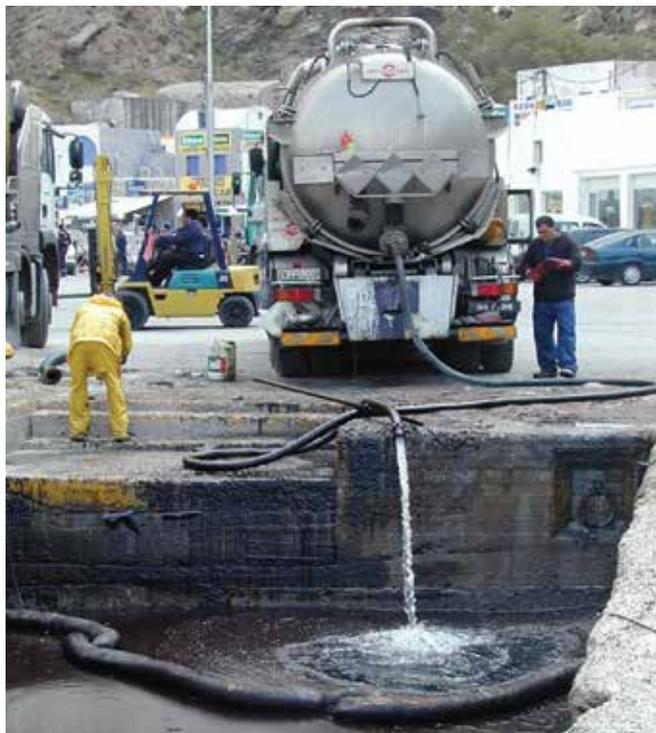
La cantidad de desechos recolectados con los hidrocarburos suele complicar las tareas de eliminación. Con frecuencia, los reconocimientos costeros para identificar las acumulaciones naturales de desechos indicarán los lugares en tierra a los que pueden llegar los hidrocarburos. En ocasiones, es posible retirar los desechos de estas costas antes de la llegada de los hidrocarburos, con un coste muy inferior al que supondría



▲ Figura 12: la degradación de sacos de plástico por la exposición a largo plazo a la luz solar puede dar lugar a una nueva contaminación



▲ Figura 14: la retirada de desechos de la costa antes de que los hidrocarburos queden varados contribuirá a reducir la cantidad de material oleoso a desechar.



▲ *Figura 15: decantación de agua en el área del derrame, después de la decantación y separación de agua contaminada por hidrocarburos recolectada en un camión aspirador.*

desecharlos una vez contaminados (Figura 14). Por otra parte, podría priorizarse la protección con barreras de áreas de recolección de desechos, reduciéndose el riesgo de contaminación de estos restos por hidrocarburos.

Para minimizar la cantidad de agua residual que se desechará finalmente, se puede decantar el agua separada de la mezcla de hidrocarburos/agua recolectada en el mar o cerca de la costa. Después de decantar y separar los hidrocarburos en depósitos a bordo de embarcaciones de recolección, en camiones aspiradores (Figura 15) u otros dispositivos, el agua puede descargarse desde válvulas inferiores hasta un área protegida con barreras. La concentración de los hidrocarburos de esta forma sirve para maximizar la capacidad del almacenamiento temporal y reducir las interrupciones en las operaciones de recolección mientras se organiza la disponibilidad de capacidad adicional. Sin embargo, debe señalarse que en algunos países la legislación local podría prohibir la descarga de cualquier líquido al mar sin permiso de las autoridades pertinentes.

