

Quema controlada in situ de hidrocarburos derramados

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

Level 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 de Londres

Level 14, City Tower, 40 Basinghall Street, Londres EC2V 5DE, Reino Unido

Teléfono: +44 (0)20 7633 0272 Fax: +44 (0)20 7633 2350

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 Sitio web: www.iogp.org

Informe de IOGP N.º 523

Fecha de publicación: 2016

© IPIECA-IOGP 2016 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.

Quema controlada in situ de hidrocarburos derramados

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 incidente en abril de 2010 con el control del pozo petrolífero en el Golfo de México.

La serie original de informes de IPIECA será retirada progresivamente a medida que se vayan publicando los diversos títulos de esta nueva serie de Guía de Buenas Prácticas durante 2014–2015.

Nota sobre las buenas prácticas

“Buenas prácticas” en el contexto del JIP 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	Acciones posteriores a la quema	25
Introducción	4	<i>Informes de resumen de la operación</i>	25
Aspectos generales de la quema in situ	6	<i>Estabilización de la emergencia</i>	26
La ciencia de la quema	6	<i>Observaciones posteriores a la quema y monitoreo de la recuperación</i>	26
Requisitos para el encendido y la quema	8	<i>Rehabilitación</i>	26
Toma de decisiones de la quema in situ	9	Residuos de la quema	27
Toma de decisiones usando el análisis de beneficio ambiental neto	9	Equipo para la quema in situ	29
Aprobaciones reglamentarias	10	Dispositivos de encendido	29
Riesgos para la salud humana y el medio ambiente	10	<i>Dispositivos de encendido suspendidos en helicópteros</i>	29
Viabilidad operativa para la quema in situ	12	<i>Plataformas de mano y portátiles para dispositivos de encendido</i>	29
<i>Comportamiento y propiedades del hidrocarburo</i>	12	<i>Dispositivos de encendido no comerciales</i>	30
<i>Hidrocarburos emulsionados y pesados</i>	13	Barreras resistentes al fuego	32
<i>Agentes tratantes</i>	13	Barreras convencionales	33
<i>Influencia de las condiciones medioambientales</i>	14	Embarcaciones de apoyo para la quema in situ en el agua	33
Peligros y consideraciones operativas	16	Aeronave de apoyo para la quema in situ	33
Derrames en tierra	16	Monitoreo operativo para la seguridad y el control de la quema	34
Derrames en el agua	17	Exposición del personal de respuesta al calor	34
<i>Cerca de la costa y en las costas</i>	17	Comportamiento y distribución de las emisiones de una quema in situ	34
<i>Manchas no contenidas en el agua</i>	18	<i>Materias particuladas</i>	35
Operational hazards and considerations	18	<i>Distancias de seguridad</i>	36
<i>Control del humo (manejo del humo)</i>	18	<i>Monitoreo y toma de muestras de las emisiones</i>	36
<i>Biota</i>	19	<i>Monitoreo operativo</i>	38
<i>Calentamiento del suelo</i>	19	Bibliografía	39
<i>Condiciones climáticas</i>	20	Apéndice 1: Estimación de la cantidad de los hidrocarburos incinerados y eficacia de la quema	42
Planificación de una quema	21	Apéndice 2: Implementación de barreras y configuraciones de la operación de remolque	44
<i>Equipo, embarcaciones y vehículos para la cuadrilla participante en la quema</i>	21	Implementación de barreras para la quema in situ	44
<i>Manejo del humo</i>	21	Configuraciones de la operación de remolque de la barrera de fuego	45
<i>Zona de evacuación y de seguridad</i>	22	Agradecimientos	47
<i>Cortafuegos</i>	22		
<i>Control del fuego</i>	23		
<i>Plan de encendido</i>	24		
Implementación de una quema	24		
<i>Reunión informativa previa a la quema</i>	24		
<i>Encendido</i>	24		
<i>Monitoreo de la quema</i>	25		
<i>Limpieza del sitio</i>	25		

Introducción

La quema in situ (ISB, por sus siglas en inglés) es la combustión o quema controlada en el sitio de los vapores de los hidrocarburos derramados. La quema in situ puede eliminar rápidamente los hidrocarburos de una superficie en tierra, nieve, hielo o agua, y su combustión genera principalmente CO₂ y agua. Con la quema in situ se puede reducir rápidamente el volumen de los hidrocarburos derramados y de este modo disminuir considerablemente la necesidad de recoger, almacenar y eliminar el hidrocarburo recuperado. Mediante la quema in situ también se puede acortar el tiempo total de respuesta, lo cual supone una ayuda en la recuperación medioambiental. Esta guía contiene información acerca de la quema in situ de hidrocarburos derramados, así como los aspectos científicos del proceso de quema y sus efectos. También ofrece información práctica acerca de los procedimientos y el equipo requerido para las operaciones de quema in situ.

La quema in situ es una opción de respuesta no mecánica, como lo es, por ejemplo, la aplicación de dispersantes en derrames de hidrocarburos. Sin embargo, en lugar de usar productos químicos para eliminar el hidrocarburo derramado, este es eliminado por la combustión de sus vapores de hidrocarburos. La mejor estrategia de limpieza de derrames probablemente involucra una combinación de todas las opciones de respuesta disponibles. Al combinar diferentes técnicas de limpieza, el objetivo debe ser encontrar la mezcla óptima de equipo, personal y técnicas que permita la protección medioambiental y reduzca los impactos potenciales.

- La quema in situ se puede utilizar para eliminar hidrocarburos derramados sobre superficies sólidas, suelo, hielo y nieve en tierra; nieve y hielo en el agua, o hielo en el mar y en el agua.
- Durante un derrame en el agua, la quema in situ se puede utilizar en aguas abiertas (en tierra o costa afuera).
- La quema se puede repetir en casos donde continúe la presencia de suficiente hidrocarburo.
- La quema in situ se puede utilizar junto con otras técnicas para limpiar las diferentes zonas de una mancha.

El encendido de los hidrocarburos volátiles se logra con facilidad, mientras que para los hidrocarburos más pesados se requiere el uso de un acelerante o promotor, como el diésel, para encender los vapores de hidrocarburos. Si no se producen suficientes vapores, el fuego no iniciará o se extinguirá fácilmente.

La cantidad de los vapores producidos depende de la cantidad de calor que se irradia hacia el hidrocarburo, lo que promueve la vaporización adicional. Si la mancha es demasiado delgada, una parte de este calor se conduce a través de la mancha y se pierde hacia la capa subyacente de agua. El calentamiento insuficiente de la mancha reduce las tasas de vaporización y disminuye las concentraciones de vapor hasta que, finalmente, las concentraciones son demasiado bajas para mantener la combustión. Los hidrocarburos demasiado emulsionados en agua pueden encenderse si se proporciona el suficiente calor para eliminar el agua y liberar los vapores del hidrocarburo. Al realizar una quema in situ, puede ser necesario contener los hidrocarburos en el agua, ya que la mancha de hidrocarburo debe ser lo suficientemente espesa para encenderse y mantener la combustión. Una vez encendido, el calor irradiado hacia la mancha es generalmente suficiente para permitir la combustión hasta un espesor del hidrocarburo de alrededor de 0.5 a 1 mm. La tasa de combustión del hidrocarburo depende en gran medida del tipo de hidrocarburo y su grado de meteorización.

La quema in situ ha demostrado ser una técnica exitosa en diversos hábitats. En tierra, la quema in situ ha incluido la quema de pantanos, vegetación y tundra impregnados de hidrocarburos. En hielo, la quema in situ también se ha practicado con éxito tanto en hielo sólido como fragmentado. En el agua, la quema in situ se ha demostrado en aguas abiertas, en medio ambientes cercanos a la costa, bahías protegidas y ríos. Si bien, los elementos esenciales para una quema in situ son los mismos, las tácticas varían dependiendo de los aspectos específicos del hábitat y las circunstancias del derrame. Por ejemplo:

- en tierra, la quema in situ puede implicar el uso de excavadoras y cargadores frontales para contener y aumentar el espesor del hidrocarburo derramado, o trincheras para hacer zanjas en las cuales se pueda acumular el hidrocarburo y facilitar la combustión;
- en nieve y hielo, la quema in situ puede no requerir de ninguna contención adicional, ya que la nieve o el hielo pueden servir de barrera natural;
- las grietas sobre hielo en el mar pueden ayudar a crear acumulaciones más espesas de hidrocarburo y también pueden contener el hidrocarburo una vez encendido; y
- en el agua, la quema in situ generalmente requiere el uso de embarcaciones para remolcar las barreras de fuego a velocidades convencionales, tanto para encontrar como para contener el hidrocarburo.

La quema de hidrocarburos en tierra o en humedales es una técnica que puede reducir el impacto medioambiental de los derrames de hidrocarburos. La quema de la vegetación es un método frecuente de proteger y mantener ciertos ecosistemas. Los factores importantes relacionados con la quema son el nivel de agua de los humedales y el contenido de humedad del suelo. La quema bajo ciertas circunstancias no afectará las raíces, por lo que la restauración es rápida.

La experiencia ha demostrado que se pueden realizar quemas con seguridad para el personal de respuesta, el público y el medio ambiente. Las distancias de alejamiento pueden evitar la exposición a los altos niveles de calor proveniente de una quema. Se crean cortafuegos para evitar que el fuego se extienda a otras ubicaciones.

En la Tabla 1 se resumen las principales ventajas y desventajas de la quema in situ. La principal ventaja es la capacidad de eliminar rápidamente grandes cantidades de hidrocarburos. La desventaja más evidente es la producción de columnas de humo oscuro que generan preocupación entre el público acerca de la estética y los peligros de las emisiones.

Tabla 1 *Ventajas y desventajas de la quema in situ*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ● Eliminación rápida del hidrocarburo ● Necesidad mínima de equipo ● Altas tasas de eficacia ● Eliminación de un menor volumen de desechos impregnados de hidrocarburos ● Se puede utilizar en casi cualquier hábitat y con la mayoría de los hidrocarburos 	<ul style="list-style-type: none"> ● Columna de humo negro (preocupación acerca de la estética y las emisiones) ● Riesgo de expansión del fuego o pérdida de control del fuego ● Puede ser necesaria la recuperación de residuos

La quema in situ puede eliminar rápidamente grandes cantidades de hidrocarburos derramados; esto puede evitar que los hidrocarburos se extiendan a otras zonas y reduce el riesgo de que un derrame llegue hasta nuevos hábitats, como la costa en el caso de derrames costa afuera. Además, la quema in situ se puede aplicar en zonas remotas donde no se pueden emplear otras técnicas debido a la falta de acceso o de infraestructura, por ejemplo, en el hielo.

Las quemas pueden producir materias particuladas (hollín). Las materias particuladas a nivel del suelo son motivo de preocupación para la salud, particularmente cuando se encuentra muy cerca del fuego y bajo la columna de humo. Se han estudiado muy ampliamente las concentraciones de estas emisiones durante una quema in situ y, generalmente, se ha encontrado que son menores a los niveles que pueden ser motivo de preocupación para la salud humana.

Aspectos generales de la quema in situ

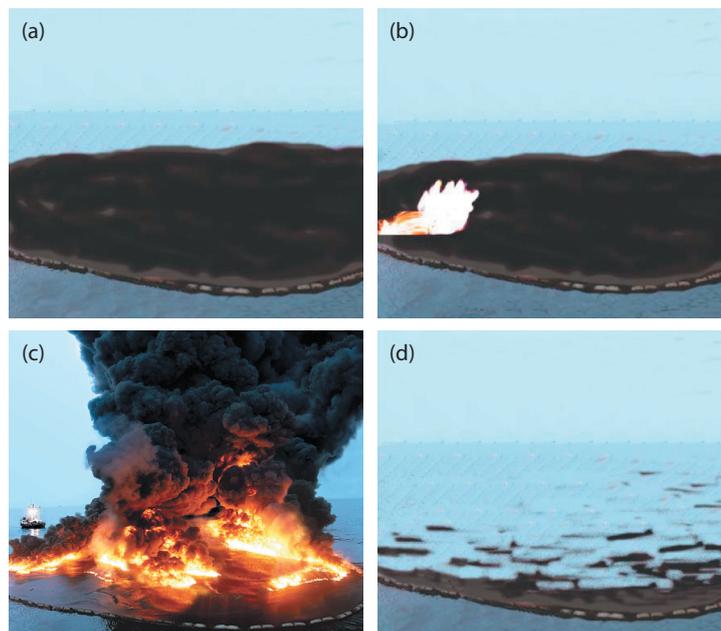
La ciencia de la quema

Los aspectos fundamentales de la quema in situ son similares a los de cualquier fuego, es decir, para que el hidrocarburo se encienda, se necesitan combustible, oxígeno y calor. En el caso de un derrame de hidrocarburos, los vapores de hidrocarburo proporcionan el combustible que promueve la combustión. Los hidrocarburos frescos generalmente se encienden una vez que se aplica una fuente de encendido. A medida que el vapor se quema, el calor provoca que se liberen más vapores, lo que se conoce como vaporización. El proceso de vaporización de hidrocarburos debe ser suficiente para producir una quema continua, en la cual las tasas de vaporización y de quema son relativamente iguales. La tasa de quema se limita por la cantidad de oxígeno disponible y el calor irradiado hacia el hidrocarburo. La tasa de quema también depende del tipo de hidrocarburo y su grado de meteorización, por ejemplo, por la evaporación. Si no hay suficientes vapores, el hidrocarburo no encenderá o una vez encendido, el fuego se extinguirá rápidamente. La cantidad de los vapores producidos depende de la cantidad de calor que se irradia hacia el hidrocarburo, que se estima entre el 2 y el 3% del calor producido. Los hidrocarburos crudos frescos deben tener al menos 1 mm de espesor para producir suficientes vapores que permitan el encendido sobre el agua, mientras que los hidrocarburos que han experimentado una meteorización extensa pueden necesitar un espesor de entre 2 y 5 mm. Los combustóleos pesados se deben contener para mantener el espesor de la mancha en alrededor de 10 mm antes de poder encenderse. Una vez encendido, el calor irradiado hacia la mancha será generalmente suficiente para permitir que la quema continúe hasta que la mancha de hidrocarburo tenga un espesor de alrededor de 2 a 3 mm. A medida que el espesor de la mancha disminuye, la capacidad aislante se debilita y se pierde más calor hacia los medios debajo de la mancha (por ejemplo, suelo o agua), para finalmente producir insuficiente calor para continuar vaporizando el hidrocarburo y mantener la combustión.

