

Derrames de hidrocarburos: respuesta en tierra

Directrices de buenas prácticas para el personal de manejo de impactos y respuesta a emergencias



IPIECA

La asociación de la industria global del petróleo y del gas para cuestiones medioambientales y sociales

Piso 14, City Tower, 40 Basinghall Street, Londres EC2V 5DE, Reino Unido
Teléfono: +44 (0)20 7633 2388 Fax: +44 (0)20 7633 2389
Correo electrónico: info@ipieca.org Sitio web: www.ipieca.org



Asociación Internacional de Productores de Petróleo y Gas

Oficina registrada

Piso 14, City Tower, 40 Basinghall Street, Londres EC2V 5DE, Reino Unido
Teléfono: +44 (0)20 3763 9700 Fax: +44 (0)20 3763 9701
Correo electrónico: reception@iogp.org Sitio web: www.iogp.org

Oficina de Bruselas

Boulevard du Souverain 165, 4th Floor, B-1160 Bruselas, Bélgica
Teléfono: +32 (0)2 566 9150 Fax: +32 (0)2 566 9159
Correo electrónico: reception@iogp.org

Oficina de Houston

10777 Westheimer Road, Suite 1100, Houston, Texas 77042, Estados Unidos
Teléfono: +1 (713) 470 0315 Correo electrónico: reception@iogp.org

Informe de IOGP N.º 514

Fecha de publicación: 2015

© IPIECA-IOGP 2015 Todos los derechos reservados.

Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse, almacenarse en un sistema de recuperación ni transmitirse de ninguna forma ni por ningún medio, ya sea electrónico, mecánico, de fotocopiado, grabación u otro modo, sin el consentimiento previo de IPIECA.

Descargo de responsabilidad

Si bien se han realizado todos los esfuerzos posibles para garantizar la exactitud de la información contenida en esta publicación, ni IPIECA, IOGP ni ninguno de sus miembros pasados, presentes o futuros garantizan su exactitud; y tampoco, independientemente de la posible negligencia de los mencionados, asumirán ninguna responsabilidad por cualquier uso previsto o imprevisto que se haga de esta publicación. Por consiguiente, dicho uso se hará bajo el riesgo propio del receptor, teniendo en cuenta que cualquier uso por parte del receptor constituye un acuerdo con los términos de este descargo de responsabilidad. La información contenida en esta publicación no pretende ser una asesoría profesional de los diversos contribuidores de contenidos y ni IPIECA, IOGP ni sus miembros aceptan ningún tipo de responsabilidad por las consecuencias del uso o mal uso de tal documentación. Este documento puede proporcionar orientación que sea complementaria a los requisitos de la legislación local. Sin embargo, nada de su contenido pretende sustituir, enmendar, anular o de algún otro modo alejarse de dichos requisitos. En el caso de que exista un conflicto o contradicción entre las estipulaciones de este documento y la legislación local, prevalecerán las leyes aplicables.

Derrames de hidrocarburos: respuesta en tierra

Directrices de buenas prácticas para el personal
de manejo de impactos y respuesta a emergencias

Prólogo

Esta publicación es parte de la serie Guía de Buenas Prácticas de IPIECA-IOGP, que resume los puntos de vista actuales sobre las buenas prácticas con relación a una variedad de temas sobre preparación y respuesta ante derrames de hidrocarburos. La serie pretende contribuir a alinear las prácticas y actividades de la industria, informar a los grupos de interés y servir como herramienta de comunicación para fomentar la conciencia y la educación.

La serie actualiza y sustituye la consolidada “Serie de informes sobre derrames de hidrocarburos” de IPIECA, que se publicó entre 1990 y 2008. Aborda temas que son ampliamente aplicables tanto a la exploración como a la producción, así como a las actividades de navegación y transporte.

Las revisiones se están llevando a cabo por el Proyecto conjunto del sector (JIP, por sus siglas en inglés) sobre respuesta ante derrames de hidrocarburos de IOGP-IPIECA. El JIP se estableció en 2011 para implementar oportunidades de aprendizaje con respecto a la preparación y respuesta ante derrames de hidrocarburos, después del impacto en abril de 2010 con el control del pozo petrolífero en el Golfo de México.

Nota sobre las buenas prácticas

“Buenas prácticas” en este contexto es una declaración de directrices, prácticas y procedimientos reconocidos internacionalmente que capacitarán al sector del petróleo y del gas para tener un nivel de desempeño aceptable en lo que concierne a la salud, la seguridad y el medio ambiente.

El concepto de buena práctica para un tema en particular cambiará con el tiempo a la luz de los avances tecnológicos, la experiencia práctica y la comprensión científica, así como los cambios en el entorno político y social.

Contenido

Prólogo	2	Gestión de la respuesta	13
Introducción	4	Problemas de seguridad y salud	15
El destino de los hidrocarburos y los procesos de envejecimiento	5	Análisis de Beneficio Ambiental Neto (ABAN)	15
Procesos de envejecimiento	5	Técnicas de respuesta	17
<i>Movimiento</i>	5	Contención y recuperación	17
<i>Evaporación</i>	5	Derrames en nieve y hielo	21
<i>Disolución</i>	6	Absorbentes	21
<i>Dispersión natural</i>	6	Solidificadores	22
<i>Emulsificación</i>	6	Quema controlada <i>in situ</i>	22
<i>Fotooxidación</i>	6	Limpieza/tratamiento de orillas	24
<i>Sedimentación</i>	6	<i>Evaluación de costas</i>	24
<i>Biodegradación</i>	7	<i>Opciones de respuesta</i>	24
<i>Hundimiento</i>	7	<i>Lavado de superficie o agentes de limpieza de costas</i>	27
<i>Derrames en tierra</i>	7	Biodegradación	28
Medios ambientes acuáticos en tierra	8	Hidrocarburos hundidos	28
Efectos ecológicos	9	Resumen	30
Sensibilidad	11	Lecturas adicionales	31
Efectos socioeconómicos	11	Agradecimientos	32
<i>Agua potable y extracción industrial de agua</i>	11		
<i>Interrupción del tráfico</i>	12		
<i>Reubicación de la comunidad</i>	12		

Introducción

La mayoría de los derrames de hidrocarburos más grandes y conocidos han ocurrido en el medio ambiente marino; sin embargo, los derrames en tierra superan en cantidad a los derrames marinos. Muchas de las técnicas clásicas de respuesta a derrames de hidrocarburos fueron desarrolladas originalmente para usarse en entornos de derrames costa afuera y en costas. Aunque algunos principios básicos de la respuesta a derrames de hidrocarburos son las mismas, independientemente de dónde ocurran los derrames, las técnicas para las operaciones de respuesta a derrames de hidrocarburos en tierra requieren cierto grado de adaptación. El objetivo de esta Guía de buenas prácticas es ofrecer una visión general de las respuestas a derrames de hidrocarburos en tierra, identificar las similitudes con las respuestas a derrames en el mar y destacar los asuntos pertinentes que son exclusivos a los derrames de hidrocarburos en tierra.

Esta guía aborda la fase de la respuesta a los incidentes en tierra, en la que se llevan a cabo acciones para garantizar la seguridad, minimizar la expansión y la amenaza inmediata del derrame e implementar técnicas para limpiar el hidrocarburo derramado. Su enfoque principal es en el medio ambiente acuático, aunque también se incluye información adicional acerca de los medios ambientes terrestres adyacentes. No se abordan las posibles acciones correctivas que se pueden considerar cuando el hidrocarburo ha contaminado el terreno.

Los medios ambientes acuáticos en tierra que se incluyen en esta guía abarcan ríos y arroyos de agua dulce, lagos y estanques, humedales y cuerpos de agua estuarina así como sus orillas y riberas asociadas.

Sin incluir los poco frecuentes derrames mayores de hidrocarburos, se derraman más hidrocarburos en los hábitats terrestres que en los hábitats marinos en costas y costa afuera. Con frecuencia, los derrames en tierra involucran productos refinados, aunque casi la mitad de los mayores derrames en tierra involucran petróleo crudo. En general, los derrames en tierra se originan con mayor frecuencia de instalaciones fijas que del transporte, aunque las roturas de oleoductos han provocado muchos de los mayores derrames en tierra.

Esta guía inicia con una descripción de los procesos de envejecimiento, el destino y los efectos de los hidrocarburos derramados. También se describen los efectos socioeconómicos de los derrames en tierra, seguidos de un debate acerca de los temas de la gestión y las técnicas de respuesta.

El destino de los hidrocarburos y los procesos de envejecimiento

Los hidrocarburos crudos se componen de una gran cantidad de compuestos químicos individuales. Casi todos estos son hidrocarburos, compuestos únicamente de hidrógeno y carbono. Los hidrocarburos se pueden clasificar por el peso molecular o por la longitud de la cadena de carbono, y la mayoría de los hidrocarburos presentes en el petróleo crudo contienen de 5 a 35 átomos de carbono.

Las categorías de los hidrocarburos incluyen:

- las parafinas (alcanos), que consisten en cadenas de carbono saturadas sin enlaces dobles;
- las olefinas (alquenos), que consisten en cadenas de carbono con al menos un enlace doble;
- los naftenos (cicloalcanos), que consisten en anillos de carbono con hasta cuatro anillos en un compuesto, y
- los compuestos aromáticos, que consisten en uno o más anillos de carbono no saturados con enlaces dobles alternos.

Las proporciones relativas de estos compuestos químicos difieren entre los hidrocarburos crudos y son responsables de la gama de propiedades físicas que muestran los hidrocarburos crudos. La mayoría de los hidrocarburos presentes en la mayoría de los crudos son alcanos y cicloalcanos y pueden variar de líquidos volátiles a líquidos no volátiles o sólidos (ceras) dependiendo de su tamaño (cantidad de átomos de carbono) y la temperatura predominante. Los derivados del petróleo representan fracciones de hidrocarburos diferentes derivados de la refinación de petróleo crudo.

Los compuestos ligeros aromáticos de un solo anillo son los compuestos más tóxicos del petróleo y consisten en benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX). Los compuestos aromáticos con dos o más anillos se conocen como hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y muchos de ellos también son tóxicos. Entre los ejemplos se incluyen al naftaleno (de dos anillos), el antraceno (de tres anillos) y el benzo(a)pireno (de cinco anillos). Los compuestos aromáticos extremadamente grandes se conocen como asfaltenos. Estos compuestos pueden incluir azufre, oxígeno y derivados del nitrógeno en la mezcla y también pueden tener bajos niveles de metales.

Procesos de envejecimiento

Los hidrocarburos derramados son afectados por procesos naturales que los transforman (envejecimiento) y modifican su destino y su comportamiento. A continuación, se resumen los procesos de envejecimiento que afectan a los hidrocarburos en los medios ambientes acuáticos.

Movimiento

Los hidrocarburos líquidos se extienden sobre el agua para formar manchas muy delgadas con un espesor promedio de alrededor de 0,1 mm, aunque estas pueden variar desde 0,1 μm para lustres en aguas abiertas hasta espesores de hasta 1 a 2 mm para hidrocarburos espesos. Los hidrocarburos de baja densidad se extienden más rápidamente que los hidrocarburos más pesados, lo cual significa que los productos refinados ligeros se extienden más rápidamente que la mayoría de los crudos. En función de la ubicación y el volumen del derrame, la distribución se puede restringir por la superficie de área disponible. El flujo del viento y el agua puede fragmentar los hidrocarburos a medida que se extienden, y los ríos de caudal rápido pueden desplazar rápidamente los hidrocarburos a favor de la corriente. Los cuerpos de agua pequeños en tierra provocan un rápido encallamiento de los hidrocarburos y, debido a su tamaño, son más fáciles de ubicar y rastrear.