Puede que exista la posibilidad de recolectar in situ los hidrocarburos del material de la playa contaminado. Por ejemplo, la filtración de hidrocarburos procedentes de material y residuos de la playa recolectados puede contenerse dentro de un foso o dique alrededor del área de almacenamiento. A continuación, el material oleoso de la playa puede lavarse con agua, en ocasiones junto con un disolvente adecuado, como por ejemplo un limpiador basado en cítricos, para liberar los hidrocarburos. El lavado puede realizarse mediante el uso de mangueras de baja presión para soltar y despegar los hidrocarburos de los desechos contenidos en un pozo de almacenamiento temporal. A continuación, la mezcla de hidrocarburos/agua resultante puede bombearse para separar los hidrocarburos posteriormente por gravedad. Otro método consiste en colocar el material contaminado sobre una parrilla o malla de alambre para drenar los hidrocarburos sobre un contenedor o depósito situado debajo (Figura 16). Este proceso puede potenciarse mediante el lavado con agua del residuo, aunque pueden generarse volúmenes considerables de agua oleosa. La separación también puede conseguirse en un sistema cerrado mediante el uso de agua o un disolvente. Los dispositivos disponen de hormigoneras estándar



▲ *Figura 16: sistema improvisado de filtración de residuos en el que los hidrocarburos recolectados pasan a través de un embudo con rejilla para filtrar residuos.*

para operaciones con lotes a pequeña escala hasta equipos de procesamiento de minerales para tratamiento continuo a gran escala. Aunque estos sistemas a gran escala ofrecen buenos resultados en circunstancias específicas, tardan demasiado en conseguir niveles de limpieza satisfactorios y la separación de niveles altos de finos o residuos en el agua residual puede resultar difícil. En consecuencia, aún no se aplican de forma generalizada en siniestros de derrames de hidrocarburos.

El volumen de residuos también puede reducirse mediante la separación de los hidrocarburos, en forma de bolas de alquitrán, de la arena limpia a través de recolección manual, cuando un emplazamiento pudiera requerir un alto nivel de limpieza, como en el caso de las playas turísticas. En ocasiones se utilizan dispositivos de cribado, estáticos y dinámicos, para retirar residuos de arena contaminada por hidrocarburos y bolas de alquitrán de arena ligeramente contaminada (Figura 17). Aunque el uso de mano de obra suele ser intensivo, el coste de la limpieza in situ de grandes cantidades de material oleoso de la playa podría resultar inferior al de otros métodos que impliquen el transporte del material hasta cierta distancia de la costa y su posterior eliminación.

En muchos siniestros, un gran porcentaje de los residuos generados es material adsorbente sintético, y a menudo una proporción considerable de este material se contamina ligeramente con hidrocarburos o no se contamina en absoluto (Figura 7). Los problemas de residuos se reducirán en gran medida si se utiliza adsorbente únicamente cuando otras técnicas resulten inadecuadas y si se presta atención para asegurar que se utilice a pleno rendimiento.

Cuando los desechos oleosos se eliminan junto con la basura doméstica mediante incineración, acordar una escala gradual de costes según el valor calorífico de los residuos puede proporcionar un incentivo para minimizar la cantidad de residuos no contaminados por hidrocarburo recolectados: cuanto más contenido de hidrocarburos y, por lo tanto, mayor valor calorífico, menor precio de la eliminación.



▲ *Figura 17: cribado mecánico de bolas de alquitrán de arena para reducir la cantidad de residuos generada.*



▲ *Figura 18: estabilización de desechos oleosos mediante el uso de cal viva.*

Tratamiento y opciones de eliminación

Existen diferentes opciones para el tratamiento y la eliminación final de hidrocarburos y residuos oleosos, que se resumen en la Tabla 2 y se detallan a continuación. El método de eliminación más adecuado en un siniestro dependerá de diversos factores, que incluyen la naturaleza y consistencia de los residuos, la disponibilidad de emplazamientos e instalaciones adecuados, los costes relacionados y las restricciones normativas.