La investigación ha demostrado que virtualmente todos los hidrocarburos arden si la mancha es lo suficientemente espesa. Con frecuencia se usan barreras de contención para derrames de hidrocarburos y otros métodos de contención para aumentar el espesor de la mancha o para mantener el espesor requerido para la quema.

Los conceptos básicos de la quema in situ se ilustran en las siguientes fotografías y se resumen en la Tabla 2 de la página 7.

- (a) *Hidrocarburos recolectados y retenidos por una barrera resistente al fuego o dentro de una zona excluida.*
- (b) *Encendido: la flama aplicada al hidrocarburo crea vapor que se enciende.*
- (c) *La flama se extiende sobre la mancha y quema el hidrocarburo para reducirlo a un espesor de alrededor de 1 mm.*
- (d) *Cuando el vapor es insuficiente para mantener la combustión, el fuego se extingue.*



Elastec Inc.

Tabla 2 Preguntas y respuestas básicas acerca de la quema in situ

Ventajas	Desventajas
¿Qué se quema?	Los vapores del hidrocarburo derramado.
¿Cómo se desarrolla la quema?	El calor hace que el hidrocarburo derramado se evapore para encenderse, y si las concentraciones de vapor son lo suficientemente altas, se puede mantener la quema.
¿Qué proporción del calor se irradia hacia abajo?	Únicamente alrededor del 2% del calor producido se irradia hacia abajo y se disipa rápidamente en las aguas superficiales o en el suelo saturado.
¿Cuál es el espesor mínimo de la mancha que puede quemarse?	Esto depende del hidrocarburo, pero las mejores condiciones para una quema sostenida es un espesor mayor a 2-4 mm.
¿Cuál es el patrón típico de una quema?	Una vez encendido, las quemas continúan a favor del viento a lo largo de la mancha y reducen el espesor de la mancha a ~1 mm antes de que el fuego se extinga.
¿Cuál es la eficiencia esperada de eliminación del hidrocarburo?	Esto depende del espesor inicial de la mancha; puede ser superior al 90%.
¿Cuál es la velocidad típica de eliminación del hidrocarburo?	En un minuto, se puede eliminar una mancha con un espesor de 1 a 4 mm en una quema de una acumulación de hidrocarburo (mancha espesa).
¿Cuál es la tasa típica de eliminación del hidrocarburo, en volumen?	Se pueden eliminar de 2,000 a 5,000 litros por cada m ² de mancha al día. En el caso de manchas contenidas en el agua, la tasa de quema típica puede eliminar ~150 m ² de hidrocarburo derramado en una hora.
¿Con qué velocidad se extiende una flama?	En los hidrocarburos volátiles, las flamas se mueven rápidamente (0.1–0.2 m/s); a favor del viento, la velocidad se puede extender al doble, y alcanzarse velocidades de ~100 km/h.
¿Qué altura alcanzan las flamas?	La regla de oro es ~1.5 x diámetro del fuego.
¿Qué potencial de formación de hollín existe?	Esto es mayor cuando la tasa de vaporización supera la tasa de quema (es decir, combustión incompleta debido a limitación de O ₂).

Puede ser difícil encender los hidrocarburos meteorizados o emulsionados debido a que se requiere de mayor energía para eliminar el agua antes de que esta pueda calentar al hidrocarburo; la adición de un acelerante (por ejemplo, diésel) o un promotor puede, por lo tanto, ser necesaria para lograr el encendido. El remolque de barreras con hidrocarburo no emulsionado y emulsionado en una superficie de agua se puede quemar al encender primero la porción no emulsionada. El calor resultante de la quema del hidrocarburo emulsionado provoca que se libere el contenido de agua del hidrocarburo emulsionado y, finalmente, los vapores del hidrocarburo son suficientes para apoyar el encendido. Una vez encendidas, las mayorías de emulsiones de agua en aceite continúan ardiendo. La fotografía de la derecha muestra el progreso de una quema a medida que se extiende desde el hidrocarburo no emulsionado al emulsionado (en color rojo); esto finalmente provoca que ambos hidrocarburos se quemen simultáneamente.



Elastec Inc.

Una quema de hidrocarburo no emulsionado y emulsionado



Elastec Inc.

Un ejemplo de residuo resultante de una quema altamente eficaz de varias horas en el mar.

La combustión incompleta provoca que quede material después de que el fuego se ha extinguido. Esto se conoce como residuo de la quema. El residuo puede variar desde un material quebradizo, similar a caramelo macizo hasta uno líquido, similar al hidrocarburo original. Las quemaduras altamente efectivas de crudos pesados pueden provocar la formación de residuos densos que se hunden en la columna de agua. Las pequeñas cantidades de residuo presente después de una quema de este tipo en el agua (ver fotografía) representan generalmente < 0.1% del hidrocarburo quemado.

Requisitos para el encendido y la quema

En general, la mayoría de los hidrocarburos en el agua se queman si las manchas tienen un espesor mayor a 2-4 mm. En tierra o en humedales, la situación es similar, aunque los hidrocarburos con un espesor de 1 mm o menor pueden quemarse de manera sostenida sobre pastizales debido al calor de la combustión de los vegetales. Los hidrocarburos pesados requieren una pequeña cantidad de un iniciador (promotor o acelerante) como el diésel, para iniciar el encendido. Un promotor o acelerante se debe aplicar en unos cuantos puntos de la mancha que se consideren cercanos a la porción de mayor espesor o en esta. El encendido fácil del promotor o acelerante puede calentar el hidrocarburo subyacente e incrementar su tasa de vaporización y su potencial de encendido. Una vez encendidos, los hidrocarburos pesados arden bien, e incluso los hidrocarburos meteorizados se pueden descomponer y quemarse. La tabla 3 muestra las características del encendido de varios tipos de hidrocarburos. Estas características son independientes de si el hidrocarburo está en tierra o en el agua.

Tabla 3 Propiedades de la combustión de diferentes tipos de hidrocarburos

Hidrocarburo	Combustibilidad general ^a	Facilidad de encendido	Velocidad de expansión de la flama	Tasa de combustión ^b (mm/min)	Producción de hollín de la flama ^c	Eficacia ^d (%)
Gasolina	muy alta	muy fácil	muy rápida	4	media	95–99
Diésel	alta	fácil	moderada	3.5	muy alta	90–98
Crudo ligero	alta	fácil	moderada a rápida	3.5	alta	85–98
Crudo medio	moderada	fácil	moderada	3.5	medio	80–95
Crudo pesado	moderada	media	moderada	3	media	75–90
Meteorizado	moderada	añadir promotor	lenta	2.5 a 3	baja	60–90
Crudo con hielo	moderada	difícil, añadir promotor	lenta	2	media	50–90
Combustóleo ligero	moderada	difícil, añadir promotor	lenta	2.5	baja	50–80
Combustóleo pesado	moderada	añadir promotor	lenta	2 a 3	baja	60–90
Bitumen diluido (dilbit)	moderada	fácil cuando fresco	moderada	2 a 3	media	40–60
Dilbit meteorizado	moderada	añadir promotor	lenta	2 a 3	media	50–70
Petróleo emulsionado	baja	añadir promotor	lenta	2 a 3	baja	30–70
Bitumen	baja	añadir promotor	lenta	2 a 3	baja	30–50
Aceite usado	muy baja	añadir promotor	lenta	1 a 2	media	15–50

(a) La combustibilidad total es un reflejo general de la facilidad de encendido, mantenimiento de la combustión y su eficiencia de eliminación del hidrocarburo. (b) Únicamente tasas típicas. Para convertir tasas a litros/m²/hora, multiplicar por 60. (c) Una etiqueta descriptiva que refleje el grado de combustión y la cantidad de hollín en una columna de combustión (por lo tanto, la oscuridad o grado de producción de hollín de una columna de humo). (d) La eficiencia de una quema se estima aquí a partir de información histórica basada principalmente en las cantidades de residuo informadas.

Toma de decisiones de la quema in situ

Cuando se produce un derrame de hidrocarburos, se debe obtener información acerca de los diferentes factores que podrían influenciar la decisión de si se debe o no considerar la operación de una quema in situ. Dichos factores incluyen los requisitos reglamentarios, la seguridad, las propiedades del hidrocarburo, las condiciones medioambientales y climáticas, los recursos y la ubicación geográfica. En la Tabla 4 se enumeran las principales consideraciones.

Tabla 4 Factores para la selección de la quema como una opción de respuesta ante un derrame de hidrocarburos

Oportunidad	Viabilidad
¿Es adecuada la ubicación para la quema? <ul style="list-style-type: none"> ● Distancia de zonas pobladas ● Distancia de la quema de otros combustibles ● Distancia de la trayectoria de la columna de humo respecto de zonas de viviendas 	¿Es combustible el hidrocarburo? <ul style="list-style-type: none"> ● El hidrocarburo se puede quemar (<25–30% evaporado) ● El espesor del hidrocarburo es mayor que 2–3 mm ● Emulsificación: <20–25% agua
¿Es viable la quema, y puede realizarse con seguridad?	¿Cuál es el pronóstico del clima? <ul style="list-style-type: none"> ● Vientos <18 nudos para encendido/<20 nudos para una quema sostenida ● Si se requieren barreras, ¿son las olas <1 m de altura?
Legislación y reglamentación <ul style="list-style-type: none"> ● ¿Se pueden obtener los permisos necesarios? ● ¿Se pueden satisfacer las condiciones estipuladas? 	¿Hay disponibilidad de equipo?
¿Cuáles son los resultados de un análisis de beneficio ambiental neto (ABAN)?, es decir, ¿es la quema la mejor opción en este caso?	

Un análisis de la viabilidad de la quema in situ a menudo incluirá una evaluación de la ubicación geográfica y cualquier prohibición preexistente. Por ejemplo, las aprobaciones para una quema in situ pueden restringirse cuando se solicitan con mucha cercanía a:

- viviendas humanas; e
- instalaciones industriales con peligros de incendio, por ejemplo, instalaciones para carga, producción o exploración de petróleo, zonas designadas para prácticas de objetivos militares o zonas utilizadas previamente para desecho de municiones.

Las zonas sensibles como las costas las reservas naturales las colonias de aves o los parques nacionales o estatales/provinciales podrían ser de interés reglamentario; sin embargo, estas zonas a menudo siguen siendo buenos candidatos para la quema in situ si lo que se desea es una mínima intrusión y una rápida eliminación del hidrocarburo.

Toma de decisiones usando el análisis de beneficio ambiental neto

El proceso del análisis de beneficio ambiental neto (ABAN) puede ayudar a identificar las estrategias de respuesta adecuadas que dan como resultado el mínimo impacto general medioambiental y socioeconómico. El proceso del ABAN se utiliza para la planificación previa al derrame y para la toma de decisiones durante una respuesta. El ABAN toma en consideración y compara las ventajas y las desventajas de las distintas técnicas de respuesta ante derrames de hidrocarburos contra aquellas en caso de no tomarse ninguna acción de respuesta, tomando en cuenta las condiciones de la operación y la eficacia prevista de cada técnica y circunstancia de derrame real, incluida la ubicación. Ninguna técnica de respuesta es totalmente eficaz o libre de riesgos por sí misma. Es posible que cualquier operación de respuesta involucre una combinación de técnicas de respuesta, debido a lo siguiente:

- cada técnica de respuesta tiene distintas fortalezas y debilidades relacionadas con las circunstancias del derrame;
- las circunstancias del derrame cambian con el tiempo; y
- los derrames más grandes, con una mayor extensión espacial de manchas, pueden beneficiarse de distintas técnicas utilizadas simultáneamente en diferentes ubicaciones.

El ABAN se debe realizar con la participación de las agencias reglamentarias adecuadas y otros grupos de interés como parte de la planificación para contingencias (ver IPIECA-IOGP 2015).

Aprobaciones reglamentarias

La mayoría de los países aún no han establecido los procesos de aprobación para realizar una quema in situ. En los EE. UU., país que tiene las directrices reglamentarias y los procesos de aprobación más desarrollados para la quema in situ:

- La quema in situ está actualmente incluida en muchos planes de contingencia multiestatales y regionales, y el proceso para la obtención de la aprobación para realizar operaciones de quema in situ se ha definido relativamente bien en una base regional en virtud del Plan Nacional de Contingencias de los EE. UU.;
- la toma de decisiones de respuesta para la quema in situ refleja la magnitud de un derrame o la quema propuesta: derrames mayores involucran a más agencias, y las solicitudes de aprobación reciben mayor escrutinio; los derrames y quemados pequeños pueden ser gestionados por personal local de emergencia y combate de incendios; y
- las zonas aprobadas previamente para la toma de decisiones ágil se han identificado para el caso de las zonas costeras sobre una base regional.

A medida que más países buscan usar la quema in situ en las operaciones de respuesta ante derrames de hidrocarburos, se prevé que se desarrolle un proceso de aprobación, similar al proceso de aprobación para el uso de dispersantes, que implicaría la participación de gobiernos y grupos de interés. Muchos gobiernos estatales o provinciales ya cuentan con disposiciones para utilizar la quema recomendada para la gestión de la tierra, y estas disposiciones pueden incluir la quema in situ de hidrocarburos derramados.