Evaporación

Los hidrocarburos ligeros y más pequeños (generalmente de menos de 12 átomos de carbono) tienden a evaporarse en condiciones ambientales. El proceso depende de la temperatura; grandes porcentajes de gasolina, hidrocarburos crudos ligeros y combustóleos ligeros se pueden evaporar en las primeras horas y días de un derrame. Los componentes de los hidrocarburos pesados del petróleo crudo y combustóleos pesados

tienen un reducido potencial de evaporación; por ello, la cantidad que se pierde debido a la evaporación durante un derrame puede ser pequeña. Inicialmente, en un derrame de petróleo crudo de ligero a medio o de productos refinados, las concentraciones de vapor pueden ser tan altas que pueden producirse riesgos a la salud y peligros de incendios. Cualquier hidrocarburo que perdure después de la evaporación es más viscoso, lo cual puede complicar los esfuerzos.

Disolución

Algunos hidrocarburos se disuelven en el agua. Sin embargo, menos del 1% de los hidrocarburos crudos se disuelven, y muchos de los hidrocarburos que no se disuelven son los compuestos aromáticos ligeros y polares que contienen oxígeno, azufre o nitrógeno. Estos compuestos también son altamente volátiles y, por lo tanto, tienden a evaporarse en vez de permanecer en el agua. La solubilidad de los hidrocarburos es mayor en agua dulce que en agua salina y se incrementa con mayores concentraciones de materia orgánica disuelta.

Dispersión natural

En un cuerpo de agua, la energía de las olas y la corriente ocasionan que los hidrocarburos formen pequeñas gotas. Muchas de estas gotas son lo suficientemente grandes para resurgir a la superficie. Por lo tanto, es típico ver que solo un pequeño porcentaje del hidrocarburo permanezca dispersado naturalmente, aunque pueden presentarse algunos casos de derrames marinos, durante tormentas importantes con muy pocos vientos y olas fuertes, en los que virtualmente el 100% de los hidrocarburos derramados se dispersan naturalmente. Los lagos raramente experimentan estas condiciones.

Emulsificación

Las pequeñas gotas dispersadas naturalmente que regresan a la superficie pueden atrapar agua en la marea negra superficial para formar una emulsión de agua en aceite. La emulsificación incrementa ampliamente la viscosidad de los hidrocarburos derramados y, por lo tanto, complica los esfuerzos de recuperación. Los hidrocarburos emulsificados se ven también menos afectados por otros procesos de envejecimiento como la evaporación, la dispersión y la biodegradación. Una emulsión puede consistir hasta en un 80% de agua, y el volumen aparente de la contaminación por hidrocarburos puede incrementarse de 4 a 5 veces. La formación de emulsiones estables (permanentes) requiere componentes pesados como asfaltenos y resinas. Por lo tanto, muchos productos refinados ligeros (gasolina y combustóleos ligeros) no se emulsionan ni forman emulsiones inestables (no persistentes). La emulsificación es un importante proceso de envejecimiento que afecta los derrames marinos de crudo y combustóleos pesados debido a que la energía de mezclado en el océano es extremadamente eficaz para incorporar agua en el aceite. La emulsificación es menos probable en agua dulce, incluso en derrames de hidrocarburos pesados, debido a que la importante energía de mezclado a menudo no perdura lo suficiente para generar emulsiones estables como las que se ven en el mar.

Fotooxidación

La luz solar oxida los hidrocarburos. Este proceso ocurre en menos del 1% de los hidrocarburos derramados y es lo que ocasiona que los hidrocarburos negros fuertemente envejecidos se vuelvan grisáceos con el tiempo. El proceso hace más solubles los compuestos oxidados.

Sedimentación

Los hidrocarburos se pueden adherir a los sólidos presentes en el agua. En aguas con alto contenido de limo, los hidrocarburos derramados se pueden unir a los sedimentos en suspensión, volviéndose flotantes neutralmente en un cuerpo de agua y/o hundirse hacia el fondo. Partículas muy finas, especialmente arcillas, se pueden unir al hidrocarburo y ofrecer una plataforma para que los microorganismos biodegraden el

hidrocarburo. La sedimentación puede ser importante para los derrames de hidrocarburos durante eventos de inundaciones cuando las aguas contienen altos niveles de sólidos en suspensión; en algunos derrames se han visto reducciones dramáticas de hidrocarburos en superficies debido a este proceso.

Biodegradación

Los microorganismos utilizan los hidrocarburos derramados como alimento y degradan los compuestos a hidrocarburos más sencillos y, finalmente, a dióxido de carbono y agua. Este proceso requiere nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) y oxígeno. Los hidrocarburos muy grandes (como los asfaltenos) que se encuentran en los aceites muy pesados se degradan muy lentamente o no se degradan. La biodegradación en cuerpos tranquilos de agua dulce con bajas tasas de reemplazo de oxígeno puede ocasionar agotamiento del oxígeno, reduciendo la descomposición posterior de los hidrocarburos.

Hundimiento

Los hidrocarburos frescos generalmente son menos densos que el agua y, por lo tanto, flotan en la superficie. Sin embargo, los procesos de envejecimiento tienden a incrementar la densidad de los hidrocarburos y ocasionan situaciones en las que estos pueden hundirse. Esto ocurre con mayor frecuencia en hidrocarburos pesados, cuya densidad inicial es relativamente alta; el hundimiento es también más probable que ocurra en agua dulce, la cual es menos densa que el agua salina.

Derrames en tierra

Los hidrocarburos derramados en tierra pueden tocar sólidos y aguas subterráneas, así como cuerpos de agua en la superficie. En la superficie del suelo, algunos procesos de envejecimiento, como la evaporación, están activos, mientras que otros, como la emulsificación y la dispersión, son inexistentes. Puede ocurrir distribución, pero el grado depende altamente de la topografía y la aspereza de la superficie. La cantidad de biodegradación depende de la humedad y de los niveles de nutrientes. Los derrames subterráneos que contaminan el suelo y los mantos freáticos sufren poco envejecimiento. Los niveles de oxígeno son generalmente limitados y la biodegradación ocurre lentamente. Los hidrocarburos se adhieren al suelo, pero otros procesos de envejecimiento son virtualmente inexistentes. En esta guía no se abordan suelos contaminados ni acciones correctivas para mantos freáticos.

Medios ambientes acuáticos en tierra

Para fines de esta guía, los medios ambientes o hábitats acuáticos en tierra incluyen:

- ríos y arroyos, lagos, estanques y humedales de agua dulce;
- estuarios y orillas, y
- hábitats de orillas o riberas incluyendo lechos de roca, estructuras artificiales, arena, mezclas de arena y grava, orillas con vegetación y fango.

Los grandes cuerpos de agua, como los grandes lagos de Norteamérica y el Lago Victoria en África tienen olas y corrientes. Sin embargo, al compararse con los océanos, las corrientes son generalmente débiles, y las olas fluctúan según las condiciones locales del viento sin oleaje oceánico. Las mareas son bajas o inexistentes y las fluctuaciones del nivel del agua pueden ser impulsadas por las tasas de entradas de agua y evaporación. Las orillas son generalmente más angostas que las playas marinas. Los lagos y estanques pequeños pueden tener tasas de inundación limitadas y también están sujetos a variaciones en los niveles del agua debidos a efectos estacionales y/o inundaciones. Si las tasas de intercambio de agua son bajas, pueden ocurrir altos niveles de nutrientes y bajos niveles de oxígeno, lo que puede afectar las tasas de biodegradación de los hidrocarburos derramados. Los lagos de mayores latitudes pueden estar sujetos a la formación de hielo durante el invierno. Incluso los lagos más grandes se pueden congelar sustancialmente, y la cubierta de hielo en la orilla es común.

Los ríos grandes pueden tener tasa de flujo variable, estas pueden ser estacionales, las cuales pueden ocasionar inundaciones importantes. Los flujos de los ríos en los medios ambientes estuarinos están generalmente sujetos a las mareas y tienen salinidad variable. Algunos ríos tienen varios canales con islas centrales en estos y algunos tienen flujo controlado debido a la construcción de diques y represas. Las cargas de sedimentos pueden ser altas. Habrá bajos inundables de anchuras variables con sus humedales y remansos asociados.

Los ríos pequeños y los arroyos pueden ser poco profundos, presentando características de flujo desde corrientes rápidas con caídas de agua hasta canales ondulantes lentos. En climas fríos, todos se pueden congelar durante el invierno. Los canales pueden contener diversas cantidades de cargas de restos y sedimentos.

Las fuertes lluvias ocasionaron un derrame que provocó contaminación por hidrocarburos de la vegetación en la inundación resultante.



Sitio web de OSC de la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.

Efectos ecológicos

La exposición del medio ambiente a los hidrocarburos puede ocasionar varios tipos de efectos. Hay dos conceptos clave que se deben considerar: la vulnerabilidad (capacidad de ser expuesto) y la sensibilidad (reactividad a la exposición). Las consideraciones dominantes de los efectos medioambientales de un derrame son la sensibilidad de los hábitats y los organismos expuestos. Las características del hábitat que influyen en la sensibilidad incluyen:

- la diversidad y abundancia de especies;
- los extremos del clima y tipos de precipitación, y
- la cantidad de circulación del agua y la inundación.

La exposición a los hidrocarburos puede producir dos tipos de efectos en los animales y las plantas.

1. Muchos de los compuestos presentes en los hidrocarburos son agudamente tóxicos (a corto plazo y letales) o cronológicamente tóxicos (a largo plazo y subletales), y la exposición a suficientes concentraciones durante un tiempo suficientemente largo puede producir enfermedades o causar la muerte de plantas y animales. La toxicidad producida por la ingestión y la inhalación se produce principalmente por los compuestos BTEX y HAP debido a que son más solubles en agua, especialmente los compuestos BTEX. Los hidrocarburos crudos ligeros y los derivados del petróleo (gasolina, queroseno, diésel y combustóleo n.º 2) contienen una mayor cantidad de estos compuestos y, por lo tanto, son más tóxicos que los hidrocarburos más pesados que contienen menor cantidad de ellos. Estos compuestos aromáticos son también los compuestos presentes en los hidrocarburos que envejecen más fácilmente y, a medida que los hidrocarburos envejecen, se vuelven menos tóxicos como consecuencia. Los HAP perduran en el medio ambiente más tiempo que los compuestos BTEX, y su presencia provoca toxicidad a un plazo mucho mayor.
2. Puede ocurrir sofocamiento físico si las plantas y los animales se cubren con capas espesas de hidrocarburos. Es más probable que ocurra sofocamiento físico en crudos pesados y combustóleos, especialmente si se emulsifican, debido a su mayor viscosidad y potencial de adherencia. Estos hidrocarburos más pesados pueden perdurar durante períodos más largos y provocar alteraciones medioambientales a mayor plazo, pero su toxicidad es mínima.

Puede haber efectos indirectos de lo anterior a través de alteraciones en la diversidad y abundancia de especies después de un derrame. Por ejemplo, la eliminación de animales que pastan de un hábitat debido a que la toxicidad o el sofocamiento provocado por los hidrocarburos puede permitir un incremento posterior en la vegetación hasta que se restaure el equilibrio ecológico. Las medidas de limpieza agresivas o invasivas también pueden crear alteraciones en los hábitats. Se debe tener cuidado al seleccionar las técnicas de respuesta para asegurar que los resultados generales sean benéficos comparados con la situación de no adoptarse ninguna medida.

Los impactos en los hábitats terrestres y marinos se juzgan de acuerdo con la gravedad relativa del impacto y la velocidad de la recuperación.

La recuperación del hábitat depende de lo siguiente:

- el grado y la persistencia de la contaminación por hidrocarburos;
- las características y el envejecimiento de un hidrocarburo;
- las circunstancias de un derrame (especialmente el clima), y
- las técnicas y las tácticas de la respuesta.