Recuperación de hidrocarburos

Los desechos oleosos pueden tratarse de forma que se recuperen cantidades suficientes de hidrocarburos para su procesamiento final o combinación con fueloils para uso posterior. Este proceso utiliza las propiedades caloríficas de los hidrocarburos y ofrece la posibilidad de generar ingresos financieros por su venta, para compensar los costes de desecho. Este uso de los hidrocarburos recuperados suele ser el más eficiente en coste y debe encontrarse entre las primeras opciones a tener en cuenta. Los posibles destinatarios para procesamiento o mezclado son refinerías, contratistas de recuperación especializados en reciclaje de hidrocarburos usados, centrales eléctricas y cementeras. No obstante, la mayoría de estas instalaciones solo pueden aceptar materias primas con criterios de especificación muy exigentes. En consecuencia, los hidrocarburos recuperados debe tener la calidad adecuada. Porejemplo, los hidrocarburos deben permitir el uso de técnicas de bombeo, presentar niveles bajos de sólidos e incluir un contenido de sal inferior al 0,1% para procesamiento a través de una refinería, o inferior al 0,5% para mezclado con fueloil. Si se supone que los hidrocarburos son aptos para reciclaje, es probable que los refinadores u otros usuarios dispongan de capacidad de almacenamiento o procesamiento limitada y puede que se requiera un almacenamiento intermedio alternativo. Las instalaciones de recepción de sentinas de buques y estaciones de deslastrado de buques tanques pueden resultar adecuadas para este propósito, aunque también pueden presentar una capacidad limitada.

Probablemente, los hidrocarburos recuperados del mar son más fáciles de preparar para su procesamiento, ya que normalmente solo resulta necesario separarlo de cualquier agua libre asociada. La extracción de agua de emulsiones de agua en hidrocarburos plantea más dificultades. El tratamiento térmico puede provocar la ruptura de emulsiones inestables a temperaturas de hasta 80°C, lo que permite separar los hidrocarburos y el agua por gravedad. Las emulsiones más estables pueden requerir el uso de productos químicos conocidos como “rompedores de

emulsión” o “desemulsificantes”. El tratamiento térmico y los desemulsificantes pueden reducir la viscosidad de la mayoría de hidrocarburos para que resulte más fácil bombearlos.

Ningún producto químico permite romper por sí solo todos los tipos de emulsiones y puede que sea necesario realizar ensayos in situ para determinar el producto más eficaz y la dosis óptima. Las dosis típicas se encuentran en un rango entre el 0,1% y el 0,5% del volumen a tratar. El tratamiento debe realizarse durante la transferencia de la emulsión desde el dispositivo de recolección hasta un depósito, o desde un depósito a otro, para asegurar una mezcla correcta y minimizar la dosis necesaria. El rompedor de emulsión puede inyectarse en el lado de entrada de una bomba o de un mezclador estático en línea instalado en la admisión de aspiración. Después de la separación, la fase acuosa contendrá la mayor parte del rompedor de emulsión y hasta un 0,1% de hidrocarburos y, en consecuencia, esta mezcla debe desecharse con precaución.

Estabilización

La arena oleosa libre de grandes cantidades de madera flotante y otros desechos puede unirse con una sustancia inorgánica, como por ejemplo cal viva (óxido de calcio), para formar un producto inerte que evite lixiviados de hidrocarburos y permitir que los hidrocarburos se eliminen bajo condiciones menos exigentes que la arena oleosa sin tratar (*Figura 18*). Por otra parte, estas mezclas pueden servir para trabajos de recuperación de tierras y construcción de carreteras, cuando no se requieran propiedades de resistencia a cargas, como por ejemplo vías de servicio o cunetas en bordes de carreteras. Evidentemente, la idoneidad de la técnica depende del suministro abundante de material de estabilización. La cal viva que puede obtenerse normalmente de cementeras presenta la ventaja de que el calor generado por su reacción con el agua presente en los residuos reduce la viscosidad de los hidrocarburos, lo que facilita la unión. También es posible aplicar otros materiales, como por ejemplo cemento, zeolita, residuos de cenizas volantes y algunos productos disponibles comercialmente.

La cantidad óptima necesaria de agente aglutinante depende principalmente del contenido de agua de los residuos y no de la cantidad de hidrocarburos. Este nivel de contenido puede determinarse experimentalmente. Para la cal viva, la cantidad requerida normalmente se encuentra entre el 5% y el 30% del peso del material a tratar. El tratamiento puede realizarse en una instalación central o en el lugar del derrame. En un centro de tratamiento, el agente se mezclará con los residuos en un proceso continuo. Este método requiere el uso de equipos costosos, como por ejemplo un mezclador continuo de tambor. Podrían tratarse cantidades más reducidas en un proceso

por lotes mediante el uso de hormigoneras, aunque el calor generado por el proceso y la naturaleza corrosiva de la reacción pueden impedir su uso.