En general, durante las operaciones de respuesta, a las agencias reglamentarias les preocupa más la seguridad operativa (es decir, el control del fuego y la seguridad del personal de respuesta) y la seguridad pública (es decir, el control del fuego y el potencial de efectos resultantes de las columnas de humo en la calidad del aire y la salud). Ver *Monitoreo operativo para la seguridad y el control de la quema* (página 34) para información sobre la seguridad. Algunas jurisdicciones han renunciado a los límites de la calidad del aire en casos especiales, como durante una emergencia.

Riesgos para la salud humana y el medio ambiente

Las principales preocupaciones de la salud se relacionan con las emisiones producidas por la quema in situ. Los datos indican que la combustión de hidrocarburos arroja principalmente CO₂ y agua a la atmósfera (hasta el 85% de las emisiones), partículas inertes de carbono, por ejemplo, hollín, que da el color a las columnas de humo (alrededor del 10%) y pequeñas cantidades de varios otros gases y HAP (compuestos aromáticos policíclicos, o compuestos orgánicos que contienen carbono e hidrógeno). De las partículas de hollín, la atención se centra principalmente en una clase de pequeñas materias particuladas, MP_{2,5} — las partículas de tamaño 2.5 µm (Figura 1).

Figura 1 *Tamaños relativos de las partículas*
(información basada en datos cortesía de
National Wildfire Coordination Group)



La inhalación de $MP_{2.5}$ podría ser una preocupación de salud para grupos vulnerables, como los ancianos, los muy jóvenes y quienes tienen la función pulmonar comprometida. Las preocupaciones de salud pública por las $MP_{2.5}$ se relacionan con la exposición a largo plazo más que a eventos de corta duración (por ejemplo, una quema); sin embargo, la exposición a cantidades suficientes puede producir irritación ocular, de la nariz, de la garganta y del tracto respiratorio, y puede agravar condiciones existentes como el asma. Estos efectos son generalmente temporales y se deben corregir tras el cese de la exposición.

Debe notarse que:

- los hidrocarburos se evaporarán de las manchas de derrames, independientemente si se queman o no;
- el monitoreo consistente de los datos muestra que las concentraciones de los componentes de la emisión declinan rápidamente a medida que aumenta la distancia de la quema; y
- los datos del monitoreo de los incendios de hidrocarburos de la guerra de Kuwait y el incidente del Deepwater Horizon no indican que las concentraciones de los componentes de las emisiones liberados de la quema sean de interés para la salud humana.

Los gases y emisiones a la atmósfera que pueden surgir de la quema in situ se describen en el Recuadro 1. Se ha mostrado interés en saber si la quema in situ genera dioxinas o dibenzofuranos. El análisis de las partículas precipitadas a favor del viento y de los residuos de varios incendios ha encontrado dioxinas y dibenzofuranos a niveles base, lo que indica que no se producen durante la quema in situ.

Recuadro 1 Gases y otras emisiones liberadas a la atmósfera resultantes de la quema in situ

- **Dióxido de carbono (CO_2):** El dióxido de carbono es el resultado final de la combustión y se produce durante la quema in situ. Los niveles atmosféricos normales son de aproximadamente 300 ppm (partes por millón) y los niveles cercanos al sitio de una quema pueden ser de alrededor de 500 ppm, los cuales no representan ningún daño a los humanos. Las concentraciones a nivel del suelo son generalmente mucho mayores que en la columna de humo.
Además de la liberación de CO_2 y agua (la cual constituye ~85% del contenido de la columna de humo), y materias particuladas (MP, hollín en la columna), una pequeña cantidad de otras emisiones de baja concentración se producen por la quema in situ.
- **Hidrocarburos poliaromáticos (HPA):** La concentración de HPA, tanto en la columna como en la precipitación de partículas a nivel del suelo, es a menudo de una magnitud menor que la concentración original de HPA en el hidrocarburo derramado. Esto incluye la concentración de HPA de anillo múltiple (5 o 6 anillos), que son destruidos por el fuego.
- **Compuestos orgánicos volátiles (COV):** Cuando el hidrocarburo se quema, estos compuestos se evaporan y se queman o liberan. La concentración de compuestos orgánicos volátiles en varias quemaduras de prueba fue relativamente baja comparada con una mancha que se evapora sin quemarse.
- **Carbonilos:** Las quemaduras de hidrocarburos producen pequeñas cantidades de materiales parcialmente oxidados, en ocasiones llamados carbonilos o, según sus principales componentes, aldehídos (formaldehído, acetaldehído, etc.) o cetonas (acetona, etc.). Los carbonilos provenientes de la quema de crudos se producen a concentraciones muy bajas, y se encuentran por debajo de los niveles de preocupación para la salud, incluso cerca del fuego.
- **Monóxido de carbono:** Los niveles de monóxido de carbono se encuentran generalmente a los mínimos niveles de detección o incluso más bajos y, por lo tanto, no plantean ningún peligro para los humanos. El gas solo se ha medido cuando una quema es ineficaz, como cuando se rocía agua al fuego.
- **Dióxido de azufre (SO_2):** Este generalmente no se detecta a niveles significativos y, en ocasiones, ni siquiera a niveles mensurables en una quema de hidrocarburos in situ. El SO_2 reacciona con el agua para producir ácido sulfúrico, el cual puede detectarse a niveles menores que el contenido de azufre del hidrocarburo derramado.
- **Otros gases:** se realizaron intentos de medir los óxidos de nitrógeno y otros gases permanentes. En varios experimentos, no se detectó ninguno.

Otros temas de inquietud relacionados con la quema in situ incluyen la posible calidad del agua y los efectos medioambientales (ver Tabla 5). La información de quemas y pruebas pasadas indica que la quema in situ tiene poco efecto en la calidad del agua. Los estudios han mostrado que ninguna cantidad mensurable del hidrocarburo se libera a la columna de agua durante la combustión. En los derrames en agua que no se queman, hay un mayor potencial de impacto en la calidad del agua. En los derrames en tierra y en las costas, la eliminación del hidrocarburo superficial es un resultado positivo, y los efectos del control del calor y el fuego se pueden abordar en la planificación y la ejecución. La distancia de las operaciones de quema in situ de los grupos vulnerables es un punto de control operativo clave para limitar cualquier posibilidad de exposición.

Tabla 5 Temas de preocupación relacionados con el uso de la quema in situ

Preocupación	Mitigación
Salud pública	<ul style="list-style-type: none"> Una quema debe realizarse a una distancia mayor a 1 km de cualquier vivienda del público general que se encuentre a favor del viento de la columna de humo de una quema, de forma que la exposición a las MP no exceda los límites.
	<ul style="list-style-type: none"> Una quema debe realizarse a una distancia mayor a 4 km de varias viviendas del público general que se encuentren a favor del viento de la columna de humo de una quema, para proporcionar tiempo suficiente para refugiarse en el lugar o para la evacuación temporal.
Calidad del aire	<ul style="list-style-type: none"> Pronostique las emisiones y las distancias de seguridad.
Calidad del agua	<ul style="list-style-type: none"> Los estudios muestran que los efectos son mínimos.
Efectos en la tierra	<ul style="list-style-type: none"> Dependen del hábitat y la temporada, pero se pueden adecuar por medio del diseño y la programación de la quema.
Efectos en las aves/animales	<ul style="list-style-type: none"> Dependen del hábitat y la temporada, pero se pueden adecuar por medio del diseño de la quema, el cronometraje y el ahuyentado.
Calentamiento de las capas superficiales del agua y el suelo	<ul style="list-style-type: none"> El agua es un fuerte disipador del calor. Los estudios han demostrado que las quemas tienen efectos mínimos en las aguas superficiales o en la temperatura del suelo.

Viabilidad operativa para la quema in situ

Hay varios puntos clave que se deben considerar al determinar la viabilidad operativa para la quema in situ. La seguridad del personal de respuesta debe ser siempre la máxima prioridad al evaluar la viabilidad de la quema in situ. Se requiere personal de respuesta capacitado, y se debe dar preferencia a quienes cuenten con experiencia en la utilización de la quema in situ. Se requiere el equipo adecuado necesario para el encendido y la contención. El personal de respuesta y el equipo deben estar listos y disponibles dentro del plazo de oportunidad para la quema in situ. Debe haber una estructura organizacional para garantizar la buena comunicación e información. Los roles incluyen "jefe de quema", "cuadrilla de encendido", equipo de control del fuego, etc. Las circunstancias del derrame (por ejemplo, el tipo, el comportamiento y las propiedades del hidrocarburo, la ubicación, las condiciones climáticas, etc.) influirán en la posibilidad del éxito de la quema, la estrategia y las tácticas de la quema.

Comportamiento y propiedades del hidrocarburo

Tan pronto como ocurra un derrame de hidrocarburos, estos empiezan a experimentar una serie de cambios en su estado, influidos por las condiciones en las cuales fueron derramados, lo que se conoce como "meteorización". La meteorización es la alteración de las propiedades físicas y químicas del hidrocarburo a través de procesos naturales, incluidos la expansión, la evaporación, la disolución, la fotooxidación, la emulsificación, la sedimentación y la biodegradación.

Se puede encontrar información adicional acerca del comportamiento y las propiedades de los hidrocarburos en el documento de información técnica de ITOPF, *Fate of Marine Oil Spills* (ver la *Bibliografía* en la página 39).

Para determinar si una quema in situ será viable para una mancha de hidrocarburos particular, es importante comprender la forma en que estos procesos cambian las propiedades del hidrocarburo particular derramado, y cómo, finalmente, afectarán la capacidad de encendido del hidrocarburo y mantener la combustión. La comprensión de las propiedades de un hidrocarburo en particular antes de un evento, por ejemplo, la tendencia del hidrocarburo a emulsificarse o la tasa de porcentaje de evaporación a diferentes temperaturas, agilizará el proceso de toma de decisiones durante un impacto.

Una propiedad clave del hidrocarburo es su volatilidad. Como regla, entre mayor sea el porcentaje de compuestos volátiles de un hidrocarburo, más fácilmente este se encenderá y continuará quemándose. La tasa de evaporación depende de la temperatura ambiente y la velocidad del viento. En general, los componentes del hidrocarburo con un punto de ebullición menores a los 200° C se evaporarán antes de 24 horas. Por lo tanto, puede ser difícil encender hidrocarburos meteorizados (debido a que los componentes más volátiles se habrán evaporado) y crudos pesados con menores contenidos de componentes volátiles. Pueden ser necesarias mayores temperaturas de encendido, la adición de promotores o aceleradores del fuego y/o mayores tiempos de exposición para el encendido.

Hidrocarburos emulsionados y pesados

En general, las emulsiones de hidrocarburos inestables se pueden encender y mantendrán la combustión a medida que la emulsión se rompe rápidamente durante el proceso de quema. Por lo contrario, las emulsiones de hidrocarburos estables son difíciles de encender debido a la gran cantidad de energía necesaria para calentar el agua (para que se evapore) y, a continuación, calentar el hidrocarburo derramado. Por lo tanto, se requiere energía adicional para evaporar el aceite de la emulsión antes de que la combustión se pueda mantener.

Las quemadas de prueba han mostrado que, una vez que se enciende el hidrocarburo emulsionado y que haya ardido el tiempo suficientemente largo, el calor de la quema descompondrá la emulsión y permitirá que la mancha continúe quemándose. El hidrocarburo emulsionado puede quemarse junto con el hidrocarburo no emulsionado, ya que el calor de la quema del hidrocarburo no emulsionado descompondrá la emulsión (ver fotografía en la página 7).

Los hidrocarburos pesados no contienen muchos hidrocarburos volátiles ligeros. Sin embargo, actualmente se acepta que los hidrocarburos pesados, que alguna vez se consideró que, de encenderse, tenían una mala combustión, arden bien en la mayoría de las circunstancias. Se han realizado pruebas de quema del bitumen (hidrocarburo muy pesado) junto con agua y muestran una tasa de combustión potencialmente útil. Los hidrocarburos pesados, como el Búnker C, se queman bastante bien. Las quemadas de hidrocarburos pesados producen bajas emisiones comparados con las quemadas de petróleo crudo y, en particular, menos compuestos volátiles y HPA se liberan al aire. Los residuos de las quemadas de hidrocarburos pesados son altamente viscosos, al enfriarse pueden ser sólidos e incluso vítreos en algunos casos.

Agentes tratantes

El uso de aditivos químicos (agentes tratantes) para promover el encendido, mejorar la combustión o ayudar al manejo del humo, se han investigado durante años. Estos agentes incluyen los rompedores de emulsiones, los agentes de unificación, los acelerantes o promotores de la combustión y los sorbentes (ver descripciones a continuación). Note que para el uso de únicamente sorbentes para la respuesta ante derrames de hidrocarburos, es posible que se requiera una aprobación previa por parte de la agencia/agencias gubernamentales designadas. Pocos están aprobados para usarse en este momento.

- **Los rompedores de emulsiones e inhibidores** se utilizan ya sea para romper las emulsiones de agua en aceite a medida que meteorizan o bien, para evitar la formación de emulsiones. No se han utilizado ampliamente en pruebas de campo y rara vez se utilizan en derrames en el agua o de oleoductos. No serían necesarios en derrames en tierra.
- **Los agentes aglutinantes** se han desarrollado y han sido probados para incrementar el espesor de las manchas de hidrocarburos de forma que las manchas sean lo suficientemente espesas para la quema. Las pruebas en exteriores en condiciones de presencia de hielo y en aguas abiertas muestran que los aglutinantes son eficaces para espesar las manchas. Los aglutinantes funcionan con mayor eficacia en condiciones tranquilas; los vientos superiores a 1.5 m/s o la presencia de olas podría abrumar su efecto espesante de las manchas.
- **El ferroceno** se ha utilizado en el combate de incendios forestales para reducir y eliminar la producción de hollín de las quemaduras. Las pruebas han mostrado que, al mezclarse con el hidrocarburo derramado, el ferroceno es altamente eficaz en dosis de 1 a 2%. Es más denso que el hidrocarburo y el agua, por lo que en derrames en el agua normalmente se mezcla previamente y se aplica justo antes de la quema; controlar el tiempo en dichas aplicaciones puede, por lo tanto, resultar difícil. El ferroceno se puede encapsular y flotar y, en este caso, se puede agregar a una quema en el agua después de encenderse, aunque actualmente esta no es una práctica establecida.
- **Los acelerantes o promotores** (iniciadores) son agentes que, cuando se aplican a determinados puntos de una mancha de hidrocarburo, están diseñados para proporcionar suficientes vapores de hidrocarburo para el encendido. Una vez encendido, el calor generado por la combustión del iniciador tiene como propósito incrementar la vaporización del hidrocarburo derramado y facilitar la quema continua.
- **Los sorbentes** como la turba han demostrado su utilidad al actuar como agentes de drenado para el hidrocarburo absorbido en los desechos y el suelo, y pueden incrementar la eliminación de hidrocarburos al encontrar y adquirir más hidrocarburo para quemar.