La recuperación de las especies depende de los siguientes factores:

- las tasas de reproducción, y
- la tasa de recolonización a partir de los hábitats circundantes.

Los efectos de los hidrocarburos en las diversas clases de organismos se resumen a continuación. Generalmente, los organismos pueden acumular hidrocarburos provenientes del agua y el aire circundantes, y por la ingestión de alimentos y sedimentos contaminados. Las concentraciones de hidrocarburos que se pueden encontrar dentro de los organismos son un reflejo de las propiedades fisicoquímicas del hidrocarburo, las condiciones medioambientales, las características de los organismos expuestos y la cadena alimentaria.

- **Bacterias:** Aunque algunos hidrocarburos pueden ser inicialmente tóxicos para las bacterias, muchas bacterias utilizan los hidrocarburos como fuente de alimento y, por lo tanto, eliminan los derrames del medio ambiente. En zonas agrícolas, y en zonas urbanas y suburbanas con gran escurrimiento, los niveles de nutrientes provenientes de fertilizantes tienden a ser altos, lo cual incrementa el potencial de eutrofización y desplome de los niveles de oxígeno disuelto incluso sin derrames.
- **Algas:** Las algas de agua dulce y de estuarios se ven afectadas por la exposición a los compuestos volátiles ligeros de toxicidad aguda de muchos hidrocarburos, pero las poblaciones de algas generalmente se recuperan muy rápidamente. Los efectos de la toxicidad aguda declinan rápidamente a medida que los componentes tóxicos envejecen. Un incremento en la cianobacterias (la cuales fijan el nitrógeno) ofrecen nutrientes para favorecer un nuevo crecimiento algal. Los microorganismos (zooplancton) que se alimentan de algas son generalmente suprimidos por la toxicidad de los hidrocarburos derramados, y la subsiguiente baja tasa de predación ayuda a la repoblación de las algas.
- **Invertebrados:** Estos animales pueden estar sujetos a los efectos tóxicos agudos y crónicos de la exposición a los hidrocarburos derramados. Los efectos subletales (crónicos) incluyen deficiencias en el crecimiento y la reproducción. Después de un derrame, la densidad de la población de invertebrados puede afectarse significativamente y los cambios en la población pueden afectar indirectamente la supervivencia de organismos que se encuentran en la parte superior de la cadena alimentaria.
- **Peces:** Al contrario que las especies marinas en el océano abierto, las cuales pueden evitar una marea negra, los peces de agua dulce pueden no ser capaces de evitar hidrocarburos derramados en cuerpos de agua más pequeños. Han ocurrido mortalidades de peces después de derrames en cuerpos restringidos de agua dulce y pueden ser resultado directo de la toxicidad de los hidrocarburos, o bien puede ocurrir indirectamente debido al bajo nivel de oxígeno disuelto. Los peces pueden acumular hidrocarburos en los tejidos, pero también pueden metabolizarlos; las exposiciones a corto plazo pueden, por lo tanto, producir menos efectos a largo plazo.
- **Anfibios:** La piel permeable de los anfibios los expone a mayor riesgo que los reptiles frente a los hidrocarburos. El mayor riesgo que corren estos animales es el sofocamiento debido al recubrimiento físico y a la toxicidad por la ingestión de hidrocarburos.
- **Mamíferos y aves:** Estos animales son igualmente susceptibles al recubrimiento físico por hidrocarburos y a la ingestión de hidrocarburos a través del acicalamiento y el consumo de presas y plantas impregnadas de hidrocarburos. El recubrimiento físico de hidrocarburos puede afectar seriamente la capacidad de aislamiento de la piel y las plumas del animal, provocando hipotermia y posiblemente la muerte. Estas lesiones son a menudo altamente visibles durante respuestas a derrames y pueden provocar gran inquietud pública. Algunas especies pueden oler el hidrocarburo y evitarlo.
- **Vegetación:** La impregnación de hidrocarburos puede afectar más que únicamente las plantas. Los animales que viven entre las plantas pueden exponerse a los hidrocarburos al interactuar con las plantas. El hidrocarburo presente en las plantas puede removilizarse durante los cambios en los niveles del agua o durante lluvias, o puede ser transferido por animales y provocar efectos adicionales de la exposición.

Sensibilidad

La sensibilidad del hábitat a los hidrocarburos considera varios factores: el potencial de los procesos naturales de eliminación; la productividad biológica y la capacidad de recuperación después de la impregnación de hidrocarburos; el uso socioeconómico del hábitat y la facilidad de eliminación del hidrocarburo. Es posible utilizar estos factores para clasificar la sensibilidad general de los hábitats como parte de un índice de sensibilidad medioambiental (ESI, por sus siglas en inglés). El uso de un ESI es común para los hábitats marinos, y se ha empleado para orillas de agua dulce.

Generalmente, un ESI utiliza una escala de 1 a 10 para indicar el aumento en la sensibilidad. En la tabla 1 se muestra un ejemplo:

Los ecologistas distinguen entre los tipos de humedales de agua dulce, los cuales incluyen pantanos, ciénegas, turberas y marjales. Para el personal de respuesta, esta diferenciación a menudo carece de relevancia. Los humedales en tierra (ESI 10A y 10B) se componen de pantanos, turberas, marjales y ciénegas. En cualquiera de estos hábitats, el agua puede estar estancada, los niveles de oxígeno pueden ser bajos y los niveles de nutrientes, altos. Los bajos niveles de oxígeno, frecuentes en los humedales marinos debido al intercambio de agua por las mareas, pueden dificultar grandemente que los hidrocarburos derramados se degraden aeróbicamente.

El sedimento suave que comprenden estos humedales plantea problemas específicos para las técnicas de respuesta, ya que existe un mayor riesgo de daño exacerbado por las actividades de limpieza.

Efectos socioeconómicos

Agua potable y extracción industrial de agua

Una gran preocupación que provocan los derrames en tierra es la posibilidad de contaminación de las fuentes de agua potable y las fuentes de extracción de agua para usos industriales. Las tres principales vías de exposición son:

- hidrocarburos derramados directamente en las aguas superficiales que sirven como suministro y fuentes de agua;
- escurrimientos contaminados por hidrocarburos provenientes de carreteras, que fluyen hacia los humedales o los derrames directamente en los humedales que sirven como áreas de reabastecimiento de suministro de los mantos freáticos, y
- hidrocarburos derramados que penetran el suelo y migran hacia los mantos freáticos.

Las tomas municipales de agua potable, las tomas de agua para enfriamiento de plantas de energía industriales y otros puntos de extracción de agua industrial o agrícola pueden utilizar agua superficial. Uno de los principales objetivos de las respuestas a derrames en tierra es proteger estas tomas de agua.

Un gran esfuerzo de protección de tomas de agua ocurrió en enero de 1988 cuando colapsó un tanque de almacenamiento que contenía alrededor de 3,9 millones de galones estadounidenses (14.800 m³) de combustible diésel en Pensilvania, EE. UU. Alrededor de 750.000 galones de hidrocarburo derramado alcanzaron el Río Monongahela, aproximadamente a 40 km corriente arriba de Pittsburgh. El hidrocarburo se mezcló en la

Table 1 Escala de ESI

ESI	Tipo de costa
1A	Costas rocosas expuestas
1B	Paredes sólidas expuestas
2	Costas de lechos de rocas
3	Escarpos erosionados en sedimentos no consolidados
4	Playas de arena
5	Playas mixtas de arena y grava
6A	Playas de grava
6B	Escolleras
7	Planicies de marea expuestas
8A	Costas rocosas protegidas
8B	Estructuras artificiales sólidas protegidas
9A	Bancos/acantilados escasamente vegetados protegidos
9B	Bajos de arena/fango protegidos
10A	Pantanos de agua dulce (vegetación herbácea)
10B	Ciénegas de agua dulce (vegetación leñosa)

columna de agua a medida que pasaba por represas, y las bajas temperaturas y una importante cubierta de hielo limitaron la cantidad de evaporación. A medida que el hidrocarburo se desplazó 320 km a lo largo de los ríos Mononhahela y Ohio, se cerraron las tomas de agua potable (algunas durante una semana) y las comunidades grandes y pequeñas buscaron fuentes alternativas de agua hasta que las concentraciones de hidrocarburos en el río descendieron a niveles seguros. Un gran esfuerzo para rastrear el movimiento del hidrocarburo, además de un programa de difusión para alertar a las comunidades del riesgo de contaminación, contribuyeron a la capacidad de proteger las comunidades.

Interrupción del tráfico

Muchos derrames en tierra son relativamente pequeños y ocurren en carreteras o vías férreas o junto a estas. En reconocimiento a la prioridad que se le otorga a las carreteras abiertas, la respuesta a volcaduras de camiones es generalmente establecer rápidamente condiciones de seguridad, despejar la carretera y volverla a abrir al público. Muchos departamentos de bomberos locales cuentan con experiencia en respuestas a volcaduras de camiones o descarrilamientos que vierten combustible y/o productos refinados o, menos frecuentemente, petróleo crudo. Si se derrama gasolina, los departamentos de bomberos pueden en primer lugar aplicar espuma contra incendios para suprimir los vapores volátiles de los hidrocarburos y limitar el potencial de un incendio.



Sitio web de OSC de la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.

La urgencia de reabrir las carreteras a menudo hace que el hidrocarburo derramado sea inundado y que cualquier espuma sea vertida al lado de la carretera o entre el desagüe pluvial como parte de la limpieza de la carretera. La espuma contra incendios contiene un surfactante que puede dispersar el hidrocarburo en el agua. Si esta mezcla de hidrocarburo y espuma fluye hacia un arroyo o un río, podría inadvertidamente provocar contaminación por sí misma y extender el hidrocarburo sobre una zona más extensa. De ser posible, el personal de respuesta debe limitar el escurrimiento o recuperar estos líquidos para evitar la posibilidad de contaminación adicional.

Arriba: un camión cisterna volcado provocando la interrupción de una carretera.

La interrupción del tráfico es también una consecuencia frecuente del transporte de personal de respuesta, personal de soporte y equipo al lugar de un derrame. Se puede restringir el acceso a los caminos para facilitar el acceso del personal de respuesta, asegurar un sitio, ofrecer almacenamiento temporal y establecer zonas de acopio.

Reubicación de la comunidad

Cuando ocurre un derrame de hidrocarburos en aguas cerca de una zona residencial, es posible reubicar a los residentes y a otras personas de los alrededores por motivos de salud y seguridad; por ejemplo, debido al posible impacto en el suministro de agua. La atención de las necesidades inmediatas de alimentos, agua y refugio de los miembros de estas comunidades puede representar un esfuerzo importante de la respuesta. Las propiedades impregnadas de hidrocarburos son difíciles de limpiar y el proceso es lento.

Los equipos de respuesta pueden involucrar a los departamentos locales de salud para ayudar a identificar los niveles aceptables de vapores de hidrocarburos en áreas residenciales o instalaciones comerciales/industriales y determinar cuándo es posible reabrir las.



Sección Kansas de la Patrulla Aérea Civil de los EE. UU.



NOAA

Gestión de la respuesta

Los principios básicos de la gestión de incidentes son los mismos para todos los derrames:

- se proponen las medidas actuales y futuras basadas en una evaluación del incidente dentro del esquema conceptual de los planes de contingencia para derrames de hidrocarburos;
- se establecen y se aprueban los objetivos y las acciones de la respuesta por el comando;
- las cuadrillas de campo son dirigidas por el personal de operaciones, y
- las actividades logísticas y financieras son llevadas a cabo para apoyar las operaciones.

Estas actividades de respuesta se realizan sin importar la complejidad del incidente, ya sea que se cree una gran organización formal o que un pequeño grupo de personal de respuesta gestione el derrame.