Por otro lado, los residuos pueden extenderse en lechos de tratamiento en el emplazamiento de desecho final en capas de hasta 30 cm de grosor y mezclarse mediante un mezclador de rociado que incorpore la cal. Después del tratamiento, los residuos se dejan en el lugar y se cubren o se envían a un relleno sanitario. Este método puede ser más rentable si se dispone de terreno suficiente.

En ocasiones, es posible que resulte preferible realizar la mezcla primaria en pozos en el emplazamiento del derrame para facilitar el transporte de la mezcla, por ejemplo en camiones o contenedores descubiertos en lugar de utilizar camiones cisterna. A continuación, puede realizarse el tratamiento final en una instalación de recepción más grande mediante el uso de equipos especializados.

Esta técnica puede generar una gran cantidad de polvo corrosivo y, si es posible, debe seleccionarse el emplazamiento de tratamiento para minimizar su extensión a áreas adyacentes. También es importante que el personal de operaciones utilice ropa de protección y mascarillas para proteger la piel, pulmones y ojos. Resulta fundamental compactar el material mediante equipos de construcción de carreteras si, después del mezclado, va a emplearse en esa actividad.

Incineración

En ciertas situaciones, incinerar in situ los hidrocarburos flotantes recién derramados puede ser un método satisfactorio para eliminar con rapidez grandes cantidades de hidrocarburos. No obstante, los hidrocarburos derramados suelen sus componentes volátiles después de un breve período de tiempo en el mar y normalmente acumulan una alta proporción de agua.

En consecuencia, la incineración de hidrocarburos varados en la orilla puede resultar difícil si no se reduce el contenido de agua en primer lugar, especialmente si los hidrocarburos han permanecido un tiempo prolongado en el mar. No se recomienda incinerar directamente hidrocarburos o desechos oleosos sin medidas de contención, excepto en áreas muy remotas, ya que puede resultar difícil controlar el fuego y humo denso resultantes. Cuando se incineran hidrocarburos en tierra al aire libre, también suelen esparcirse y el terreno puede absorberlos. Además, podría permanecer un residuo alquitranado ya que es prácticamente imposible conseguir una combustión completa.

Estos problemas pueden superarse utilizando una incineradora que destruya los residuos mediante combustión a altas temperaturas. Se han desarrollado incineradoras portátiles para uso en sitios remotos, principalmente para quemar residuos médicos. Sin embargo, puede que la legislación local y las inquietudes medioambientales prohíban el uso de estos dispositivos para incinerar desechos oleosos en la costa y solo permitan tratar de esta forma residuos a pequeña escala en pequeños lotes. Las cementeras y hornos industriales representan una alternativa eficaz de incinerar desechos oleosos a mayor escala, sujeta a limitaciones técnicas, como por ejemplo la retirada de sólidos grandes, y problemas asociados con la presencia de metales pesados, cloro o azufre en los residuos.

La incineración conjunta en una cementera también ofrece un método de desecho eficaz, ya que los residuos con valor calorífico adecuado pueden servir como sustituto de combustible que, de otra forma, sería necesario emplear para encender el horno. Además, la ceniza resultante de la combustión de residuos proporciona aluminio, silicio, arcilla y otros minerales que se añaden normalmente al flujo de suministro de materias primas para fabricar cemento. No obstante, el tipo de residuos aceptado es limitado y las cementeras se encuentran con frecuencia alejadas de la costa. Por lo tanto, es necesario analizar los costes y la logística.