Influencia de las condiciones medioambientales

Las circunstancias del derrame y las condiciones de la predicción del clima pueden influir en la decisión de si se deben realizar o no las operaciones de quema in situ. Los siguientes son ejemplos de fenómenos climáticos específicos y sus posibles impactos en las operaciones de quema in situ:

- La velocidad del viento, las rachas y los cambios de dirección. Adicionalmente en derrames en el agua, la altura de las olas y la geometría y la corriente del agua pueden comprometer la seguridad y la eficacia de una operación de quema.
 - Los vientos fuertes pueden dificultar el encendido del hidrocarburo, o dificultar la quema o hacerla peligrosa de controlar. En general, el hidrocarburo se puede incendiar y quemar a velocidades del viento menores a los 10 m/s (< 18 nudos); sin embargo, se prefieren velocidades menores del viento (< 5 m/s y < 10 nudos) para el control del fuego.
 - Las pruebas en tanques han mostrado que a velocidades del viento mayores a los 15 m/s (> 30 nudos) las flamas no se propagan contra el viento. En virtud de la ubicación de la quema en una mancha, este efecto puede colaborar a controlar el fuego, o bien, restringir la eliminación del hidrocarburo.
 - A mayores velocidades del viento, la concentración de vapores se vuelve difícil de mantener, y las quemaduras se pueden extinguir.
- Las pruebas en tanques han mostrado que las temperaturas del aire de -11 a 23° C y las temperaturas del agua de -1 a 17° C no afectan la capacidad de combustión.
- La lluvia puede reducir la eficacia de una quema debido al efecto de enfriamiento de las gotas de agua, además de la posibilidad de irrupción de una mancha, lo que reduce la vaporización.
- En el caso de derrames en el agua, las condiciones de mar agitado pueden dificultar la contención del hidrocarburo para crear manchas más espesas necesarias para mantener las concentraciones de vapor adecuadas. Las olas mayores a 1 m de altura pueden debilitar la adecuación al oleaje de las barreras de confinamiento y llevar al fracaso.
- El hielo tiene un efecto mínimo en la capacidad de una mancha para arder en tierra. En el agua, el hielo puede amortiguar las olas y ayudar a contener una mancha, mejorando así la capacidad de quema.

- El agua, el hielo y la nieve en tierra pueden actuar como aislantes, protegiendo el suelo y las plantas de cualquier calor irradiado hacia abajo.

La quema se puede realizar de manera segura en la noche, si las propiedades de la mancha y las condiciones climáticas son bien conocidas. Hay ejemplos de quemas nocturnas realizadas con seguridad en derrames cerca de la costa y en pantanos. En estos casos, las concentraciones y la ubicación del hidrocarburo eran bien conocidas, y se tomaron las precauciones para asegurarse de que el fuego no se extendiera a las zonas circundantes. La quema nocturna es una opción relativamente segura para casos de derrames más espesos y no contenidos en el mar, especialmente si el derrame es costa afuera, se conoce bien su extensión y se desvía el tráfico de embarcaciones. Sin embargo, en la mayoría de las condiciones, el remolque de barreras durante la noche resultaría una operación insegura.

En los humedales, las quemas con éxito están bien documentadas y se dispone de información importante acerca de la protección de plantas de pantanos y la mejor época del año para realizar una quema. Por ejemplo:

- La inundación es una técnica útil para eliminar hidrocarburo de un humedal para la quema, a la vez que se protegen las raíces de las plantas y se incrementa el control del fuego. En ocasiones, la inundación se puede realizar al colocar una berma transversal a las zanjas de drenaje o al bombear agua hacia las zonas de mayor elevación. Se debe asegurar que el agua de inundación tenga una salinidad similar a la normalmente presente en el humedal, y que se restauren las condiciones de drenaje natural después de la quema.
- La quema se realiza mejor cuando un humedal está mojado y los suelos saturados, por ejemplo, en la primavera. Se ha observado que el suelo saturado de agua proporciona suficiente aislamiento contra el calor de una quema, de forma que la temperatura se mantiene por debajo de la que se sabe que afecta la biota del suelo y las raíces de las plantas. Un análisis ABAN ayuda al proceso de toma de decisiones en las estaciones o épocas secas del año.

En los períodos fríos de climas templados, en áreas alpinas o en el Ártico o la Antártida, el hielo y la nieve pueden actuar como una barrera natural para evitar la expansión del hidrocarburo derramado. El hielo y la nieve también actúan como una barrera contra la penetración del hidrocarburo al suelo y contra el calentamiento del suelo por la quema. Se han realizado muchas quemas en nieve impregnada de hidrocarburos, en hielo, o entre témpanos de hielo (ver fotografías a la derecha). Una gran parte de las primeras investigaciones sobre la quema in situ se realizó en Canadá para desarrollar una contramedida para los hidrocarburos derramados sobre hielo en el mar. Se pueden realizar quemas cuando el hidrocarburo está:

- contenido en condiciones de hielo comprimido (cobertura del banco de hielo de 7/10 o mayor);
- contenido en condiciones de hielo a la deriva y tiene el suficiente espesor para permitir la quema (cobertura del hielo a la deriva de 2/10 a 6/10);
- contenido en barreras resistentes al fuego (generalmente, en aguas abiertas y con cobertura de hielo de hasta 1/10);
- atrapado en témpanos o acumulado por el viento, y con el espesor suficiente para permitir la quema;
- contenido en acumulaciones derretidos o sobre capas de hielo; y
- contenido en fracturas o grietas abiertas en el hielo.



Environment Canada

Izquierda: quema de un derrame de hidrocarburos totalmente contenido por fragmentos de hielo.

Abajo: quema de hidrocarburo en una fractura de hielo después de un experimento de derrame.



Environment Canada

Aplicación de la quema in situ

Una ventaja importante de la quema in situ es que es una opción de respuesta útil tanto en tierra como en el agua, la nieve o el hielo. Esta sección describe la forma en que se aplica la quema in situ en cada medioambiente operativo.

Derrames en tierra

La quema de hidrocarburos en tierra es una técnica establecida y de mayor frecuencia de uso que en el agua. Las consideraciones especiales para la quema in situ en tierra incluyen las siguientes:

- El efecto del hidrocarburo y el calor sobre el suelo y la vegetación es una consideración de primordial importancia. Ciertos tipos de vegetación son muy sensibles al fuego, mientras que otros no lo son, o pueden depender del fuego.
- Se debe revisar y tomar en consideración el historial de quemaduras de una localidad (es decir, el uso de la quema in situ o de quemaduras recomendadas en el pasado). La historia del comportamiento del fuego y de la recuperación del hábitat es útil para ayudar a estimar los efectos del fuego y la recuperación a futuro. En muchos países se realizan con frecuencia quemaduras recomendadas para lograr o mantener un hábitat de vida silvestre (por ejemplo, pastizales, praderas o bosques) y para resolver cuestiones acerca de especies invasoras. Hay disponibles mucha literatura y conocimientos acerca de quemaduras recomendadas que se pueden utilizar como material de apoyo para una quema in situ en tierra.
- El impacto y los efectos posteriores a la exposición al calor del suelo superficial (incluidos las raíces de las plantas, los tubérculos y los microorganismos): esto se ve ampliamente influido por la humedad del suelo, la profundidad de la absorción del hidrocarburo y la intensidad del fuego. Si el fuego daña el suelo y las raíces, etc., la revegetación será proporcionalmente más lenta. El agua estancada y el suelo saturado deben ofrecer el aislamiento adecuado contra el calor.
- La cantidad de hidrocarburo que ha penetrado el suelo, y la profundidad de la penetración, antes y después del fuego propuesto: si hay poca penetración antes del fuego, mediante la quema se podrá eliminar mayor cantidad de hidrocarburo. En los hábitats de turbas, los derrames han sido una preocupación debido a observaciones de incendios en hábitats de turba seca que han sido difíciles de extinguir. Sin embargo, la turba saturada de agua no puede arder, por lo que los derrames en zonas de turba saturada podrían ser considerados para la quema in situ.

En términos de operaciones de quemaduras, muchas de las mismas consideraciones que se aplican a la quema en tierra podrían también aplicarse a la quema en el agua. Sin embargo, existen varias diferencias importantes:

- La facilidad de encendido y el espesor del hidrocarburo pueden no ser una preocupación importante si hay disponible material combustible (combustible vegetal) como el pasto seco. Para la quema donde hay plantas secas o madera, es cuestión de simplemente encender ese material.
- Los procedimientos para el control del fuego en tierra son distintos a los que se siguen en el agua. En primer lugar, se necesita un cortafuegos alrededor del perímetro del área de la quema propuesta. En ocasiones, las barreras naturales como los ríos, las carreteras, etc. pueden actuar como cortafuegos. Una vez que se ha establecido el cortafuegos, el encendido generalmente comienza en la posición a favor del viento para brindar mayor control, ya que es difícil que el fuego se extienda contra el viento. Una vez encendido, se debe monitorear el fuego, especialmente cerca de los cortafuegos.
- Debe disponerse de suficientes recursos para extinguir el fuego y para evitar la propagación del fuego sin control. Dichos recursos generalmente incluyen un camión para combate de incendios con personal capacitado. Después de que la quema principal se haya extinguido, se debe monitorear la ubicación durante varias horas hasta que los puntos calientes se hayan enfriado y no haya peligro de que se vuelvan a encender (llamaradas).
- Después de que la quema se haya extinguido totalmente, el monitoreo posterior debe incluir una inspección a pie de la zona y la recolección de muestras para análisis posterior, así como la observación directa de las capas superficiales. Los detalles que se deben registrar incluyen: (1) si el hidrocarburo se ha quemado totalmente; (2) si hay residuos de la quema que pudieran interferir con el recrecimiento de las plantas; (3) si el hidrocarburo ha penetrado el suelo; y/o (4) si queda hidrocarburo sin quemar que necesite tratamiento (y de ser así, si es posible quemar este hidrocarburo).

En los humedales, la creación de un cortafuegos puede plantear un problema, ya que la periferia a menudo contiene vegetación sensible. Dos métodos para crear cortafuegos en los humedales incluyen el uso de aerobotes para rebajar la vegetación y/o mojar la periferia alrededor de la vegetación impregnada de hidrocarburos.

Derrames en el agua

El proceso básico es el siguiente: (a) recoger el hidrocarburo detrás de una barrera de contención resistente al fuego; (b) tirar lentamente una barrera resistente al fuego en contra de la corriente del agua para empujar el hidrocarburo hacia el ápice de la barrera y aumentar el espesor del hidrocarburo; y (c) encender el hidrocarburo. En la mayoría de los casos, se implementa una barrera resistente al fuego a favor del viento en relación al derrame y se remolca. Cuando se ha reunido suficiente hidrocarburo en la barrera, se enciende de la forma que se muestra en la fotografía de la derecha. Si la quema se extingue debido a que no hay suficiente hidrocarburo en la barrera, la quema se puede reanudar al dirigir las embarcaciones y remolcar las barreras a favor del viento y, a continuación, girar hacia el viento antes de volver a encender. El control del fuego en el agua se puede lograr en una emergencia al liberar un extremo de una barrera o al incrementar la velocidad de remolque para provocar la falla de la barrera. Cualquiera de las acciones da como resultado un adelgazamiento rápido de la mancha de hidrocarburo, una disminución de la vaporización y una reducción de la quema.



Guardia Costera de los EE. UU.

Coordinación de embarcaciones entre el remolque, el encendido y el soporte durante una operación de quema en el agua.

La barrera normalmente permanece implementada hasta que el fuego se ha extinguido. El personal a bordo de aeronaves o embarcaciones mayores debe verificar con frecuencia la quema y el progreso de la operación de remolque.

Otra posible situación para las quemas en el agua es cuando el hidrocarburo se ha derramado sobre o entre el hielo del mar y se encapsula. De ser posible el acceso, el hidrocarburo volátil en una superficie se debe encender directamente con o sin el uso de un acelerante. Se han realizado quemas en varios tipos de condiciones del hielo en el mar que ofrecen una forma de contención (hielo fino, fragmentado, a la deriva y en bancos) (Buist, *et al.*, 2013). Si el hidrocarburo derramado se encapsula, no se podrá acceder al hidrocarburo hasta que el clima sea más cálido cuando, al derretirse el hielo, se formen canales y el hidrocarburo pueda transportarse hacia la superficie del hielo.

Cerca de la costa y en las costas

Las barreras como las costas, los rompeolas, los bancos de arena o el hielo en el mar pueden ayudar a contener el hidrocarburo para que se pueda quemar sin el uso de barreras de fuego. En estos hábitats, las costas pueden incluir acantilados, rocas, grava, muelles, rompeolas o pendientes arenosas. Si la mancha del hidrocarburo derramado es lo suficientemente espesa para liberar suficientes vapores para el encendido, y si otras circunstancias importantes promueven la combustión, una quema resultará viable. Debe haber una distancia de seguridad entre el hidrocarburo derramado y cualquier otro material combustible, como estructuras de madera y zonas de viviendas. En el Ártico, se han realizado quemas con éxito cerca de las costas, particularmente en casos donde el hidrocarburo es contenido por la costa. Si hay viento de tierra, el hidrocarburo se concentrará contra la costa, aumentando su espesor y promoviendo una quema duradera.