En muchos países, los organismos gubernamentales dirigen y coordinan la respuesta a un derrame de hidrocarburos y el gobierno espera recibir compensación de los responsables por sus esfuerzos y por ofrecer apoyo. La gestión de incidentes es a menudo realizada por un funcionario gubernamental de una organización reglamentaria, de cumplimiento de la ley o militar. En algunos países, se exige que la parte responsable del derrame responda a su propio costo y que esté bajo la dirección de funcionarios gubernamentales. Idealmente, todos los involucrados cooperan en un esfuerzo coordinado y unificado para limitar los efectos ecológicos y socioeconómicos.

Debido a que la mayoría de los derrames de hidrocarburos en tierra son relativamente pequeños, la escala de la mayoría de las operaciones de respuesta en tierra son también proporcionalmente pequeñas, y dichas operaciones son generalmente manejadas por pequeños equipos *in situ*. Una diferencia notable entre la gestión de derrames en tierra y en el mar es que el personal de respuesta inicial a menudo proviene de municipalidades locales, es decir, de cuerpos de bomberos y organismos de cumplimiento de la ley. En el caso de derrames producidos por volcaduras de vehículos, estos organismos locales a menudo dirigen toda la respuesta sin asistencia de recursos externos (como organizaciones de respuesta de nivel regional, provincial, estatal o nacional). Sin embargo, un incidente de mayores proporciones a menudo sobrepasa la capacidad y el conocimiento locales, y los funcionarios locales pueden ser complementados o incluso reemplazados por personal de respuesta externo. Los organismos regionales y nacionales responsables de la respuesta a derrames de hidrocarburos en tierra pueden diferir de aquellos responsables de derrames en el mar.

Los derrames en tierra pueden ocurrir en diversos lugares: a lo largo de una carretera, un río o un oleoducto, virtualmente en cualquier lugar donde haya producción de hidrocarburos, o que estos se usen o se transporten. Las organizaciones de respuesta deben estar preparadas para cubrir amplias zonas geográficas con una mayor variedad de hábitats que en costa afuera.

- Muchos derrames en tierra ocurren en instalaciones fijas, por lo que la planificación de contingencias para derrames de hidrocarburos será específica para el sitio. Se pueden desarrollar los escenarios, se pueden escribir detalladamente los planes para contingencias, se puede procurar o identificar la capacidad de respuesta adecuada, se puede comprometer a las comunidades y ejecutarse los simulacros que aborden específicamente los incidentes potenciales para esas instalaciones.
- Los derrames relacionados con el transporte son más difíciles de predecir y planificar. Los oleoductos, las vías férreas y las carreteras representan una ruta en la cual pueden ocurrir derrames. La planificación de contingencias para derrames de hidrocarburos deberá abarcar zonas geográficas más extensas de una manera adecuada para ofrecer recursos de respuesta.
- Los recursos de respuesta tienden a concentrarse en o cerca de las instalaciones o los puertos principales, y el personal de respuesta puede estar a una distancia considerable del lugar de un derrame potencial.

La probabilidad de que los derrames de hidrocarburos en tierra ocurran cerca de zonas pobladas es relativamente alta, y los impactos en la población pueden ocurrir inmediatamente. Las exigencias públicas de una respuesta rápida y robusta pueden ser intensas y pueden superar los recursos de los gobiernos locales.

- En el caso de derrames pequeños, la simple contención (evitar que el hidrocarburo se extienda o que alcance flujos de agua) es el objetivo inicial primordial, y con frecuencia, el simple equipo de construcción (bulldozers, cargadores frontales, etc.) son lo más adecuado para contener el derrame. Se pueden emplear

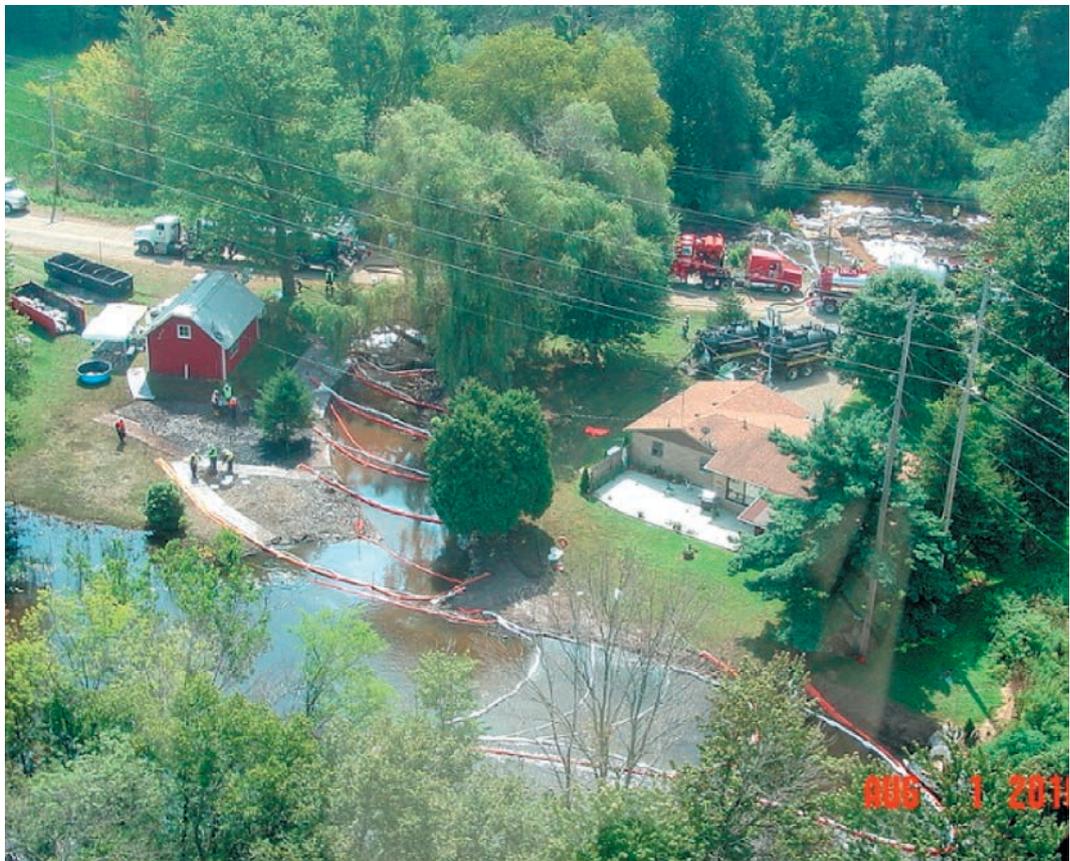
camiones de vacío para succionar el hidrocarburo, ya que estos están generalmente disponibles debido a que se usan para otros fines.

- El equipo especializado para respuesta a derrames de hidrocarburos, como barreras de contención y skimmers, pueden estar ubicado a horas de distancia del sitio del derrame, lo que ocasiona demoras considerables en el inicio de una respuesta exhaustiva.

Se debe tener cuidado al considerar el uso de modelos de trayectoria de derrames de hidrocarburos como parte de una respuesta en tierra. La mayoría de los modelos de trayectoria de derrames de hidrocarburos fueron desarrollados para predecir el destino y el desplazamiento de derrames en aguas abiertas (océanos o mares interiores) y no son adecuados para derrames en ríos, arroyos y lagos o en tierra. Los cálculos sencillos de rastrear el progreso de una mancha a favor de la corriente en función de la corriente no toman en cuenta la pérdida por hundimiento o encallamiento a medida que el hidrocarburo toca las orillas de los ríos, especialmente en las curvas. Se pueden aplicar modelos a los ríos para predecir el tiempo y la extensión de la contaminación por hidrocarburos río abajo, pero es posible que los resultados no sean confiables.

El proceso de establecimiento de prioridades de respuesta empleando técnicas de limpieza y evaluación de las orillas es aplicable a los derrames en el mar y en hábitats terrestres. La metodología de evaluación es posible que deba expandirse debido a la mayor cantidad de tipos de orillas que se encuentran durante un derrame en tierra, y debido a que las influencias de las mareas son reemplazadas por posibles fluctuaciones producidas por los flujos variables del agua.

Se realiza una operación de respuesta a derrames de hidrocarburo alrededor de una residencia privada.



Sitio web de OSC de la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.

Problemas de seguridad y salud

La seguridad de los equipos de respuesta y la comunidad afectada es la principal prioridad durante una respuesta a derrames de hidrocarburos. Los peligros para el personal de respuesta incluyen los físicos (como resbalones, tropiezos y caídas) y los químicos (como el hidrocarburo derramado). Cuatro factores dominantes que influyen en el grado de peligro al personal de respuesta son:

- las propiedades y la composición del hidrocarburo derramado;
- las circunstancias medioambientales al momento de un derrame y durante la respuesta;
- la ubicación y el tipo de tareas (incluida la duración), y
- las medidas para minimizar la exposición.

La evaporación puede producir altos niveles de gases inflamables, y el riesgo de iniciar un incendio es una consideración seria, especialmente para derrames de hidrocarburos crudos ligeros y productos refinados ligeros (especialmente gasolina). Una tarea temprana durante una respuesta a un derrame es con frecuencia el monitoreo de los límites explosivos de los hidrocarburos volátiles, ya que los hidrocarburos crudos y la gasolina con frecuencia pueden contener altos niveles de compuestos aromáticos ligeros.

La población (y el personal de respuesta) cerca de los derrames de hidrocarburos pueden estar expuestos a los compuestos volátiles que se evaporan de los hidrocarburos. Los productos químicos de interés son los compuestos aromáticos ligeros, además del sulfuro de hidrógeno y otros mercaptanos (sulfuros orgánicos). Los compuestos aromáticos ligeros se evaporan fácilmente, presentan toxicidad aguda y pueden ocasionar cáncer en caso de exposición prolongada a altas dosis. Los compuestos aromáticos ligeros son tan volátiles que los niveles peligrosos normalmente duran algunas horas, excepto a temperaturas muy bajas y en condiciones de aire tranquilo. Sin embargo, los hidrocarburos más pesados tienen concentraciones de compuestos aromáticos ligeros mucho menores y, por ende, los derrames de estos tipos de hidrocarburos raramente provocan niveles peligrosos en la atmósfera.

El sulfuro de hidrógeno y otros compuestos de azufre no son carcinógenos, pero son altamente tóxicos. El olfato humano puede detectar estos compuestos a niveles muy bajos. Los compuestos de azufre pueden provocar irritación mucho antes de que se alcancen niveles tóxicos. Sin embargo, debido a que nuestra capacidad de detectar los olores disminuye rápidamente, se debe acercarse con cuidado a los derrames de hidrocarburos que contengan compuestos de azufre. Los niveles de azufre en los hidrocarburos crudos varían ampliamente. Algunos crudos plantean pocos problemas, pero aquellos que sí lo hacen, presentan serios problemas de salud, incluso a niveles no tóxicos, debido a sus efectos altamente irritantes (por ejemplo, dolores de cabeza y náusea, etc.).

Se ofrece información adicional y detallada acerca de cómo gestionar la seguridad y la forma en que el personal de respuesta se protege de peligros potenciales en la Guía de buenas prácticas de IPIECA-IOGP titulada *Salud y seguridad de personal de respuesta ante derrames de hidrocarburos* (IPIECA-IOGP, 2012).