	Ventajas	Desventajas
Reprocesamiento	<ul style="list-style-type: none"> Reciclaje a través del uso de las propiedades caloríficas de los hidrocarburos No se requiere almacenamiento permanente 	<ul style="list-style-type: none"> Los residuos oleosos pueden requerir tratamiento antes del procesamiento Las instalaciones y capacidad de procesamiento están limitadas Es posible que se necesite almacenamiento a largo plazo mientras se espera al procesamiento
Estabilización	<ul style="list-style-type: none"> La legislación nacional plantea menos exigencias a la eliminación de material oleoso estabilizado Reciclaje empleando material oleoso estabilizado en la construcción 	<ul style="list-style-type: none"> Solo resulta adecuada para arena y guijarros grandes y pequeños oleosos con desechos de tamaño limitado El tratamiento del material oleoso requiere personal cualificado e instalaciones de recepción y equipos adecuados
Incineración	<ul style="list-style-type: none"> Puede emplearse para muchos tipos de material oleoso No se requiere almacenamiento permanente 	<ul style="list-style-type: none"> Proceso de desecho relativamente costoso Las instalaciones adecuadas y la capacidad de procesamiento están limitadas Es posible que se necesite almacenamiento a largo plazo
Landfarming o Compostaje	<ul style="list-style-type: none"> Mejora el proceso de biodegradación natural 	<ul style="list-style-type: none"> Resulta cada vez más difícil encontrar emplazamientos adecuados Solo aplicable a derrames relativamente pequeños debido a que se requiere un área de terreno extensa No todos los componentes de los hidrocarburos pueden degradarse Proceso lento que requiere rastreado y supervisión periódica
Relleno sanitario	<ul style="list-style-type: none"> Los residuos orgánicos pueden degradarse de forma natural en un relleno sanitario Puede tratar rápidamente grandes cantidades de residuos 	<ul style="list-style-type: none"> Aplicación restringida en función de la legislación local Los emplazamientos para residuos peligrosos son escasos y pueden cobrar tarifas elevadas Muchos tipos de desechos pueden persistir durante un tiempo prolongado

▲ *Tabla 2: resumen de las ventajas y desventajas de las opciones que suelen estar disponibles para el tratamiento y eliminación de hidrocarburos y desechos.*



▲ *Figura 19: suministro de sacos de desechos oleosos a la tolva de carga de una gran incineradora industrial para desecharlos junto con residuos domésticos.*

Como norma general, las incineradoras que se utilizan para residuos domésticos no son adecuadas para desechar grandes cantidades de hidrocarburos, ya que los cloruros en el agua de mar pueden provocar la corrosión de la infraestructura del incinerador. En algunas instalaciones puede aceptarse la eliminación conjunta de pequeñas cantidades de residuos oleosos con otros residuos, aunque deberá considerarse cuidadosamente la relación entre residuos oleosos y no oleosos para controlar la temperatura de incineración (Figura 19). La ropa de protección, adsorbentes, redes u otros materiales oleosos que pueden presentar un contenido bajo de hidrocarburos suelen tratarse de esta forma. Aunque las incineradoras industriales a alta temperatura muy probablemente toleren sales, su número es limitado y pueden encontrarse en lugares remotos del país. Puede que no dispongan de capacidad suficiente para asumir con rapidez la carga adicional que genera una gran cantidad de desechos oleosos. No obstante, ésta puede ser una vía de eliminación aceptable y eficaz si existe almacenamiento a largo plazo que permitiría incorporar desechos oleosos gradualmente en el flujo de residuos.

La pirólisis, la degradación térmica de residuos en desechos gaseosos y sólidos en ausencia de oxígeno, es otro proceso que se utiliza durante un siniestro grave, aunque se trata de un proceso especializado y costoso con número limitado de instalaciones disponibles.

Compostaje y técnicas de compost

Si transcurre el tiempo suficiente, los hidrocarburos y desechos oleosos se descomponen normalmente a través de procesos biológicos (biodegradación). No obstante, la velocidad a la que se produce esta descomposición es demasiado lenta para considerarla como una opción de limpieza a corto plazo. La biodegradación de los hidrocarburos mediante microorganismos solo tiene lugar en la interfaz hidrocarburos/agua. Por lo tanto, los hidrocarburos deben mezclarse en tierra con un sustrato húmedo. La velocidad de degradación depende de la temperatura y de la disponibilidad de oxígeno, nitrógeno y fósforo. Algunos componentes de los hidrocarburos, como por ejemplo resinas y asfaltenos, son resistentes a la degradación y pueden persistir durante períodos de tiempo prolongados.