Puede haber casos en que el hidrocarburo encalle en la costa y resulte peligroso para el personal de respuesta el acceso para realizar las operaciones mecánicas de respuesta. La quema podría, por lo tanto, ser la única solución viable para la limpieza, debido a las menores necesidades logísticas y la posibilidad de encendido remoto. En estos lugares, los cortafuegos pueden componerse de la zona de oleaje y las áreas de la costa sin vegetación donde se han eliminado los desechos no impregnados de hidrocarburos. La ventana de oportunidad para la quema in situ es entre las mareas salientes y entrantes.

Manchas no contenidas en el agua

Pueden existir dos oportunidades para la quema de manchas no contenidas en el agua: (1) en zonas de convergencia; o (2) cuando las condiciones del derrame generan muchas manchas espesas en el agua. Las zonas de convergencia son fenómenos de superficie, desplazados a la deriva por los vientos que, de manera natural, recogen el hidrocarburo derramado en concentraciones de mayor espesor, las cuales es posible quemar. No es frecuente la quema controlada de las manchas no contenidas, pero en ocasiones es posible si la mancha tiene el espesor suficiente. Si una mancha de hidrocarburos es ya bastante espesa, puede ser aconsejable quemar todo lo que sea posible como una primera respuesta y, a continuación, usar las barreras de fuego para espesar los fragmentos restantes de la mancha para una segunda quema.

Al quemar una mancha sin control, el personal debe asegurarse de que no haya una conexión directa entre el hidrocarburo que se va a quemar y su fuente, para evitar que el fuego se extienda sin control. En el incidente del Macondo, una parte del hidrocarburo derramado fue encendido sin haberse contenido (ver fotografía a la izquierda). Estas quemas sin control incrementaron la cantidad de operaciones de quema que se realizaron y el volumen del hidrocarburo eliminado por la quema in situ.



Cuatro quemas no contenidas en el mar

Guardia Costera de los EE. UU.

Peligros y consideraciones operativas

En tierra, la quema de hidrocarburos puede implicar peligros que no se encuentran en las quemas en el mar. Por ejemplo, el mar actúa como una barrera entre las quemas mar afuera y la costa, ayudando a evitar la expansión del fuego sin control; en el caso de quemas en tierra, sin embargo, no hay una "brecha" entre el área de la quema y otros posibles objetos/tierra combustibles cercanos. Por lo tanto, al iniciar una quema en tierra, es necesario tomar precauciones especiales. Entre los peligros de la zona de la quema o cerca de esta que se deben considerar se incluyen los siguientes:

- otros combustibles no deseados;
- peligros físicos como escombros, alambres de púas, etc.;
- zonas de insuficiente firmeza, hoyos o pendientes pronunciadas; y
- zonas en que los vehículos pueden quedar embancados.

Control del humo (manejo del humo)

Los posibles efectos sobre la salud de la exposición a la columna de humo se deben abordar para determinar las mejores estrategias de quema. El tamaño y la trayectoria de las columnas de humo pueden verse influidas al aumentar el tamaño de los fuegos individuales, y la quema en diferentes direcciones del viento y en diferentes momentos del día. En términos generales, una distancia de seguridad para el público general es un mínimo de 1 km a favor del viento a partir del sitio de la quema (ver tabla 5 en la página 12) y se basa en la estimaciones conservadoras de dilución para las concentraciones de $MP_{2.5}$ hasta menos del límite de exposición en 24 horas de menos de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El mismo límite se aplica al personal de respuesta que trabaja en el sitio de la quema, aunque al usar el EPP adecuado, cualquier exposición debe ser mínima o no considerable.

Biota

Al responder a derrames de hidrocarburos, se deben prestar consideración a la biota que puede estar presente, ya sea que se realicen quemas o no, incluidas las siguientes:

- las aves, especialmente durante el período de anidación;
- las especies de plantas sensibles durante la temporada de crecimiento;
- los animales excavadores y anidadores cuando no están en inactividad;
- las especies migratorias y aquellas que usan la zona del derrame para pastar y alimentarse; y
- el impacto de las partículas de la columna de humo sobre los hábitats circundantes.

El uso del ABAN durante la planificación para contingencias ante derrames de hidrocarburos puede ayudar a evaluar factores como los mencionados anteriormente antes de la ocurrencia de un derrame. La eliminación rápida del hidrocarburo por medio de la quema in situ puede limitar o evitar la exposición al hidrocarburo.

La planificación de la quema debe tomar en cuenta lo siguiente:

- la vida silvestre local, por ejemplo se deben considerar las operaciones de ahuyentado;
- las especies protegidas, que se deben considerar durante el diseño y la ejecución de la quema; las especies protegidas pueden también requerir de personas especialmente capacitadas y con licencia.

Se debe reconocer que algunos hábitats terrestres requieren del fuego como parte de su ciclo vital, por ejemplo, algunas especies de pinos para su propagación, y muchos pastizales.

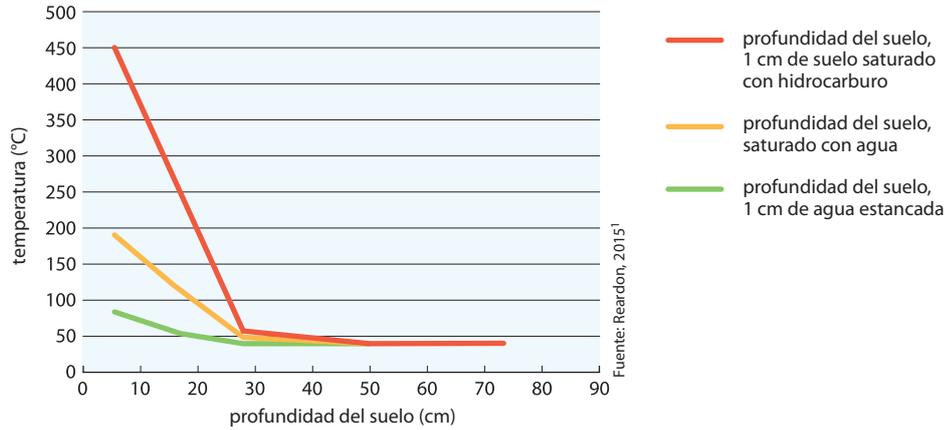
Calentamiento del suelo

El calentamiento del suelo tiene el potencial de afectar la vegetación por medio de cambios en las propiedades del suelo y dañar las estructuras subterráneas de las plantas, como las raíces y los tubérculos. Se prevé que se produzca daño y mortalidad de los microorganismos del suelo y las células vegetales a una temperatura superior a los 60° C. Además de la profundidad y el grado de calentamiento del suelo, los efectos del fuego en la vegetación también dependen de las propiedades de las diferentes especies, como la profundidad de sus raíces y la sensibilidad al calor. Para mejorar la capacidad de evaluar los posibles resultados de la quema in situ, hay información sobre los efectos en las plantas y los animales, y sobre los regímenes de fuegos de las comunidades de plantas en los EE. UU. que se encuentra disponible en el sistema de Información de los Efectos del Fuego (FEIS, por sus siglas en inglés) y que se puede aplicar a otros lugares con comunidades de plantas similares. La base de datos de FEIS está disponible en www.feis-crs.org/beta.

Las observaciones de intensa energía liberada por la combustión con llama de hidrocarburos del petróleo durante la quema in situ sugieren un calentamiento severo del suelo. Sin embargo, el calentamiento que resulta de la transferencia del calor desde la zona de la combustión con flama hacia el suelo subyacente se ve influido por varios factores entre los que se incluye la humedad del suelo. La investigación ha demostrado que un pequeño porcentaje de la energía total emitida durante una quema se transfiere hacia el suelo subyacente y que, cuando hay presencia de humedad del suelo, las temperaturas se limitan a menos de 100 °C hasta que la humedad se desplaza hacia afuera o se reduce en el perfil del suelo.

El resultado de las quemas de hidrocarburos en el laboratorio en núcleos de suelos demuestra los efectos del agua del suelo en la transferencia de calor hacia y entre el suelo (ver Figura 2 en la página 20). Las temperaturas máximas de la superficie del suelo fueron influidas por el nivel de saturación de agua; sin embargo, con excepción de las temperaturas resultantes de un tratamiento de suelo saturado con diésel, las temperaturas máximas del suelo a profundidades mayores a 2 cm fueron menores de 60° C debido al contenido de humedad del suelo. Los resultados apoyan el uso de la quema in situ realizada en una gama de altos niveles de humedad en el suelo.

Figura 2 Datos de quemas de hidrocarburos en laboratorio que muestran los efectos de la humedad del suelo en el calentamiento del suelo



Condiciones climáticas

Algunas condiciones climáticas pueden influir en la planificación y la ejecución de la quema debido a preocupaciones de seguridad y de exposición a $MP_{2.5}$, por ejemplo, una inversión en la temperatura del aire, actual o pronosticada, que restrinja la elevación de una columna de humo y la dilución de los componentes de la columna. La siguiente fotografía muestra los efectos de las condiciones de viento y de una inversión sobre una columna de humo que se trasladó lateralmente a lo largo del suelo por alrededor de un kilómetro.

Una columna de humo desplazándose a lo largo del suelo debido a vientos laterales y a una inversión de la temperatura.



Environment Canada

Otro ejemplo es cuando se pronostica que un frente climático se desplazará hacia el área de un derrame en las siguientes 12 horas; dicho fenómeno puede provocar cambios rápidos en el viento (velocidad y dirección) o precipitación. Dependiendo de la escala y la duración deseada de la quema, puede ser aconsejable realizar la quema antes del frente climático para eliminar las posibles complicaciones que surgen de la lluvia o la nieve en la mancha, el impacto de los vientos sobre el control del fuego y las preocupaciones acerca de la trayectorias de la columna de humo cerca de las poblaciones sensibles.

¹ Reardon, James, 2015. Guardabosques en el Laboratorio de incendios de los Servicios Forestales de los EE. UU. en Missoula, Montana. Comunicaciones personales acerca de los resultados de las quemas de núcleos de suelo realizadas por el Instituto Americano del Petróleo.

Planificación de una quema

Toda quema in situ debe ser precedida por la preparación y la aprobación de un plan de quema que describa, como mínimo, las circunstancias del derrame, las actividades de quema planificadas y las medidas de seguridad relevantes. Se puede preparar con anticipación un plan general o un plan modelo de la quema que contenga la mayor información que resulte práctica de la Tabla 6 para ayudar en la rápida preparación de un plan de quema específico para el impacto.

Tabla 6 Contenido del plan de quema genérico

Contenido general	Componentes del plan
Objetivo de la quema y resultados esperados	Plan de comunicaciones, incluidos los contactos en el departamento de local de control de incendios: <ul style="list-style-type: none"> ● personal clave de la agencia ● planes para avisos públicos
Descripción física y legal del sitio de la quema con mapas y fotografías: <ul style="list-style-type: none"> ● circunstancias del derrame y estado de meteorización del hidrocarburo ● peligros o preocupaciones en la zona de la quema ● vida silvestre de interés en la zona de la quema * 	
Asignaciones al equipo de respuesta e información de contacto	Plan de encendido
Equipos y suministros: <ul style="list-style-type: none"> ● encendido** y control del fuego ● vehículos / embarcaciones ● apoyo aéreo ● EPP ● herramientas para limpieza 	Plan de salud y seguridad, incluyendo: <ul style="list-style-type: none"> ● control/extinción del fuego (de ser necesario) ● plan de escape para el personal de respuesta con mapa(s) ● planes de evacuación para residentes cercanos ● normas de navegación para embarcaciones, y control de tráfico para ubicaciones en tierra
Diseño, ubicación y creación de cortafuegos, además de vigilancia perimetral	Una lista de verificación de criterios de decisión
Información sobre el manejo del humo y predicción de la trayectoria de la columna de humo	Plan de vigilancia y monitoreo
Fecha de preparación del plan y firma(s) de aprobación	Actividades posteriores a la quema: <ul style="list-style-type: none"> ● limpieza ● limpieza y recuperación de residuos

* Esto puede requerir la redacción y la utilización de unas "Mejores prácticas de manejo" (BPM, por sus siglas en inglés) para la vida/especies silvestres involucradas. Por ejemplo, ver: <https://awionline.org/sites/default/files/uploads/documents/govleg-bestpracticesseaturtles-102011.pdf>

** consultar ASTM F1990 - 07(2013): *Guía estándar para la quema in situ de hidrocarburos derramados: Dispositivos de encendido.*

Equipo, embarcaciones y vehículos para la cuadrilla participante en la quema

Se debe disponer de suficientes equipos, embarcaciones y/o vehículos para la cuadrilla de incendios de la quema in situ que les permita responder a cualquier impacto potencial, incluida la posibilidad de escape del fuego en varias direcciones. Durante una quema en tierra o en la costa, debe haber al menos dos personas en cada vehículo, y se deben monitorear sus movimientos desde una ubicación segura. Los miembros de las cuadrillas deben llevar palas, rastrillos y herramientas especiales de extinción. Después de finalizar la operación de extinción, la recuperación de residuos puede requerir de otras herramientas y contenedores para la recolección y la eliminación.

Manejo del humo

Se deben estimar y considerar los posibles impactos del humo. Se puede manejar el humo proveniente de una columna de quema reduciendo el tamaño de los fuegos, y realizando la quema en diferentes direcciones del viento y a diferentes momentos del día.