Análisis de Beneficio Ambiental Neto (ABAN)

El Análisis de Beneficio Ambiental Neto (ABAN) es un proceso utilizado por la comunidad de respuesta para tomar las mejores decisiones de respuesta para minimizar el impacto de los derrames de hidrocarburos en las personas y el medio ambiente: ver la Guía de buenas prácticas acerca del Análisis de Beneficio Ambiental Neto (ABAN) de IPIECA-IOGP (IPIECA-IOGP, 2015). El ABAN implica consideración y juicio para comparar el probable resultado de usar diferentes técnicas de respuesta a derrames de hidrocarburos además de recomendaciones en cuanto a las tácticas preferidas de quienes realizan la respuesta/ABAN. El ABAN generalmente involucra los pasos que se muestran en la Tabla 2 de la página 16, los cuales se deben realizar antes de un incidente de derrame como parte integral de la planificación de contingencias para derrames de hidrocarburos



El proceso del ABAN

Tabla 2 Los pasos típicos implicados en el proceso del ABAN

Paso del ABAN	Descripción
Evaluar los datos	La primera etapa consiste en considerar dónde se encuentra el derrame del hidrocarburo y a dónde irá a la deriva bajo la influencia de las corrientes y el viento: como elementos de apoyo para este paso, existen varios modelos de trayectorias de derrames de hidrocarburos. También es importante conocer la forma en que un hidrocarburo “meteorizará” a medida que vaya a la deriva. Esto es parte de la evaluación de los datos disponibles.
Predecir los resultados	La segunda etapa consiste en evaluar qué es lo que probablemente se vea afectado por el hidrocarburo derramado si no se realiza ninguna respuesta. Esto puede incluir los recursos ecológicos en alta mar, cerca de la costa y en las costas, junto con los recursos socioeconómicos. También se deben revisar la eficacia y la viabilidad del conjunto de herramientas de respuesta. Esto cubre las técnicas de respuesta, los aspectos prácticos de su utilización y la cantidad de hidrocarburo que pueden recuperar o tratar. Si las zonas amenazadas incluyen hábitats costeros sensibles a los hidrocarburos, el papel de la respuesta ante el derrame será evitar o limitar que el hidrocarburo derramado alcance estos hábitats. La experiencia previa puede ayudar a evaluar cuáles técnicas de respuesta ante derrames de hidrocarburos tienen probabilidades de ser eficaces. Las consideraciones operativas pragmáticas deben formar una parte muy importante del proceso del Análisis de Beneficio Ambiental Neto (ABAN) aplicado a todas las técnicas de respuesta viables.
Sopesar ventajas y desventajas	Las ventajas y desventajas de las posibles opciones de respuesta son tomadas en consideración y sopesadas frente a los impactos ecológicos y socioeconómicos de cada una para entender y sopesar ventajas y desventajas.
Seleccionar las mejores opciones	El proceso finaliza con la adopción de la(s) técnica(s) de respuesta dentro de los planes de contingencias para derrames de hidrocarburos que minimicen los posibles impactos del derrame en el medio ambiente y promuevan la recuperación y la restauración más rápidas de la zona afectada.

El ABAN en la práctica

El siguiente ejemplo sencillo de ABAN genera la pregunta de emplear o no la quema controlada *in situ* (ver páginas 22-23) en un humedal contaminado por hidrocarburos:

- El hidrocarburo puede estar acumulado en cantidades importantes, por lo que puede encenderse fácilmente. Aun así, la quema crearía un humo negro indeseable y la combustión dañaría y/o destruiría la vegetación impregnada de hidrocarburos por encima de la superficie del nivel del agua.
- Las operaciones de limpieza manual/mecánica tradicionales podrían destruir la misma vegetación (por ejemplo, después de la remoción del sedimento y la vegetación impregnados de hidrocarburos). La operación de equipos y el personal de respuesta podrían inadvertidamente pisotear o presionar el hidrocarburo hacia abajo a los sistemas de raíces donde los efectos de la exposición a los hidrocarburos podrían crear daño a largo plazo.
- ¿Cuál es el grado de contaminación y el potencial de recuperación pronosticados para el humedal contaminado?
- ¿Cuál es la eficiencia de eliminación de hidrocarburos de las opciones de respuesta?
- ¿Qué tan único es este hábitat y cuál es la sensibilidad estacional de estas plantas?
- Es necesario evaluar entre sí las opciones de quema controlada *in situ* y la recuperación mecánica (ver la siguiente sección acerca de las *Técnicas de respuesta*) y también contra la opción adicional de no realizar ninguna acción con el monitoreo de la recuperación natural del humedal.

Estas consideraciones del ABAN se pueden evaluar con anticipación e incorporar en la planificación de contingencias para derrames de hidrocarburos. Esta planificación facilita la toma de decisiones eficaces identificando equipos y personal, seleccionando las áreas de acopio y contando con las necesidades de protección prioritarias. Las consideraciones del ABAN también se pueden aplicar durante un incidente específico para guiar el proceso de evaluación de las circunstancias del derrame y las opciones de respuesta y estimar los posibles resultados.

Técnicas de respuesta

El conjunto de técnicas de respuesta adecuadas para los derrames acuáticos en tierra no son las mismas que para los derrames en el mar. El equipo de contención y recuperación de mayor magnitud (por ejemplo, barreras y skimmers para uso en el océano) que se utilizan en los derrames marinos son generalmente inadecuados para uso en cuerpos de agua más pequeños que se encuentran en tierra. Sin embargo, el equipo de contención y recuperación de menor escala, como el que generalmente se utiliza en derrames cerca de la costa o en la costa, puede ser adecuado para muchos cuerpos de agua en tierra. Si se considera el uso de barreras de contención, se debe tener en cuenta que hay tácticas de implementación específicas para su empleo en aguas de flujo rápido. En el caso de hidrocarburos encallados en agua dulce, la recuperación manual tiene posibilidades de ser el enfoque dominante en muchos países. El uso de dispersantes se limita generalmente a las aguas marinas de una profundidad mayor, a cierto nivel mínimo y a una distancia mayor a cierta distancia mínima de la costa, donde la dilución puede rápidamente disminuir el impacto del hidrocarburo dispersado y facilitar la biodegradación; además, los dispersantes no están generalmente formulados para usarse en agua dulce y, como tales, son mucho menos eficaces en un contexto de agua dulce. Por lo tanto, esta técnica generalmente no se considera para una respuesta en tierra. Sin embargo, la quema controlada *in situ* puede ser adecuada para usarse en una amplia variedad de hábitats terrestres.

Los procedimientos y procesos de respuesta a la fauna impregnada de hidrocarburos son casi idénticos para los derrames de hidrocarburos en tierra y en el mar. Los animales impregnados de hidrocarburos pueden incluir animales domesticados o mascotas.

Se deben recolectar los residuos impregnados de hidrocarburos, almacenarse y eliminarse de acuerdo con la normativa gubernamental aplicable. Se aplican los principios de minimización y separación de residuos. En contraste con los derrames costa afuera:

- los líquidos recuperados de derrames en instalaciones fijas se pueden reciclar y regresar a tanques de almacenamiento en las instalaciones, y
- los suelos contaminados se pueden remover o corregir *in situ*.

Los hidrocarburos de derrames pequeños a menudo se recuperan usando absorbentes, y se pueden generar grandes cantidades de residuos sólidos impregnados de hidrocarburos que es necesario eliminar. Muchos países tienen normativas que tratan a estos residuos como peligrosos, y requieren mayores niveles de análisis y cuidado para su manipulación.

Puede ser difícil aislar los lugares por motivos de seguridad, y mantener al público alejado de los grupos de limpieza si el hidrocarburo está en o junto a sus tierras o propiedades. La participación de la población y sus representantes locales electos en el proceso de toma de decisiones puede ser intenso y fácilmente desviar la dirección de la respuesta de los aspectos operativos de la limpieza del hidrocarburo. Los desafíos que enfrenta el equipo de gestión de incidentes pueden incluir la reubicación de familias, el suministro de agua potable, la reapertura de carreteras y la gestión de reclamos por daños o ingresos perdidos.

Contención y recuperación

La contención de los hidrocarburos derramados seguido de la recuperación manual o mecánica es por mucho la técnica de respuesta más común en tierra. Los conceptos son sencillos y muchas operaciones no requieren de equipo especial; lo cual es un factor importante cuando un derrame puede ocurrir a una distancia considerable de una reserva de equipo de respuesta especializado. La contención se utiliza para evitar que los hidrocarburos derramados se extiendan y para concentrarlos en cantidades que se puedan recuperar con mayor facilidad. Los tipos de equipos utilizados van desde materiales de construcción locales y equipo para el movimiento de tierras hasta versiones menores de barreas y skimmers utilizados en derrames marinos costa fuera y cerca de las costas.

Derecha: montones de tierra usados para contener gasolina derramada.

Extremo derecho: se utilizan absorbentes para contener hidrocarburos para la recuperación.



Sitio web de OSC de la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.



Sitio web de OSC de la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.

La mayoría de los derrames de hidrocarburos acuáticos en tierra se originan como derrames sobre el terreno. El personal de respuesta inicialmente desea evitar que los hidrocarburos fluyan hacia aguas superficiales y penetren en el suelo. Si los derrames suceden en superficies impenetrables, el personal de respuesta construirá bermas u otras barreras para mantener contenidos los hidrocarburos. Las barreras absorbentes se han utilizado para el mismo fin en derrames pequeños. Los escurrimientos a los drenajes pluviales a menudo se protegen mediante bloqueo con cubiertas especialmente diseñadas o mediante la colocación de hojas de plástico sobre ellas, fijándolas con montones de arena o sacos de arena.

Los pequeños arroyos y las zanjas a menudo se represan con materiales de construcción locales como arcilla y grava. Esto es especialmente útil cuando las barreras de contención no están fácilmente disponibles o no se pueden implementar debido a que el arroyo es demasiado estrecho o la corriente demasiado rápida o la profundidad insuficiente. Las presas de desbordamiento utilizan tuberías instaladas a través de la represa para permitir que el agua pase mientras se retiene el hidrocarburo superficial para su recolección. En arroyos profundos, es necesario colocar las tuberías en el fondo del lecho del arroyo para permitir el paso del agua. Se debe de tener cuidado de ofrecer suficiente capacidad para el flujo del agua; de lo contrario, las represas pueden ser arrastradas. En el caso de arroyos menos profundos donde la represa construida levanta el nivel del agua, las tuberías, o al menos algunas de ellas, se deben colocar en ángulo con los límites superiores en el lado de la corriente de la represa proporcionando una forma de regular el nivel del agua. El escurrimiento aumentado por la lluvia o el derretimiento de la nieve puede superar la capacidad de estas represas

Derecha: represas de desbordamiento con tubos en ángulo para levantar el nivel del agua y permitir la retención del hidrocarburo superficial para su recolección.

Extremo derecho: vertederos de flujo inferior usando hojas de madera contrachapada.



BP



Sitio web de OSC de la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.

temporales, por lo que se aconseja monitorear el clima para asegurarse de que las represas estén construidas adecuadamente, así como que reciban mantenimiento y sean capaces de mantener su integridad. Se deben seleccionar las ubicaciones de estas represas para que el agua no se derrame fuera del arroyo hacia el terreno adjunto y cause exposición no intencional corriente arriba de la represa.

Se pueden usar eficazmente hojas de madera contrachapada para bloquear pasos de agua, zanjas y arroyos muy pequeños. Estas se deben cortar y asegurarse dentro de la orilla del arroyo. Si hay flujo en el arroyo o zanja se pueden elevar desde el fondo para crear una represa de desbordamiento sencilla. Algunas represas de desbordamiento pueden ser de construcción previa e insertarse donde sea necesario o bien, se pueden construir *in situ*. Frecuentemente, tendrán una sección central que se puede levantar para controlar el nivel del agua y atrapar hidrocarburos. Al igual que en las otras técnicas de represas, la función de estas estructuras se debe monitorear para ver si hay cambios en el flujo y se debe dar mantenimiento en cuanto a su integridad estructural.