La biorremediación es el término que se utiliza para los métodos que aceleran la descomposición microbiana de los hidrocarburos. Uno de estos métodos es el landfarming, donde los desechos y los hidrocarburos se extienden sobre un área designada de terreno. Durante muchos años, las refinerías construyeron instalaciones de compostaje para tratar los desechos oleosos, aunque la legislación restringe cada vez más su uso y resulta difícil encontrar emplazamientos adecuados



▲ *Figura 20: instalación con residuos en relleno sanitario. Los residuos con bajas concentraciones de hidrocarburos pueden colocarse con residuos domésticos bajo condiciones muy controladas.*

para el landfarming. Probablemente, el compostaje solo pueda aplicarse a derrames relativamente pequeños debido a que se requiere un área de terreno extensa y a que las velocidades de degradación son lentas. El material contaminado debe tener un contenido de hidrocarburos relativamente bajo y, en condiciones ideales, el terreno seleccionado debe tener poco valor, ubicarse muy lejos de fuentes de agua potable y no debe ser permeable. En primer lugar, debe soltarse la tierra superior mediante una grada y revestir el área para contener cualquier filtración de hidrocarburos. A continuación, los desechos oleosos se extienden sobre la superficie hasta una profundidad inferior de 20 cm, con una tasa de aplicación máxima de aproximadamente 400 toneladas de hidrocarburos por hectárea. Debe permitirse que los hidrocarburos se meteoricen hasta que dejen de estar pegajosos antes de mezclarlos completamente con el terreno mediante un arado o rotovalor. El mezclado debe repetirse a intervalos para incrementar la aireación y, en consecuencia, la tasa de biodegradación. También pueden añadirse fertilizantes para mejorar las velocidades de biodegradación. Si se emplean técnicas de landfarming, el uso de adsorbentes naturales, como por ejemplo paja, turba o corteza, durante las operaciones de limpieza resulta preferible al uso de materiales sintéticos, ya que los adsorbentes naturales se descomponen con más rapidez. Resulta necesario retirar los elementos grandes de escombros, como por ejemplo madera y bloques de piedra. Una vez que la mayor parte del hidrocarburo se haya degradado, el suelo debería tener la capacidad de nutrir una amplia variedad de árboles y pastos. Si se siembran cultivos, debe realizarse una monitorización minuciosa del contenido de metales pesados.

Otro medio eficaz de mejora de la degradación consiste en emplear técnicas de compostaje, en particular para algas marinas contaminadas y materiales adsorbentes naturales. Si las mezclas incluyen niveles relativamente bajos de hidrocarburos, pueden apilarse en montones para facilitar el compostaje. La introducción de aire para acelerar la descomposición ha proporcionado algunos resultados satisfactorios. Ya que los montones retienen el calor generado durante el compostaje, la técnica resulta particularmente adecuada en climas más fríos, donde la degradación mediante compostaje es lenta.

El uso de agentes de biorremediación y fertilizantes comercialmente disponibles puede resultar adecuado en ciertas circunstancias para acelerar la degradación natural de los hidrocarburos. No obstante, deben emplearse con cautela para asegurar que los beneficios de su uso sean rentables.

Relleno sanitario

La eliminación de desechos oleosos en emplazamientos de relleno sanitario designados específicamente constituye

el método que se utiliza más habitualmente y, aunque en la actualidad la legislación limita estrictamente estos emplazamientos en numerosos países, este método puede proporcionar la única opción realista para tratar las cantidades de residuos generadas en un derrame. Los emplazamientos de relleno sanitario suelen certificarse bajo condiciones específicas y la aceptación de residuos puede limitarse a ciertos tipos o volúmenes de residuos, o a residuos en los que la concentración de contaminantes sea inferior a un cierto umbral. En algunos países, resultará necesario desechar los residuos oleosos en un emplazamiento designado para residuos peligrosos. Normalmente, el número de emplazamientos de este tipo es reducido y pueden encontrarse a una distancia considerable de las costas afectadas.