Zona de evacuación y de seguridad

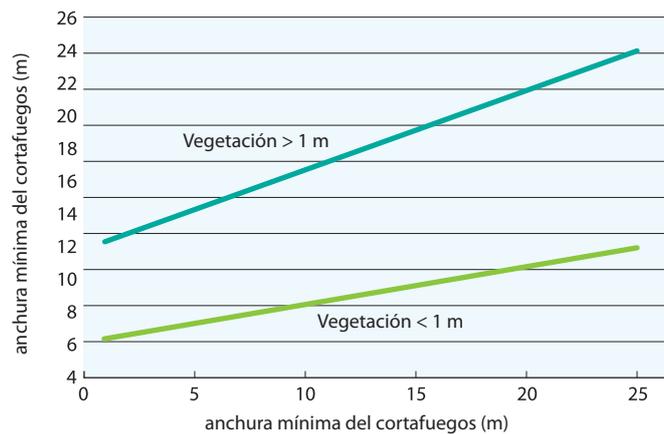
Como una medida de precaución, se debe identificar un plan de evacuación y las zonas de seguridad como apoyo para la posible evacuación de los miembros del público de las áreas circundantes al incendio planificado. El plan debe ser suficiente para cubrir el peor de los casos. Una regla de oro es que una zona de seguridad debe ser lo suficientemente grande para que la distancia entre el personal de control de incendios y las flamas sea de al menos cuatro veces la altura máxima de la flama. Otra regla de oro es que una zona de evacuación en el área a favor del viento debe tener un mínimo de 10 veces la longitud de la distancia a favor del viento del área del fuego, o un mínimo de 1.5 kilómetros (una milla). La distancia de evacuación en contra del viento es la longitud de la distancia a favor del viento de la zona de la quema. Antes de comenzar cualquier quema, se deben comunicar y explicar claramente la(s) zona(s) de evacuación a todo el personal que trabaja en la zona de la quema.

Cortafuegos

Se debe establecer un cortafuegos alrededor de cualquier quema en tierra o en la costa para proteger la zona circundante de una posible expansión del fuego. La amplitud y longitud de un cortafuegos depende del terreno, el viento, el suelo, la humedad de la vegetación y la altura de las plantas. La anchura mínima es de alrededor de 6 m (de 15 a 20 pies). En las operaciones en el agua, hay cortafuegos de facto, es decir, las distancias de retroceso (remolque) de las embarcaciones y la capacidad de liberación de las barreras flotantes.

En la Figura 3 se muestra la calculadora para estimar la anchura del cortafuegos para cortafuegos a favor del viento. Debido a que la anchura de un cortafuegos a favor del viento es mayor que la distancia mínima en contra del viento, la zona del fuego y sus cortafuegos formarán un cuadrilátero.

Figura 3 Anchura del cortafuegos frente a la velocidad del viento para las quemas



Existen varias situaciones y enfoques para crear un cortafuegos en tierra o en la costa, entre los que se incluyen:

- una zona ya quemada con poco o nada de hidrocarburos o vegetales combustibles;
- tierra podada y/o mojada;
- cambios naturales en la topografía (como los ríos);
- terreno labrado;
- carreteras; y
- construcción de un cortafuegos usando una excavadora, conformadora, etc.



Servicio de Parques Nacionales de los EE. UU.



Environment Canada

Izquierda: un cortafuegos creado al podar un campo, y la quema de un derrame de un oleoducto en el invierno donde una carretera cubierta de nieve proporciona un cortafuegos.

En los derrames en el agua, los cortafuegos son principalmente las distancias de retroceso de seguridad entre el par de embarcaciones que remolcan las barreras de fuego y cualquier embarcación adyacente.

Ver la página 39 de la *Bibliografía* para fuentes de información acerca de quemas en tierra y diseños de cortafuegos.

Control del fuego

Se deben asignar un plan y recursos para abordar la posibilidad de que un fuego pudiera escapar más allá del sitio de la quema planificada. Para las quemas en tierra y en la costa, esto puede incluir detalles de los recursos para el combate de incendios, el suministro para la eliminación de escombros no impregnados de hidrocarburos y el establecimiento de cortafuegos.

Una técnica empleada para quema en tierra es rociar o inundar con agua para mojar el sitio de la quema planificada. Esto también puede ayudar a elevar el hidrocarburo hacia la superficie del suelo para la eliminación o quema.

Para las quemas en el agua, el medio más común de control del fuego es la liberación de un extremo de una barrera remolcada para permitir que la mancha se extienda y se adelgace y, al hacerlo, reducir la concentración de vapores inflamables. Otra opción es provocar la falla de la barrera para lograr el mismo efecto (por ejemplo, al incrementar la velocidad de remolque). Una opción para efectos a menor escala es que la embarcación se aproxime rápidamente cerca de la barrera y la mancha ardiendo de forma que la ola de la proa irrumpa la mancha adyacente y la continuidad de la quema.



Servicio de Parques Nacionales de los EE. UU.



Agencia de Control de la Contaminación de Minnesota

Extremo izquierdo: un camión cisterna de agua está listo para ofrecer control del fuego.

Izquierda: rociado aéreo de retardante de fuego antes de una quema en tierra.



Uso de una antorcha de goteo para encender una quema recomendada.

Servicio de Parques Nacionales de los EE. UU.

Plan de encendido

El plan de encendido debe describir el(los) plan(es) de encendido, el equipo de encendido, el acceso al sitio, la línea de encendido y la ubicación, las zonas de seguridad y el tiempo y la tasa a la cual se debe realizar el encendido. Los artículos anteriores se aplican a quemas en tierra, en la costa y en el agua. La dirección de la aproximación para el encendido será influida por el viento y la dirección de la corriente, si es en el agua, mientras que en tierra será influido por el viento, la inclinación del terreno y la vegetación. La antorcha de goteo es el método de encendido utilizado con mayor frecuencia en quemas en tierra (ver fotografía a la izquierda). Una bengala unida a un contenedor de combustible en gel es el método de encendido utilizado con mayor frecuencia en quemas en el agua.

Implementación de una quema

La realización de operaciones de quema in situ debe cumplir los requisitos reglamentarios. Diferentes niveles de gobiernos pueden ya contar con procedimientos para la aprobación de quemas recomendadas. Un plan de quema in situ y su ejecución se debe coordinar con, o vincularse a, los planes de quemas recomendados pertinentes de una jurisdicción particular.

Reunión informativa previa a la quema

Antes de cualquier quema, debe haber una reunión informativa para el personal de respuesta en el campo. El objetivo de dichas reuniones informativas es proporcionar la información más reciente acerca del estado del clima, el estado del derrame y los planes de encendido, además de los comunicados y los recordatorios de emergencia.



Servicio de Parques Nacionales de los EE. UU.

Encendido

Tras la señal del “jefe de quema”, la cuadrilla de encendido empezará su tarea de aplicar una fuente de calor a una mancha de hidrocarburos para iniciar la quema. Las siguientes fotografías muestran el encendido de un derrame en el agua (izquierda) y de un derrame en tierra (derecha). Las emulsiones estables pueden ser muy difíciles de encender debido a que el agua en el aceite actúa como un disipador del calor; por lo tanto, se necesita una mayor cantidad de energía para calentar y evaporar el hidrocarburo antes de que la quema se pueda sostener.

Derecha: ejemplo de un dispositivo de encendido de mano usando una bengala marina, diésel y un agente gelificante.

Extremo derecho: la punta de una bengala se usa para encender el hidrocarburo a medida que se calienta el suelo congelado.



Elastec Inc.



Servicio de Parques Nacionales de los EE. UU.

Monitoreo de la quema

Se debe monitorear visualmente el fuego y con el uso de monitores de partículas correspondientes a la escala del derrame y la quema, y las condiciones climáticas. Las fotografías que incluyen usando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por su siglas en inglés), e indicando la hora son útiles para documentar el progreso de las operaciones de quema. Se debe patrullar alrededor de los cortafuegos, con la precaución adecuada, para evaluar el control del fuego. El monitoreo de las quemas en tierra se puede realizar en vehículos o desde aeronaves. El monitoreo de quemas en el agua se puede realizar en vehículos o desde aeronaves. Los monitores de partículas pueden ser fijos o móviles o al nivel de suelo/columna. Ver *Monitoreo operativo para la seguridad y el control de la quema* en la página 34.

Extinción de las flamas restantes después de la quema, durante las operaciones de limpieza.

Limpieza del sitio

Después de una quema, se realiza una verificación y limpieza del sitio de la quema. Esto incluye mojar cualquier punto de fuego latente o sitios de llamaradas. Cualquier residuo de quema de hidrocarburos pesados que se considere que tiene el potencial de suprimir la futura revegetación se debe anotar para atención posterior a la quema. Este paso es más importante para quemas en tierra y en la costa debido al potencial de reactivación del fuego de combustibles vegetales aun ardiendo o en fuego latente y puntos de hidrocarburo restante.



Servicio de Parques Nacionales de los EE. UU.

Acciones posteriores a la quema

Es posible que se realicen varias actividades, de requerirse, después de la conclusión de las operaciones de quema en una respuesta ante un derrame de hidrocarburos. Entre estas, las más importantes son el informe, la estabilización del sitio de la emergencia, el monitoreo posterior a la quema para la recuperación del hábitat y la ayuda para la recuperación a través de la rehabilitación.

Ejemplo de documentación fotográfica de un sitio de quema.

Informes de resumen de la operación

Los reportes de resumen son una estipulación de la mayoría de los planes de quema, y se deben proporcionar a la agencia o agencias gubernamentales aprobatorias. Dichos reportes contienen un resumen de las condiciones del sitio previas a la quema, la documentación de la ejecución de la quema, las estimaciones de la eliminación del hidrocarburo, las observaciones del comportamiento del fuego (de especial interés para las quemas en tierra y en la costa), y los detalles de cualquier pérdida de control del fuego y las acciones adecuadas para retomar el control. A menudo, los reportes de resumen de la operación se acompañan de documentación fotográfica. Por ejemplo, en la fotografía de la derecha, la zona impregnada de hidrocarburos resultante del derrame de un oleoducto está resaltada en amarillo, y el trayecto del oleoducto está indicado en rojo. El detalle del informe de resumen de una quema debe reflejar la escala de un derrame y la complejidad de la quema.



Jacqui Michel, RPI

Estabilización de la emergencia

La estabilización de la emergencia después de una quema en tierra o en la costa implica cualquier acción de restauración inmediata que puede ser necesaria para asegurarse de que en la zona de la quema existe el mínimo impacto a los patrones del drenaje, las condiciones del suelo y la vegetación. Esta actividad se relaciona únicamente con las necesidades a corto plazo para estabilizar la tierra o la costa, hasta que se realice la restauración adicional o hasta que la zona se recupere naturalmente. Este paso no se aplica a las quemas en el agua.

Observaciones posteriores a la quema y monitoreo de la recuperación

Dependiendo de la escala de un derrame y la subsecuente quema en tierra o en la costa, la zona de la quema se debe monitorear para asegurar la eficacia de la eliminación del hidrocarburo y para observar el progreso en la revegetación y el restablecimiento del hábitat dentro de un tiempo acordado después de la finalización de la quema. Se recomienda visitar periódicamente el sitio para asegurar y documentar la recuperación. Si el restablecimiento de una zona es lento, se puede optar por la siembra u otras formas de recuperación.

En el agua, las observaciones posteriores a la quema se centran principalmente en estimar el grado de eliminación del hidrocarburo y determinar la factibilidad de la recuperación de cualquier residuo.

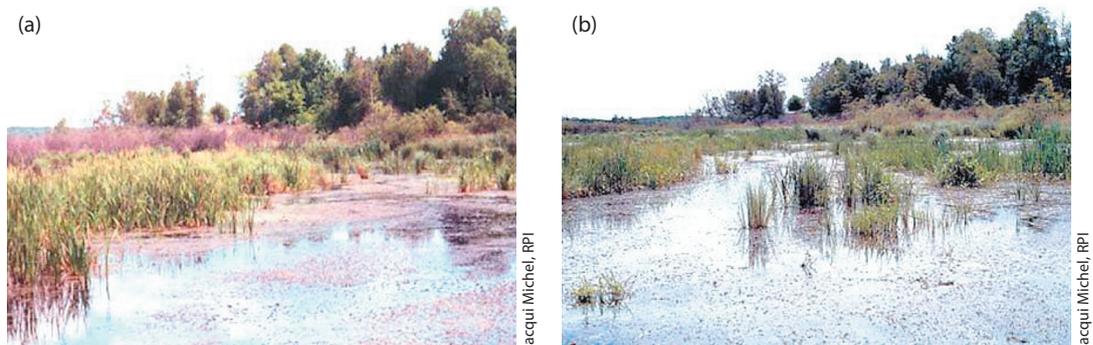
Rehabilitación

La rehabilitación es una actividad a mayor plazo para facilitar la restauración de una zona de quema en tierra o en la costa, la cual se puede acordar en un plan de quema o posteriormente (hasta tres o incluso cinco años). Esto incluye restaurar la vegetación y los patrones del suelo o el drenaje sobre una base a mayor plazo, por ejemplo, mediante la siembra, adición de acondicionadores del suelo, modificación de los patrones de drenaje, etc. Este paso no se aplica a las quemas en el agua.

Se debe supervisar la zona de la quema en búsqueda de cualquier residuo denso que cubra zonas de vegetación. Si se encuentra un residuo que pudiera inhibir la recuperación de la vegetación, se debe tratar, recuperar o labrar. Pueden ser deseables las correcciones al suelo y la resiembra.

Las fotografías siguientes y en la página 27 muestran las situaciones antes de una quema, y posteriormente o durante el monitoreo posterior a la recuperación subsecuente a un derrame, en tres diferentes localidades.

Derecha: (a) la vegetación en un pantano antes de una quema; y (b) la vegetación en el mismo pantano un año después de la quema.





NOAA



NOAA

Izquierda: (a) vista aérea de un derrame en un pantano resultante de la inundación de una laguna de decantación; y (b) una vista aérea de una quema en el mismo pantano.



NOAA



NOAA

Izquierda: (a) la superficie de un pantano a medida que la quema se extingue; y (b) la superficie del mismo pantano tres semanas después de la quema.

Residuos de la quema

El residuo de una quema consiste en hidrocarburo parcialmente quemado, hidrocarburo sin las fracciones volátiles u hollín precipitado. Tiene una apariencia similar al hidrocarburo meteorizado del mismo tipo y es generalmente viscoso y denso (ver ejemplo a continuación). El hidrocarburo no quemado no se considera residuo. El residuo en la fotografía de la derecha se estimó en alrededor de 20 kg o alrededor de 0.05% de la cantidad del hidrocarburo original.