Las barreras de contención están diseñadas para controlar el hidrocarburo flotante en el agua. Hay disponibles barreras de diferentes tamaños para una variedad de condiciones. Las barreras pequeñas generalmente se utilizan en ríos y arroyos debido a que poseen un francobordo relativamente bajo y son más fáciles de manipular.

La física del agua fluyendo debajo de una barrera de contención es tal que aguas de baja velocidad (incluso menores a un nudo o 0,5 metros por segundo) pueden ocasionar que el hidrocarburo se arrastre en el agua que fluye debajo de la barrera. Como resultado, las barreras de contención generalmente se despliegan en ángulo respecto de la dirección de la corriente de forma que la velocidad eficaz del agua se reduzca y no se pierda el hidrocarburo. Sin embargo, incluso las barreras en ángulos rectos no podrán contener hidrocarburos en corrientes mayores a tres nudos (1,5 metros por segundo). Cuando varían la velocidad y la dirección de la corriente debido a los ciclos mareales del estuario, inundaciones y otras variaciones en el agua, puede ser difícil implementar barreras de contención que retengan continuamente el hidrocarburo que fluye. Las fuerzas ejercidas sobre la barrera de contención por el flujo del agua son altas, y se requiere una cuadrilla capacitada para la implementación correcta de una barrera (o barreras) con la configuración correcta y para el mantenimiento regular de las barreras. En algunos casos, como en las inundaciones, puede no resultar práctico

Abajo: barreras utilizadas para excluir hidrocarburos de los canales laterales.



Hansen 2001

Abajo a la izquierda: barreras utilizadas para desviar los hidrocarburos hacia un punto de recolección.

Abajo a la derecha: se utiliza un deflector para posicionar la barrera al ángulo deseado.



Hansen y Coe, 2001



Hansen y Coe, 2001

implementar barreras debido a consideraciones de seguridad para los trabajadores. Las barreras implementadas se deben monitorear periódicamente para garantizar el funcionamiento adecuado y el ajuste, según se requiera.

Es posible implementar barreras para excluir el hidrocarburo de los recursos sensibles o para desviar el hidrocarburo hacia un punto de recolección. Por ejemplo, se pueden usar barreras de desvío para desviar el hidrocarburo lejos de las zonas relativamente pequeñas, pero particularmente sensibles como las tomas de agua. Se pueden implementar en niveles varias barreras a lo largo de la corriente de un curso de agua para lograr estos objetivos. Es necesario anclar las barreras para mantenerlas en su sitio. La implementación de grandes secciones de barreras en una configuración adecuada con anclas y cuerdas puede ser algo difícil y lento. Se deben desarrollar desviadores de barreras que utilicen la fuerza del flujo del agua para mantener la barrera en su sitio.

Abajo: un camión de vacío utilizado junto con un skimmer de tambor para recuperar el hidrocarburo derramado.



En el caso de algunos incidentes en ríos grandes, donde se haya comprobado que es difícil implementar una barrera de manera eficaz, se han conducido barcazas hasta la orilla del río para actuar como barreras. Se puede atrapar el hidrocarburo debajo de las barcazas y puede ser necesario colocarlas en ángulo a la corriente, como en el caso de las barreras de contención.

La recuperación del hidrocarburo derramado puede ser tan sencillo como usar camiones de vacío. Es mejor usar los camiones de vacío cuando estén conectados a un skimmer u otro dispositivo de recuperación, aunque se pueden utilizar solos cuando el hidrocarburo es accesible y se acumula a espesores mayores. Sin embargo, una manguera de succión abierta en un camión de vacío puede recuperar grandes volúmenes de agua; esta agua recuperada puede incrementar de manera significativa los requisitos de gestión de residuos y los costos de eliminación asociados.

Abajo a la izquierda: skimmer de tambor oleofílico (afin al aceite).

Abajo a la derecha: trapeador de cuerda oleofílico entre escombros pesados.

Los skimmers más comunes son los del tipo oleofílico, en los cuales el hidrocarburo se adsorbe en la superficie del skimmer con poca recuperación de agua. De estos, los skimmers de tambor y disco son muy populares, y los de trapeador de cuerda son deseables en lugares con fuerte presencia de escombros. Para operaciones de succión sencillas, los skimmers de cabezal de succión que se colocan horizontalmente se pueden utilizar para limitar la cantidad de agua recuperada. Las reservas para respuestas generalmente contienen los tipos de skimmers que tienen mayor probabilidad de eficacia según los hidrocarburos y las condiciones presentes en la zona local.



Los hidrocarburos atrapados en aguas tranquilas se pueden guiar físicamente hacia un sitio de desnatado por medio de rociar agua. El objetivo es empujar los hidrocarburos hacia barreras de contención y skimmers. Se debe tener cuidado de no mezclar los hidrocarburos en la columna de agua, donde pueden entrar en contacto y adherirse a sedimentos y, por lo tanto, volverse más difícil de eliminar.

Derrames en nieve y hielo

Puede resultar problemático localizar hidrocarburos debajo de nieve o hielo, y la única técnica para hacerlo es mediante la perforación de orificios a través del hielo. Se han investigado tecnologías de teledetección para encontrar hidrocarburos debajo del hielo, y se han identificado algunas técnicas, pero ninguna ha logrado llegar a la comunidad de respuesta aún.

Una vez localizados, los hidrocarburos en aguas en movimiento debajo del hielo se pueden recuperar cortando ranuras en el hielo o al insertar hojas de madera contrachapada entre el hielo a ángulos adecuados para desviar los hidrocarburos (al igual a como se realiza con las barreras de contención) hacia donde se pueda eliminar. Se pueden utilizar motosierras para cortar en el hielo, aunque se deben advertir los riesgos de seguridad al usar estas herramientas en condiciones adversas mientras se usa ropa térmica abultada.

Para obtener información adicional, consulte el sitio web de *Arctic Oil Spill Response Technology Joint Industry Programme* (IOGP, 2012).



Oskins, 2004

Abajo: una ranura cortada en el hielo que permite al hidrocarburo subir y fluir hacia un punto de recolección.

Absorbentes

Con frecuencia se utilizan absorbentes (materiales que pueden absorber o adsorber aceite) para recolectar hidrocarburos de superficies sólidas. Estos pueden ser el único método de recuperación necesario en el caso de derrames pequeños. Los hidrocarburos derramados en carreteras pueden ser muy resbaladizos y se deben remover antes de reabrir el acceso a la carretera. A menudo se utilizan partículas minerales (como arena, vermiculita, mezclas de arcilla) debido a que son de bajo costo y se pueden aplicar fácilmente y después recolectarse.

El uso de pacas de heno y otras barreras absorbentes es una técnica de recuperación viable, especialmente si solo se dispone de materiales naturales. Se pueden instalar cercas de malla metálica a través de canales estrechos y de movimiento lento para soportar y anclar los materiales absorbentes colocados en la orilla de aguas arriba para contener y absorber hidrocarburos flotantes mientras el agua sigue fluyendo a través de la barrera. Estas barreras no detienen el flujo de altos niveles de hidrocarburos, pero pueden adsorber hidrocarburos en pequeñas cantidades. Aunque más comúnmente se usa heno, también es posible sustituir otros materiales absorbentes. Un importante desafío operativo es la recuperación, la manipulación y la eliminación del absorbente impregnado de hidrocarburos. En ocasiones, la quema controlada *in situ* es una opción.



Sitio web de OSC de la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.

Trabajadores recuperan material absorbente que se ha utilizado para limpiar una carretera contaminada por hidrocarburos.



Sitio web de OSC de la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.



Sitio web de OSC de la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.

Arriba izquierda: heno utilizado para retener y absorber pequeñas cantidades de hidrocarburos.

Arriba derecha: el heno impregnado de hidrocarburos se elimina al quemarse *in situ*.

A menudo se utilizan absorbentes tradicionales para ayudar a contener y recuperar los hidrocarburos. Se pueden colocar fuera de los drenes y a lo largo de las barreras de contención para adsorber pequeñas cantidades de hidrocarburos. Pueden utilizarse excesivamente y crear un problema de recuperación y eliminación cuando quizá hubiera sido mejor usar un skimmer o una quema controlada *in situ*. Los absorbentes usados e impregnados de hidrocarburos generan residuos y generalmente se deben eliminar como residuos peligrosos. Se debe considerar con anticipación la logística para transportarlos hasta el sitio del derrame, usarlos, recuperarlos y, a continuación, removerlos del sitio.

Solidificadores

Los solidificadores son productos que se mezclan con los hidrocarburos y los inmovilizan. Constan de polímeros secos y granulares que se funden parcialmente al entrar en contacto con hidrocarburos del petróleo y actúan fijando o encapsulando los hidrocarburos. Los hidrocarburos pesados y viscosos y los hidrocarburos emulsionados no reaccionan bien debido a la baja penetración y al mezclado. Los fabricantes con frecuencia recomiendan dispersarlos al voleo sobre el hidrocarburo derramado en forma de polvo. Estos polvos pueden ser difíciles de recuperar en el agua, pero pueden ser más fáciles de implementar y recuperar en el caso de pequeños derrames en tierra o en superficies sólidas.

Los solidificadores también se pueden colocar en barreras desechables, almohadas, salchichas, etc. y desplegarse y recuperarse como absorbentes. Crean uniones más fuertes con los hidrocarburos que los absorbentes, y no filtran hidrocarburos como pueden hacer los absorbentes. Pueden eliminar lustres de hidrocarburos del agua. Es posible que existan regulaciones que restrinjan el uso de solidificadores, especialmente sueltos en forma de polvo.

Quema controlada *in situ*

Se han presentado varios casos de hidrocarburos derramados que se han incendiado y han dañado instalaciones y embarcaciones. Sin embargo, las quemaduras a propósito han tendido éxito al limitar la extensión de hidrocarburos derramados, eliminando con rapidez el hidrocarburo del agua, nieve o hielo y reduciendo así sus consecuencias desde una perspectiva de ABAN. Las quemaduras en tierra han sido exitosas y de uso rutinario en Norteamérica.

Generalmente, se consideran las quemaduras controladas cuando el acceso es limitado o cuando es necesario eliminar el hidrocarburo rápidamente. Es posible que no haya capacidad de introducir el equipo mecánico al sitio del derrame si, por ejemplo, el terreno es demasiado inclinado, hay demasiada vegetación o si se encuentra inundado. Aunque la limpieza mecánica puede requerir de un tiempo considerable, las quemaduras

controladas pueden eliminar grandes cantidades de hidrocarburos en unas pocas horas. El tiempo ahorrado puede ser crítico si se pronostican lluvias copiosas que podrían arrastrar el hidrocarburo a zonas más amplias o más sensibles. Otra consideración es la eliminación de los residuos. Si se generan grandes cantidades de residuos y/o si no hay disponibilidad de sitios de eliminación adecuados, la quema controlada in situ puede ser la mejor opción para eliminar el hidrocarburo.

Los humedales y otros medios ambientes sensibles son altamente susceptibles de sufrir daños por acciones de intrusión de los trabajadores de limpieza. Las condiciones de humedad pueden evitar la introducción del equipo al sitio y pueden volver más dañinas las acciones del personal de respuesta, pero la humedad protegerá las raíces de las plantas y el suelo del calor de una quema.