Cuando resulte aceptable desechar el material directamente, el material a desechar debe presentar un contenido bajo de hidrocarburos para evitar la contaminación secundaria por lixiviados. El contenido exacto varía según la ubicación. Los emplazamientos para eliminar desechos oleosos deben ubicarse muy alejados de estratos agrietados o porosos para evitar el riesgo de contaminar las aguas subterráneas, particularmente si se extraen para uso doméstico o industrial. En algunos países puede aceptarse la eliminación conjunta de hidrocarburos y residuos domésticos (*Figura 20*), ya que parece que todos los tipos de residuos domésticos adsorben firmemente los hidrocarburos con poca tendencia a generar lixiviados. Los desechos oleosos deben depositarse sobre al menos 4 metros de basura doméstica, bien en franjas superficiales de 0,1 m de grosor o en zanjas de 0,5 m de profundidad para permitir que el agua se drene libremente, y deben cubrirse con un mínimo de 2 metros de residuos domésticos para evitar que los hidrocarburos afloren a la superficie cuando se vean sometidos a la compresión de los vehículos del emplazamiento.

Planificación de contingencias

En los planes de contingencia deben revisarse las opciones de eliminación disponibles para tratar las diferentes cantidades y tipos de materiales oleosos. Los planes deben presentar un alcance local, ya que los métodos de limpieza y desecho adoptados dependerán principalmente de la legislación sobre residuos nacional y local, así como de la disponibilidad de materias primas, equipos y emplazamientos de desecho adecuados situados cerca del derrame. Los planes deben actualizarse regularmente para incluir cambios en la legislación que puedan afectar a la disponibilidad de algunas opciones de desecho. El Directorio de información del plan también debe incluir los datos de contacto de los contratistas especializados en recuperación y/o procesamiento de hidrocarburos y las ubicaciones y capacidades de refinerías, incineradoras y otras instalaciones que podrían aceptar residuos.

La evaluación de riesgos que se realice dentro del proceso de planificación de contingencias identificará las áreas más susceptibles a derrames y en las que los hidrocarburos podrían llegar a tierra. En una etapa temprana deben identificarse los emplazamientos para el almacenamiento temporal de residuos, cerca de estas áreas de riesgo. A continuación, el problema de la eliminación final puede abordarse en etapas para evitar superar la capacidad de cada vía de eliminación. El acuerdo previo con los propietarios y autoridades reguladoras simplificará la construcción de emplazamientos de almacenamiento cuando se produzca un derrame. En el documento de ITOPF Planificación de contingencias se ofrece información adicional.

Puntos clave

- La eliminación de hidrocarburos y desechos oleosos es un problema importante, particularmente después de la limpieza de costas, cuando es probable que exista una gran cantidad de desechos asociados. Por lo tanto, resulta fundamental tener en cuenta el desecho de residuos durante la planificación de contingencias.
- Aunque se han desarrollado diversas técnicas para tratar hidrocarburos y desechos oleosos, muchas de ellas presentan limitaciones de capacidad y aplicación. Deben considerarse todas las opciones si se produce un derrame importante.
- El mejor momento para tomar decisiones sobre el tratamiento de residuos es al inicio de un siniestro y deben basarse en expectativas realistas de los tipos y cantidades de residuos que podrían generarse.
- Cuando se determine la recuperación de desechos o las vías de eliminación posibles, debe cumplirse la legislación local sobre residuos y consultarlo con las autoridades pertinentes.
- Debe identificarse previamente la disponibilidad de almacenamiento temporal en áreas en las que exista riesgo elevado de derrame para que sirva como almacenamiento intermedio entre la recolección de hidrocarburo en el mar o en tierra y la eliminación final.
- Cuando existan vías de eliminación para diferentes flujos de residuos, los residuos se segregarán desde el punto de recolección.
- Debe examinarse la viabilidad de la recuperación de hidrocarburo utilizable antes de desecharlo y analizar la posibilidad de generar algún ingreso relacionado con el valor calorífico de los residuos.
- Las técnicas que permiten destruir el hidrocarburo son preferibles al relleno sanitario, aunque probablemente resulten más costosas.
- Probablemente, los costes de la eliminación, incluida la manipulación y el transporte, representen un componente muy importante del coste general de la respuesta a un derrame.

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