La densidad del residuo de una quema depende de cuán pesado era el hidrocarburo original y la exhaustividad de la quema. Una quema eficaz de un crudo pesado en el agua producirá un residuo denso que podría hundirse y amenazar con sofocar a las especies bentónicas. Sin embargo, el hundimiento es raro y únicamente se ha registrado en unas cuantas quemas en todo el mundo. Los resultados de varias pruebas han demostrado que el residuo de la quema es menos tóxico para la biota acuática que los hidrocarburos meteorizados.



NOAA



Environment Canada

Extremo izquierdo: residuo de una quema de combustóleo en la nieve y el hielo.

Izquierda: residuo en el ápice de la barrera después de una quema de 50 toneladas.

La decisión de recuperar el residuo de forma mecánica o dejarlo para que se degrade naturalmente depende de la cantidad de residuo, si es lo suficientemente denso para hundirse (si la quema in situ se realizó en el agua), y a dónde se espera que se dirija, en caso de no recuperarse. Otras consideraciones incluyen la disponibilidad inmediata de equipo y personal, debido a que estos podrían ya haberse implementado en otros esfuerzos de recuperación, y las condiciones para las operaciones seguras de recuperación de residuos. Las consideraciones para la recuperación de residuos pueden ser parte del proceso general de toma de decisiones para una quema in situ utilizando el ABAN.

Las opciones para la recuperación del residuo de quema incluyen las siguientes:

- Dependiendo de la cantidad, el residuo podría recuperarse mecánicamente o transferirse usando un sistema de succión a vacío o una bomba sumergible, o transferirse manualmente con palas y cubetas.
- En el agua, una opción es acumular el residuo de hidrocarburo en una sola área usando bombas o mangueras de agua desplegadas desde un bote pequeño. Una vez acumulado, es posible volver a encender el residuo o encenderlo junto con el hidrocarburo recién recolectado para reducir aún más el volumen a recuperarse.
- El residuo en el agua también se puede recolectar en una barrera de respaldo, y recuperarse usando sorbentes o desnatadores adecuados para hidrocarburos pesados.
- En tierra, el residuo es más fácil de recuperar usando medios mecánicos. En hábitats sensibles al pisoteo (por ejemplo, humedales), puede ser preferible dejar los residuos en el sitio después de las quemaduras.

Es posible que permanezca hidrocarburo sin quemarse después de una quema y, si está presente en un espesor y cantidad suficiente para promover el encendido, este hidrocarburo podría ser quemado posteriormente.

Equipo para la quema in situ

Para una quema in situ, se requieren dos tipos principales de equipos: un sistema de encendido (es decir, el dispositivo en sí, junto con un transporte o lanzador asociado, si es aplicable) y, para los derrames en el agua, una barrera de contención.

Dispositivos de encendido

Se ha utilizado una variedad de dispositivos de encendido para encender las manchas de hidrocarburos. Muchos de los métodos utilizados son modificaciones de dispositivos de encendido utilizados para otros fines. En general, los dispositivos de encendido deben cumplir dos criterios básicos:

1. Deben ser seguros de usar.
2. Deben poder producir suficiente calor para encender los vapores de una mancha.

Dispositivos de encendido suspendidos en helicópteros

En ocasiones se utilizan helicópteros para transportar los dispositivos de encendido. A menudo se conocen como "heliantorchas", estos dispositivos suspendidos dispensan paquetes de combustible en gel ardiendo. Este tipo de dispositivo de encendido fue diseñado para el sector forestal y se ha usado ampliamente para el combate de incendios forestales. Se recomienda capacitación especial para los pilotos que manejan las heliantorchas. A continuación, se muestran dos sistemas basados en helicóptero.



Clean Caribbean and Americas



OSRL

Extremo izquierdo: un helicóptero con un tanque de antorcha vacío retirado antes de su retorno a la base.

Izquierda: un helicóptero transportando una antorcha de goteo suspendida y liberando combustible en gel durante el vuelo.

Plataformas de mano y portátiles para dispositivos de encendido

Existen muchos dispositivos de encendido de mano, y van desde los muy sencillos (por ejemplo, cerillos) hasta los complejos (antorchas de goteo suspendidas, lanzallamas y lanzadores de dispositivos esféricos de plástico). Los dispositivos de mano están disponibles para encender las quemas en tierra, como se muestra en las fotografías al inicio de la página. Se debe tener precaución al encender materiales muy cercanos, especialmente si hay componentes volátiles presentes. La gasolina o los crudos ligeros no se deben encender de cerca. Además, se debe notar que la expansión del fuego a través de una nube de vapor, como las que surgen de la gasolina o de combustibles similares, puede ser tan rápida como de 50 m/s (100 nudos).

Derecha: un miembro de un equipo de encendido iniciando un fuego recomendado mediante pistola de bengalas.

Extremo derecho: uso de una antorcha eléctrica para encender una quema recomendada.



Servicio de Parques Nacionales de los EE. UU.



National Wildfire Coordinating Group

Las plataformas móviles de lanzamiento para dispositivos de encendido en tierra incluyen vehículos o aeronaves de alas rotativas. La fotografía abajo a la derecha muestra una tolva montada lateralmente, diseñada para liberar dispositivos de encendido esféricos de plástico desde un helicóptero. Estos dispositivos de encendido están llenos de permanganato de potasio; al liberarse, se inyectan con glicol que reacciona con el permanganato de potasio para crear una reacción exotérmica para el encendido. Después de un encendido retardado de 20-40 segundos, a medida que los dos componentes reaccionan, se produce una flama sostenida que dura aproximadamente dos minutos.

Derecha: un vehículo todoterreno transportando combustible en gel para liberarse desde una antorcha de goteo junto con una línea de encendido designada.

Extremo derecho: un lanzador de montaje lateral para desplegar dispositivos de encendido esféricos de plástico para el encendido desde el aire.



National Wildfire Coordinating Group



US National Park Service

Dispositivos de encendido no comerciales

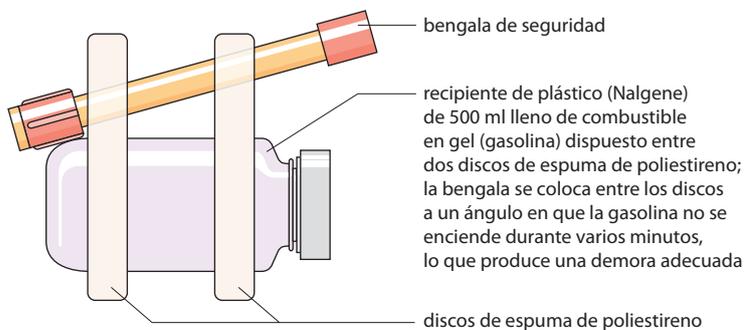
En derrames reales y en pruebas, se han usado métodos sencillos e informales de encendido como papel, trapos o sorbentes impregnados de hidrocarburo para encender el hidrocarburo. Se han diseñado una variedad de dispositivos de encendido de mano para encender las manchas de hidrocarburos. Estos dispositivos:

- se pueden lanzar sobre la mancha desde un vehículo, embarcación o helicóptero;
- con frecuencia tienen interruptores de retardo para permitir suficiente tiempo para lanzar el dispositivo de encendido y, de ser necesario, permitirle flotar sobre la mancha; y
- usan propulsores sólidos, combustible en gel, cubos de queroseno en gel, compuestos de químicos reactivos o una combinación de estos, y arden durante 30 segundos y hasta 10 minutos a temperaturas que varían entre 1,000 y 2,500° C.

Se debe observar que el diésel es mucho más preferible y más seguro que la gasolina para impregnar materiales o para usarse como base de combustibles en gel en los dispositivos de encendido de mano.

En la Figura 4, a continuación, se ilustra un ejemplo de un dispositivo de encendido de mano, que se ha usado durante varias quemas de prueba. Consta de una botella de plástico llena con gasolina o diésel en gel. La botella y una bengala marina de mano de 15 cm se aseguran una al lado de la otra dentro de dos anillos de espuma de poliestireno. Se enciende la bengala y se lanza el dispositivo sobre la mancha, donde arde durante aproximadamente 60 segundos antes de fundirse la botella de plástico y encender la gasolina en gel, la cual enciende el hidrocarburo.

Figura 4 Un dispositivo de encendido construido con un recipiente de plástico y una bengala



Fuente: Environment Canada

Un dispositivo similar al que se muestra en la Figura 4 se utilizó para encender las quemas durante la respuesta al derrame del Macondo. Dichos dispositivos, relativamente fáciles de elaborar y de implementar, se muestran en las siguientes fotografías.



Guardia Costera de los EE. UU.



Guardia Costera de los EE. UU.

Extremo izquierdo: uno de los dispositivos de encendido utilizados en las operaciones de quema in situ durante la respuesta al derrame del Macondo.

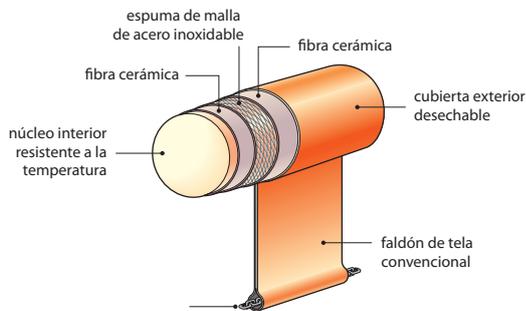
Izquierda: encendido de la mecha (bengala) de un dispositivo de encendido antes de lanzarlo al agua.

Barreras resistentes al fuego

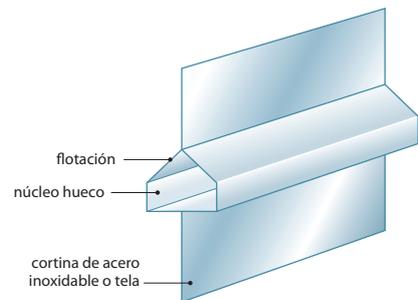
El principal requisito para una barrera de contención (y sus componentes) utilizada en operaciones de quema in situ es la capacidad de resistir el calor durante períodos prolongados. Las barreras resistentes al fuego se diseñan generalmente para sobrevivir varias quemas, después de las cuales se eliminan o se reacondicionan. En la Figura 5, abajo, se muestran varios tipos de diseños de barreras resistentes al fuego. Para garantizar que la barrera a utilizar en una operación de quema in situ podrá resistir varias quemas, ASTM ha desarrollado una prueba estándar para asegurar la durabilidad. El estándar mínimo es una prueba de cinco horas que implica tres períodos de quema de 1 hora con dos períodos de enfriamiento de 1 hora entre las quemas.

Figura 5 Tipos de barreras resistentes al fuego

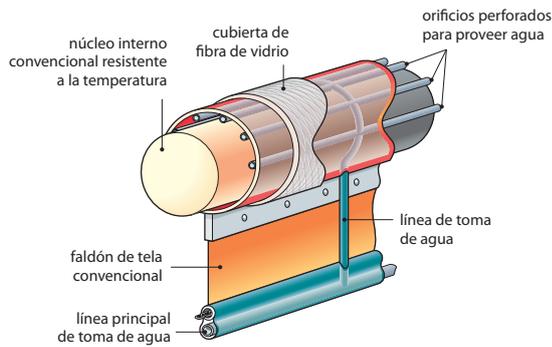
Barrera a base de fibra termorresistente



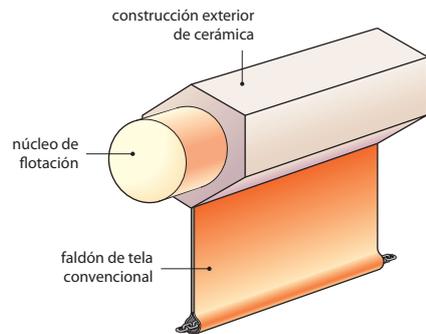
Diseño de barrera de acero inoxidable



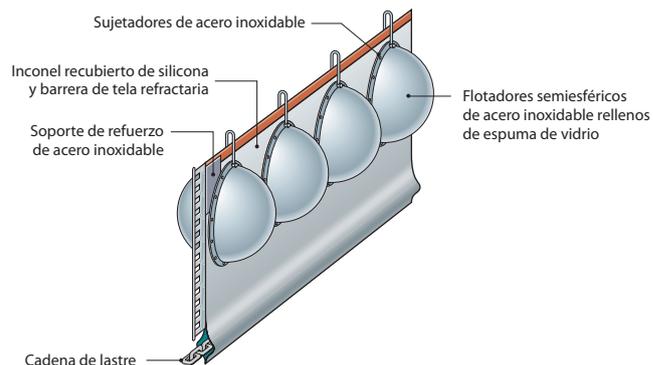
Barrera con cubierta enfriada por agua



Barrera de cerámica



Barrera de flotación sólida de fuego con hemisferios e acero inoxidable ("pirobarrera")



La capacidad de contención de una barrera resistente al agua es también importante. Los estudios han determinado las velocidades de remolque a las que las barreras empiezan a perder hidrocarburo (“primera pérdida”) y la velocidad a la cual ocurre una pérdida continua y significativa (“pérdida bruta”). La tasa de pérdida de hidrocarburo también se puede determinar a velocidades específicas de remolque, ya que la velocidad de remolque a la cual ocurre la falla de la barrera, es decir, la velocidad a la cual la barrera se sumerge o sufre un daño estructural. En el Apéndice 2 se proporcionan los detalles acerca de la implementación y el remolque.

Barreras convencionales

Generalmente, una barrera convencional no puede contener el hidrocarburo en combustión ya que los materiales de construcción se quemarán o se fundirán, comprometiendo la capacidad de la barrera para contener el hidrocarburo. Se pueden usar las barreras convencionales para acumular una mancha hasta que se pueda obtener una barrera resistente al fuego o se pueden usar como extensiones laterales de una barrera de fuego a lo largo de grandes distancias de remolque.