Al considerar el uso de una quema controlada, se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- **Seguridad:** se debe proteger al personal de respuesta y a la población de cualquier riesgo de expansión del fuego. Con frecuencia, los departamentos locales de bomberos están presentes para mojar la vegetación circundante y protegerla de la expansión del fuego más allá del hidrocarburo derramado.
- **Encendido:** los métodos preferidos son sencillos y seguros. Se han usado con éxito bengalas, lanzadores de bengalas, antorchas y quemadores de propano.
- **Humedad:** muchos ecosistemas son tolerantes al calor del fuego debido a que este forma parte de su ciclo de vida (por ejemplo, los humedales). Sin embargo, el calor de la combustión de los hidrocarburos puede ser más intenso que el nivel que estas plantas pueden tolerar. Por lo tanto, se prefieren altos niveles de humedad, en particular para proteger las raíces del estrés del calor y para limitar el riesgo de que el fuego se extienda más allá del área contaminada por hidrocarburos.
- **Estación:** en mayores latitudes, la quema de invierno a menudo provoca pocos daños medioambientales debido a que muchas plantas se encuentran en periodo de inactividad y podrían cubrirse con nieve. Las quemaduras en condiciones de fines del verano pueden provocar estrés en las plantas ya que aún están reuniendo reservas de alimento.
- **Condiciones climáticas:** el clima impredecible puede producir peligros relacionados con la seguridad en una quema controlada. Los preferidos son los vientos bajos y continuos sin amenaza de tormenta o frentes climáticos debido a que dichas condiciones reducen los riesgos de que el incendio se extienda. Las inversiones de la temperatura atmosférica pueden atrapar la columna de humo y no son deseables debido a que restringen la dispersión del humo
- **Recolección de residuos:** después de una quema, casi siempre quedan residuos de hidrocarburos o residuos impregnados de hidrocarburos. Si las cantidades son suficientes, los hidrocarburos no quemados se pueden recolectar y quemar. Los residuos de las quemaduras de hidrocarburos crudos pueden tener consistencias variables desde alquitranados hasta quebradizos; estos residuos se deben recolectar. En el agua, los hidrocarburos sujetos a quemaduras intensas pueden crear residuos que se hunden después de enfriarse, y puede ser inaceptable dejar estos residuos.



Agencia de Control de la Contaminación de Minnesota

Quema controlada in situ en una turbera; el polvo blanco es un retardante de incendios.

Abajo izquierda: la nieve y el hielo protegen este humedal de la exposición a los hidrocarburos y ayudan a controlar el fuego.

Abajo derecha: una gran columna de humo se levanta de la quema de un humedal.



NOAA



Michel, 2002

Limpieza/tratamiento de orillas

Evaluación de costas

Los estudios de evaluación de costas impregnadas de hidrocarburos, también conocidos como técnica de evaluación de limpieza de costas (SCAT, por sus siglas en inglés) son un componente crítico de una operación de respuesta. La información reunida por los equipos del estudio es utilizada por los gestores de la respuesta para determinar los objetivos, las prioridades, las restricciones y los criterios de valoración final, todos los cuales son fundamentales como apoyo de la planificación, la toma de decisiones y la implementación de un programa eficaz de respuesta para costas.

Los estudios de evaluación de costas impregnadas de hidrocarburos en medios ambientes acuáticos en tierra se llevan a cabo para:

- definir y documentar la magnitud y las características de la impregnación de hidrocarburos de la costa;
- identificar y documentar el tipo de costa y las características costeras de la zona afectada;
- desarrollar recomendaciones de criterios de valoración final y técnicas de tratamiento que ofrezcan un beneficio ambiental neto basado en datos científicos;
- ofrecer apoyo a lo largo del programa de tratamiento, de forma tal que el personal de operaciones de limpieza de la costa comprenda las expectativas y las preocupaciones de los gestores de la respuesta;
- proporcionar un proceso para la conclusión una vez que el tratamiento haya finalizado, e
- involucrar a los representantes adecuados para garantizar el consenso a lo largo de todo el programa de respuesta para costas.

Detalles adicionales acerca de la forma en que se desarrollan las técnicas de SCAT se ofrecen en la Guía de buenas prácticas acerca de estudios de evaluación de costas impregnadas de hidrocarburos (SCAT) de IPIECA-IOGP (IPIECA-IOGP, 2014). Los principios de SCAT se pueden aplicar a incidentes en costas o en agua dulce. Para facilitar la estandarización o un enfoque sistemático de evaluación y captura de datos en campo, se ha producido una serie de formularios para registrar los datos de hábitats en tierra (ORG, 2014).

Para una implementación exitosa de SCAT, es necesario un equipo exclusivo de personas familiarizadas con sus objetivos y su terminología. Este equipo debe estar totalmente integrado dentro de un equipo de gestión de incidentes para garantizar que sus datos se utilicen para apoyar el proceso de toma de decisiones.

Opciones de respuesta

Las técnicas de limpieza para riberas de ríos impregnadas de hidrocarburos y orillas en tierra comparten similitudes con las costas marinas (para obtener información acerca de las últimas, consulte la Guía de buenas prácticas acerca de las técnicas de limpieza de costas impregnadas de hidrocarburos de IPIECA-IOGP (IPIECA-IOGP, 2015a). En este contexto, el término «limpieza» se aplica de manera amplia e incluye varias opciones de lavado con agua, eliminación de hidrocarburos de manera manual y mecánica y la eliminación de la vegetación y escombros impregnados de hidrocarburos; es posible que elimine o no todo el hidrocarburo de la orilla. La magnitud de las operaciones de respuesta puede diferir para los derrames pequeños en tierra, para los cuales se requiere hacer ajustes en las técnicas de acuerdo con las circunstancias específicas de un derrame.

Aunque las mareas y las olas generalmente dominan la interacción de la costa marina y el hidrocarburo, son las olas en los lagos y el flujo del agua en los arroyos los que dominan las interacciones en las orillas de agua dulce y el hidrocarburo. La tendencia de los sistemas de agua dulce a ser más confinados que los medio ambientes marinos lleva a una menor dilución de los hidrocarburos en el agua y a una menor distribución. Como resultado, las concentraciones de hidrocarburos pueden ser mayores en los hábitats de agua dulce.



Remoción de hidrocarburos de un humedal contaminado con combustóleo pesado; para reducir el pisoteo se utilizan plataformas.

Muchos hábitats terrestres han sido modificados por la actividad humana, incluida la construcción urbana y suburbana, el desarrollo de instalaciones comerciales e industriales y terraformado agrícola. Como resultado, ha desaparecido el panorama original o este ha sido alterado sustancialmente. Estos factores pueden dar como resultado que se muestre menor preocupación por la sensibilidad más importante desde el punto de vista ecológico de esos hábitats a la exposición a hidrocarburos, y que se consideren aceptables técnicas de limpieza más agresivas.

Mientras que las costas marinas se clasifican de acuerdo con la zona mareal, los hábitats terrestres se clasifican de la siguiente manera:

- Las orillas de lagos se clasifican de acuerdo con la zona de rebaje por acción de las olas. Las zonas de rebaje son análogas a las zonas mareales en el mar, e incluyen el suprarrebaje, el sobrerrebaje, el rebaje inferior y la zona sumergida (hasta donde las raíces de las plantas dejan de crecer).
- Las zonas de las orillas de los ríos se clasifican de acuerdo con los niveles del agua e incluyen la contraorilla (bajo inundable), la orilla superior, la orilla inferior y la corriente media (barras o bajíos expuestos en el canal).

Los efectos de las mareas marinas generalmente crean líneas costeras más amplias que las zonas de rebaje en las orillas de agua dulce. En un entorno de agua dulce, una línea costera de un metro de ancho se consideraría amplia, mientras que en el mar, se consideraría angosta. Las orillas de agua dulce incluyen diversos bancos de fango, arcilla y otros sedimentos y líneas costeras con vegetación.

Las variaciones en el nivel del agua en un entorno marino son a menudo predecibles (por ejemplo, las causadas por las mareas) mientras que las variaciones en los niveles de agua dulce pueden ser impredecibles (por ejemplo, las causadas por eventos de tormentas y escurrimientos de la precipitación). Estos cambios impredecibles en los niveles del agua pueden afectar dramáticamente las operaciones de limpieza, así como la eliminación natural de los hidrocarburos. Los arroyos pequeños y las aguas poco profundas pueden impregnarse de hidrocarburos a través de todo el canal, lo que provoca la necesidad de limpiar todo el fondo del curso de agua de un banco al otro. Los efectos ecológicos de esta distribución de hidrocarburos se deben sopesar contra los posibles daños por la remoción manual y mecánica y la opción de dejar algo de hidrocarburos para que se degraden naturalmente.

Tabla 3 Un resumen de los efectos relativos de las técnicas de respuesta física para empleo en hábitats y orillas de agua dulce en ausencia de hidrocarburos derramados

Método de respuesta física	Medio ambiente acuático				Hábitat costero							
	Aguas abiertas	Lagos/ estanques pequeños	Ríos grandes	Ríos/ arroyos pequeños	Lecho de roca	Artificial	Arena	Orillas cubiertas de vegetación	Arena y grava	Grava	Fango	Humedales
Recuperación natural	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Barreas	B	B	B	B	-	-	-	-	-	-	-	-
Desnatado	B	B	B	B	-	-	-	-	-	-	-	-
Barreras/bermas	-	-	-	A	-	-	-	-	-	-	-	-
Guiado físico	B	B	B	B	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación/limpieza manual del hidrocarburo	B	A	B	M	B	B	B	A	M	M	A	A
Remoción mecánica	B	A	A	A	-	M	M	A	M	M	A	A
Absorbentes	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	M	M
Vacío	B	B	B	B	B	B	B	M	B	B	A	M
Remoción de escombros	-	B	B	B	B	B	B	B	B	B	M	M
Reprocesamiento del sedimento	-	A	-	A	-	-	M	A	M	M	A	A
Remoción de la vegetación	B	A	M	A	-	-	-	A	-	-	-	A
Quema controlada <i>in situ</i>	B	M	B	M	B	B	M	M	M	M	A	M
Inundación	-	-	-	-	B	B	B	B	M	B	B	B
Lavado a baja presión con agua fría	-	-	-	-	B	B	M	B	B	M	A	B
Lavado a alta presión con agua fría	-	-	-	-	B	B	A	A	A	A	A	A
Lavado a baja presión con agua caliente	-	-	-	-	M	B	A	A	M	M	A	A
Lavado a alta presión con agua caliente	-	-	-	-	M	B	A	A	A	A	A	A
Limpieza por vapor	-	-	-	-	M	B	A	A	M	M	A	A
Pulido con chorro de arena	-	-	-	-	A	M	-	-	-	-	-	-

B= Bajo M = Moderado A= Alto

Fuente: API-NOAA, 1994

Todas las técnicas de limpieza pueden ser intrusivas y pueden dañar hábitats, incluso si no hay hidrocarburos. Es preferible identificar las técnicas preferidas con anticipación al preparar los planes de contingencias para derrames de hidrocarburos y hay orientación disponible para ayudar a hacer estos juicios para los hábitats de agua dulce y las orillas asociadas. Durante una respuesta, se puede emplear un ABAN informal y rápido (ver página 15) para confirmar que se tomen las decisiones adecuadas respecto de la opción de técnicas de respuesta asegurando, por lo tanto, que dichas acciones sean operativamente viables. Un resumen de los efectos relativos de las técnicas de respuesta física para empleo en hábitats y orillas de agua dulce en la ausencia de hidrocarburos derramados se ofrece en la Tabla 3 de la página 26.

Lavado de superficie o agentes de limpieza de costas

Los agentes de limpieza de orillas son productos que aumentan la facilidad o la eficacia de la remoción de hidrocarburos al lavarse con agua. El hidrocarburo se lava o se moviliza para eliminarlo de una superficie sólida, se acorrala con barreras y se recolecta por skimmers o absorbentes. Estos productos están diseñados para usarse en hidrocarburos muy pesados sobre sustratos sólidos que no se pueden limpiar por lavado con agua simplemente y su uso no es una técnica de respuesta inicial. No funcionan bien en hábitats porosos como orillas de arena y ciénegas.

Muchos productos de limpieza están disponibles comercialmente para el fin de lavado de superficies, algunos de los cuales también son adecuados para uso doméstico. Sin embargo, solo algunos tienen baja toxicidad

- a) Escollera impregnada de hidrocarburos con barrera absorbente en el límite del agua.
- b) Rociado de limpiador en orillas.
- c) Lavado después de un tiempo de remojo.
- d) Escollera limpia.



Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.



Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.



Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.



Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.

acuática y evitan provocar que el hidrocarburo removido se disperse. Debido a que estos agentes son buenos limpiadores, algunos se utilizan para limpiar equipos de respuesta impregnados de hidrocarburos en las instalaciones de descontaminación.

Hay una larga historia de su uso por parte de personal de respuesta local, como departamentos de bomberos, para remover hidrocarburos rápidamente de carreteras y otras superficies sólidas. Su prioridad es reabrir rápidamente áreas pavimentadas para el uso seguro de la población. Sin embargo, se debe tener cuidado de impedir la expansión adicional del hidrocarburo movilizado o dispersado.

Los mejores productos son aquellos que tienen una baja toxicidad acuática a la vez que mantienen su eficacia. A menudo requieren tiempo de remojo para interactuar con el hidrocarburo antes de ser lavados con agua. Como resultado, no se pueden usar con éxito si hay olas o lluvia debido a que el agua arrastra el producto de la superficie impregnada antes de que tenga tiempo para interactuar con el hidrocarburo y movilizarlo.

Biodegradación

Aunque no es una técnica para respuesta a derrames para limitar la distribución de hidrocarburos y recuperarlos, las actividades de limpieza subsecuentes a largo plazo pueden incluir tareas de biorremediación. Los microorganismos que degradan los hidrocarburos existen en todos lados y necesitan oxígeno y nutrientes adecuados, principalmente nitrógeno y fósforo, para promover su crecimiento. En aguas interiores tranquilas con flujo limitado, como en algunos humedales, ciénegas, estanques y lagos, un mayor influjo de hidrocarburos puede superar a los microorganismos, y pueden limitarse el oxígeno y los nutrientes. La degradación microbiana de hidrocarburos derramados es más fácil y más rápida si los componentes del hidrocarburo son solubles en agua. Sin embargo, esto es atípico, debido a que la mayoría de los componentes del hidrocarburo son muy solubles en agua o pueden ser insolubles. Los componentes más solubles son los compuestos más ligeros que se encuentran en los productos refinados, hidrocarburos crudos muy ligeros y combustibles de etanol.

Si los componentes solubles (por ejemplo, los productos refinados) están disponibles para los microorganismos en grandes cantidades, su rápido crecimiento podría agotar el suministro de oxígeno disuelto en los pequeños cuerpos de agua y causar hipoxia, reduciendo su crecimiento y afectando otras especies acuáticas. Las reducciones extremas en el oxígeno disuelto pueden ocasionar la muerte de peces. Los estudios han demostrado que la adición de fertilizantes acelera la tasa de degradación si los nutrientes faltan; sin embargo, esto puede ocasionar eutrofización, incrementando por lo tanto la posibilidad de hipoxia.

La biodegradación no es una tecnología de respuesta nueva. Ocurre naturalmente, sin importar si es mejorada por la adición de nutrientes. La tasa de biodegradación depende de cuatro factores principales; nutrientes, oxígeno, temperatura ambiente, y el grado de contaminación local. La impregnación de hidrocarburos ligeros se puede degradar en un plazo de cuatro semanas o una temporada de crecimiento. Debido a que se requieren meses para degradar las capas espesas de hidrocarburos encallados, esta técnica no se considera una técnica de respuesta, sino más bien, un proceso en el que se puede confiar después de que la mayoría del hidrocarburo ha sido eliminado por otras técnicas de limpieza.

Puede ser difícil llegar a acuerdos en los criterios de valoración final de las actividades de limpieza, ya que los grupos de interés pueden tener la percepción inicial de que es necesario y adecuado remover todo el hidrocarburo mediante actividades de limpieza. Sin embargo, la capacidad del proceso natural de biodegradación para descomponer la mayoría de los compuestos del hidrocarburo es una consideración importante en el esquema conceptual del ABAN y se debe factorizar en el análisis junto con el daño potencial de otras operaciones de limpieza.

Hidrocarburos hundidos

Hay desafíos específicos que se deben enfrentar donde hidrocarburos muy densos se hunden en agua dulce. La identificación de hidrocarburos hundidos puede ser difícil ya que es probable que esté oculto a la vista. Se pueden realizar las predicciones iniciales de las áreas de deposición al estudiar el cuerpo de agua (batimetría) y la hidrología de su superficie de agua para determinar dónde pueden ocurrir las áreas naturales de deposición (por ejemplo, las acumulaciones de un meandro en un río o alrededor de las orillas de un lago, o en las depresiones del lecho de un arroyo). A esto le debe seguir un sondeo o un estudio en busca de hidrocarburos. En algunos casos, los cambios de temperatura o los factores estacionales pueden ocasionar la aparición de lustres, los cuales podrían ofrecer indicación de hidrocarburos hundidos. El uso de motas absorbentes (pompones) o esteras absorbentes atadas a un peso que se arrastran a lo largo del fondo también puede ser útil en presencia de hidrocarburos hundidos.

Las acciones de limpieza pueden incluir la agitación o aireación del lecho del río o lago para fomentar la liberación de hidrocarburos con la subsecuente recuperación del hidrocarburo liberado a medida que alcanza la superficie. También se debe considerar el dragado de los sedimentos impregnados de hidrocarburos. En todos los casos, es probable que el tratamiento de los hidrocarburos hundidos sea un proyecto a largo plazo más allá de la fase de emergencia de un incidente.



Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.

Bombeado de agua en el sedimento de un río para liberar hidrocarburos hundidos y expulsarlos a la superficie.

Resumen

Los derrames en los medio ambientes terrestres son generalmente mucho más pequeños en volumen, pero más frecuentes que los derrames en aguas marinas y sus costas. Los derrames en tierra no reciben el mismo grado de atención del público y los medios, en comparación con los derrames grandes costa afuera.

La respuesta a los derrames de hidrocarburos en medios ambientes acuáticos en tierra comparte principios similares a la respuesta a derrames en el mar, pero hay algunas diferencias significativas. Los derrames en tierra, incluso los derrames pequeños, a menudo afectan directamente a la población de una manera más directa que los derrames similares en el mar. También es más probable que los derrames en tierra involucren productos de hidrocarburos y eleven de inmediato las preocupaciones acerca de la salud debido no solo a la potencial proximidad a las comunidades, sino debido a temores específicos acerca de los vapores tóxicos y peligros de incendios. Pueden ocurrir derrames cerca de casas y negocios, a lo largo de carreteras y en ciudades y pueblos. Esta proximidad puede y a menudo debe conducir las prioridades de la respuesta, incluyendo las siguientes:

- evitar la exposición de los suministros de agua potable a los hidrocarburos;
- monitorear los vapores de hidrocarburos y columnas de humo en cuanto a la salud y la seguridad del personal de respuesta y de la población, y asegurar las zonas de exclusión operativa;
- evitar la exposición de ganado y mascotas al hidrocarburo, y
- limitar la alteración del tráfico acuático y realizar las disposiciones para la reubicación temporal de residentes y el cierre de negocios, según sea necesario.

Las actividades de respuesta, especialmente para derrames pequeños, pueden ser dirigidas y/o supervisadas por las autoridades locales únicamente. Una respuesta a derrames pequeños en tierra puede lograrse con unas cuantas personas de respuesta y a menudo se pueden realizar más rápidamente que los derrames marinos, ya que pueden afectarse áreas geográficas más pequeñas. Cuando los potenciales derrames de hidrocarburos en tierra se originan de instalaciones fijas u otros recursos, es viable comprometerse en una planificación detallada de contingencias para derrames de hidrocarburos basada en escenarios de derrames realistas, que conduzcan a una mejor comunicación y coordinación durante una respuesta.

La industria ha evaluado los derrames en tierra y las operaciones de respuesta asociadas y ha desarrollado orientación para las técnicas de respuesta las cuales representan el tipo de hidrocarburo y la sensibilidad del hábitat. El objetivo de esta guía es comunicar la selección de las técnicas de respuesta que sean tanto eficaces como que ofrezcan un beneficio medioambiental neto.

Lecturas adicionales

API-NOAA (1994). *Inland Oil Spills: Options for Minimizing Environmental Impacts of Freshwater Spill Response*. American Petroleum Institute and National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington DC, June 1994. http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/shoreline_countermeasures_freshwater.pdf

CEDRE (2009). *Use of Sorbents for Spill Response: Operational Guide*. Centre of Documentation, Research and Experimentation on Accidental Water Pollution, Brest, France. www.cedre.fr/en/publication/operational-guide/sorbent/sorbent.php

Energy Institute (2004). *Inland waters oil spill response: a guidance document incorporating the strategies and techniques for responding to inland surface water oil spills in the UK*. London, April 2004. www.energypublishing.org/publication/ei-technical-publications/environment/oil-spills/inland-waters-oil-spill-response-a-guidance-document-incorporating-the-strategies-and-techniques-for-responding-to-inland-surface-water-oil-spills-in-the-uk

IOGP (2012). Arctic Oil Spill Response Technology Joint Industry Programme (website). www.arcticresponsetechnology.org

IPIECA-IOGP (2012). *Oil spill responder health and safety*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 480. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2014). *A guide to oiled shoreline assessment (SCAT) surveys*. IPIECA-IOPG Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 504. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015). *Response strategy development using net environmental benefit analysis (NEBA)*. IPIECA-IOPG Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 527. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015a). *A guide to oiled shoreline clean-up techniques*. IPIECA-IOPG Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 521. <http://oilspillresponseproject.org>

ORG (2014). Inland SCAT Forms available for download at the 'Shoreline Cleanup Assessment Technique' website provided and maintained by Owens Response Group: www.shorelinescat.com/Inland.html

OSRL (2013). *Inland Operations Field Guide: An operational guide to the containment and recovery of oil spills in the inland environment*. Oil Spill Response Limited, Southampton, UK, September 2013. www.oilspillresponse.com/technical-development/technical-field-guides

Sergy, G. and Owens, E. H. (2011). 'Differences and Similarities in Freshwater and Marine Shoreline Oil Spill Response'. In *Proceedings of the International Oil Spill Conference*, March 2011, Vol. 2011, No. 1, pp. abs62. <http://ioscproceedings.org/doi/full/10.7901/2169-3358-2011-1-62>

Agradecimientos

El texto de esta guía fue preparado por David Fritz de HDR Inc y editado por Alexis Steen (ExxonMobil) y Peter Taylor (Petronia).

Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco.

IPIECA

IPIECA es la asociación de la industria global de hidrocarburos y del gas para cuestiones medioambientales y sociales. Desarrolla, comparte y fomenta las buenas prácticas y el conocimiento para ayudar a la industria a mejorar su desempeño medioambiental y social; y es el canal de comunicación principal que la industria tiene con las Naciones Unidas. A través de sus grupos de trabajo dirigidos por miembros y del liderazgo de sus directivos, IPIECA reúne la experiencia técnica colectiva de las compañías y asociaciones del petróleo y del gas. Su posición única dentro de la industria permite a sus miembros responder con eficacia a los principales asuntos medioambientales y sociales.

www.ipieca.org



IOGP representa a la industria procesadora de materias primas del petróleo y del gas ante organizaciones internacionales como la Organización Marítima Internacional, los convenios de mares regionales del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) y otros grupos que se encuentran bajo el auspicio de las Naciones Unidas. A nivel regional, IOGP es el representante de la industria ante la Comisión Europea y el Parlamento Europeo y la Comisión OSPAR para el Nordeste atlántico. Igualmente importante es el papel de IOGP en la elaboración de las mejores prácticas, especialmente en las áreas de salud, seguridad, medio ambiente y responsabilidad social.

www.iogp.org