Embarcaciones de apoyo para la quema in situ en el agua

Las embarcaciones juegan un papel importante para el éxito de una operación de quema in situ. Se requieren embarcaciones para transportar equipo y personal al sitio de la quema, remolcar barreras y transportar equipo de monitoreo. También se pueden necesitar barcas y pequeños botes para operaciones de seguridad en espera contra el fuego y para operaciones de monitoreo, así como para usarse para la recuperación de residuos y para almacenar equipo e hidrocarburo residual.

Debe estar disponible una cantidad suficiente de embarcaciones para transportar e implementar la longitud requerida de barreras de contención en el sitio de la quema. Las embarcaciones de apoyo también deben ser apropiadas para las siguientes tareas:

- Las embarcaciones deben tener suficiente espacio de cubierta para transportar las barreras, así como el equipo y los materiales necesarios para manipular la barrera. También se deben poder mover continuamente y maniobrar eficazmente a bajas velocidades (< 0.5 m/s).
- Una embarcación con un borde bajo permite el acceso más fácil a la superficie del agua y se recomienda para recuperar el residuo de la quema. Una barcaza o dispositivo de aterrizaje utilizado en las respuestas ante derrames de hidrocarburos convencionales es idónea.

Aeronave de apoyo para la quema in situ

Las aeronaves juegan un papel importante para el éxito de una operación de quema in situ. Se pueden usar aeronaves de alas fijas o rotativas (helicópteros) para vigilancia y documentación fotográfica aérea del sitio de un derrame, y para ofrecer una plataforma de encendido, ayudar a las embarcaciones y aeronaves en la determinación de objetivos en la mancha, apoyar las operaciones de extinción de la quema y transportar equipo de monitoreo. Son esenciales las comunicaciones confiables aire-tierra para todas las operaciones en aeronaves.



Vigilancia aérea a lo largo del perímetro de la quema.

Monitoreo operativo para la seguridad y el control de la quema

El monitoreo ayuda a proporcionar la información acerca de la eficacia de una quema, y es una ayuda para la vigilancia en cuanto a la seguridad del personal de respuesta cercano y las observaciones del control del fuego. La Tabla 7 resume los aspectos principales de una operación de quema que se deben monitorear.

Tabla 7 Aspectos que se deben monitorear durante las operaciones de quema in situ

Aspecto	Objetivos de la observación	Interpretación
Seguridad ante el fuego	Proximidad del personal a la quema	Peligro para las personas, la infraestructura y las instalaciones
	Control y movimiento del fuego	
Integridad de la contención de la barrera de fuego	Pérdida de la capacidad de una barrera para contener la mancha	Proporcionar advertencia temprana a los operadores de embarcaciones y al personal de respuesta
Eficacia de la quema	Zona impregnada de hidrocarburos encendida y quema en el tiempo	Eficacia de la eliminación del hidrocarburo; volumen de la eliminación del hidrocarburo
Emisiones de la quema	Partículas	Monitorear la exposición humana

Exposición del personal de respuesta al calor

Se deben comprender totalmente la seguridad y los límites de exposición del personal de respuesta al calor. Una regla de oro para el personal de respuesta es permanecer alejados del fuego a una distancia equivalente a cuatro veces la altura máxima de la flama. La tasa de expansión de la flama es generalmente de aproximadamente 0.02 a 0.16 m/s; sin embargo, esta tasa puede aumentar con el viento. Otras consideraciones incluyen:

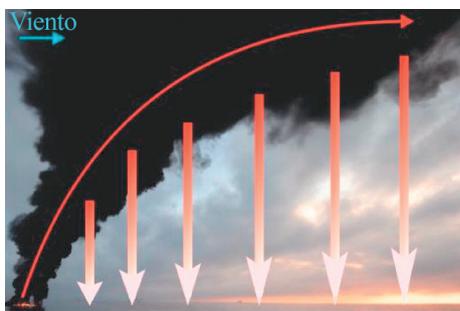
- En tierra, los fuegos se pueden desplazar rápidamente donde hay materiales combustibles cercanos como árboles y pasto. Debe existir un cortafuegos adecuado antes del encendido para proporcionar control del fuego y protección contra el calor.
- Las cuadrilla a bordo de embarcaciones participantes en las operaciones de remolque pueden correr peligro de exposición al fuego o las flamas si el fuego se mueve hacia la barrera. Esto podría ocurrir si se encuentran manchas espesas de hidrocarburo y si la flama se expande a lo largo de estas manchas más espesas. Las flamas no se expandirían hacia las embarcaciones de remolque si la barrera se mueve a una velocidad de al menos 0.4 m/s (0.7 nudos) en dirección contra el viento. En vientos altamente variables, se debe tener precaución de asegurarse de no encontrar concentraciones espesas de hidrocarburo a bajas velocidades de remolque de la barrera.

Comportamiento y distribución de las emisiones de una quema in situ

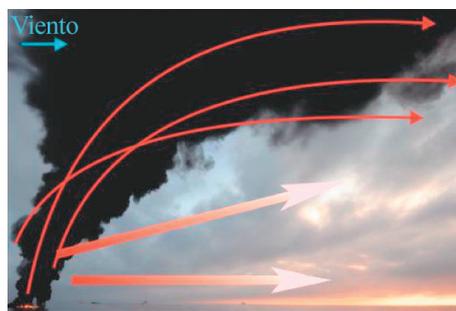
La principal preocupación para la salud relacionada con la quema in situ surge de las emisiones producidas por una quema. Las mediciones empíricas de las emisiones revelan que sus concentraciones se disipan rápidamente en la atmósfera y a medida que aumenta la distancia desde el sitio de la quema. Asegurarse de que la barrera permanezca a la distancia mínima de las zonas pobladas y sensibles ayudará a mitigar las preocupaciones de seguridad. Para las quemas de diferentes tamaños y tipos, se pueden estimar los niveles de emisiones y las distancias de seguridad a favor del viento. Por ejemplo, una quema de crudo (500 m²) no generaría concentraciones de emisiones que superen los límites de salud más allá de alrededor de 500 m desde el fuego. Los principales productos de la combustión resultantes de las quemas de petróleo son dióxido de carbono y agua, y productos derivados, es decir, partículas (hollín), compuestos orgánicos y gases.

Rastrear el comportamiento de las emisiones de la quema es un aspecto importante del monitoreo de la quema in situ. Las emisiones más importantes son las partículas de hollín (MP): estas se elevan y a continuación se precipitan de regreso al suelo (Figura 7). Se estima que antes de que una columna de humo se desplace 1 km, la mitad de todas las partículas se precipitan hacia abajo (en función de la velocidad del viento). Una parte de las MP permanece en el aire con una columna de humo durante un largo tiempo. La columna misma no es peligrosa para las personas, siempre y cuando se eleve y no genere niveles de exposición que sean motivo de preocupación.

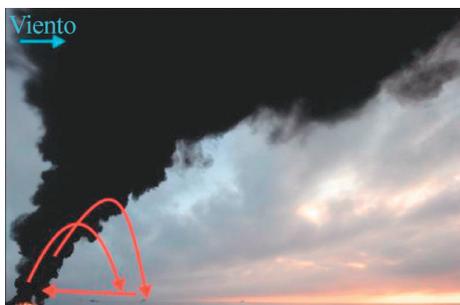
Figura 7 Comportamiento de diferentes emisiones de combustión en la columna de humo de una quema



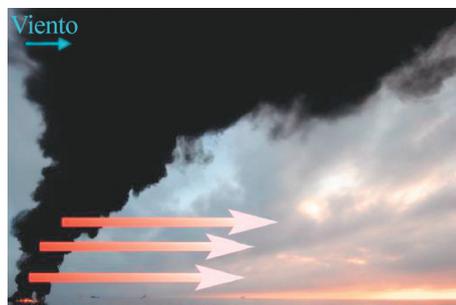
a) Las partículas, junto con los compuestos orgánicos adsorbidos, por ejemplo, HAP, se elevan y después se precipitan a favor del viento.



b) El vapor de agua y los gases ligeros se elevan, se transportan y se difunden ampliamente.



c) El dióxido de carbono y otros gases pesados se elevan y posteriormente se precipitan lentamente, y pueden generar ciclos a través del fuego.



d) Los gases orgánicos, como los COV y los carbonilos se difunden y diluyen ampliamente.

Merv Fingas

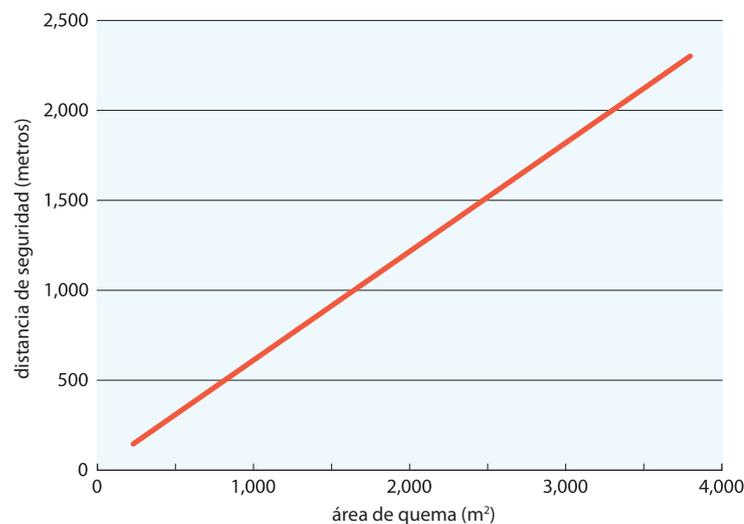
Materias particuladas

La quema in situ produce materias particuladas, que son la emisión de principal interés proveniente de un fuego de hidrocarburo en lo que respecta a la salud humana. Las materias particuladas se distribuyen en el aire de manera exponencial a favor del viento. Las concentraciones a nivel del suelo (1 m) pueden ser mayores que los niveles de preocupación a la salud ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) incluso tan lejos a favor del viento como 500 m de distancia de un fuego pequeño de crudo. De mayor preocupación son las partículas más pequeñas "respirables", es decir, la fracción $\text{MP}_{2.5}$ (partículas de tamaño menor a $2.5 \mu\text{m}$). Debe notarse que, a menudo, estas partículas no son visibles en la forma de una columna de humo, incluso si las concentraciones son mayores a los niveles límite.

Distancias de seguridad

Se dispone de suficientes datos para predecir las concentraciones de más de 150 compuestos y para la mayoría de los grupos de los principales productos químicos. Se han recopilado los datos con velocidades del viento entre 2 y 5 m/s (de 4 a 10 nudos) y sin inversión. Las ecuaciones de predicción para varios grupos comunes de emisiones y compuestos específicos se ofrecen en las referencias de la *Bibliografía* de la página 39.

Figura 8 Distancias de seguridad a favor del viento para zonas de quema de diferentes tamaños



Las distancias de seguridad a favor del viento de una quema de crudo (basado en las concentraciones de $MP_{2.5}$) se han estimado de varias pruebas de quema en agua, durante las cuales el viento varió de ~2 a 10 m/s (de ~4 a 20 nudos): ver Figura 8. La distancia de seguridad operativa se define como la distancia a favor del viento después de la cual no se requieren mascarillas contra partículas. Aunque los resultados se basan en datos provenientes de quemados en el mar, las distancias estimadas también son aplicables a las quemados en tierra, para varios tamaños de quemados. Sin embargo, debe notarse lo siguiente:

- los vientos fuertes podían incrementar estas distancias, mientras que las menores velocidades del viento reducirían las distancias; y
- estas distancias no son aplicables durante inversiones debido a que la columna de humo podría ser reducida a nivel del suelo.

Monitoreo y toma de muestras de las emisiones

Un programa de monitoreo bien planificado, en el que los datos se registran antes, durante y después de una quema, ayuda a documentar la operación de la quema y a responder cualquier pregunta que surja después de una operación de quema. Como mínimo, el monitoreo y la toma de muestras debe incluir:

- el monitoreo visual de la columna de humo, su trayectoria y los posibles impactos en la población o en medio ambiente sensible (se deben documentar el tiempo y las ubicaciones físicas); y
- el monitoreo de las partículas de $2.5 \mu m$ ($MP_{2.5}$) a favor del viento de la quema a una altura del receptor de 1.5 m, y en particular entre 1 a 3 km a favor del viento respecto de la quema, y a la altura del receptor, en cualquier lugar de impacto a la población.

Las condiciones climáticas variables pueden cambiar drásticamente la precipitación de materias particuladas de una columna. En algunos casos, una columna de humo puede caer hasta el nivel del suelo. Si se debe consultar a las autoridades meteorológicas para el pronóstico del clima y el viento, y para información acerca de la posibilidad de una inversión atmosférica.

Monitoreo visual

El monitoreo visual de la trayectoria de una columna de humo y su paso sobre el terreno, centros poblados y otros puntos de interés se debe anotar, cronometrar y registrar. Esta información es útil para responder preguntas acerca de cualquier posibilidad de exposición a emisiones de una quema in situ. Después de una quema, se deben inspeccionar las principales áreas de deposición para comprobar si hay depósitos de hollín. Si se encuentra hollín, se deben tomar muestras para un posible análisis, de considerarse necesario.

Monitoreo de partículas en tiempo real

Si las autoridades reglamentarias lo requieren, o si la trayectoria pronosticada de la columna de humo de una quema indica la posibilidad de exposición de poblaciones sensibles, se debe realizar el monitoreo en tiempo real de las emisiones a favor del viento respecto del fuego y en el punto más cercano a las zonas pobladas. Las concentraciones de partículas a favor del viento pueden variar con el tiempo, y una lectura puede exceder el valor máximo recomendado en una ocasión y, posteriormente encontrarse en los valores base. Se deben medir los valores de referencia y restarse a los valores observados. Se deben registrar electrónicamente las lecturas de los instrumentos, y se deben calcular los promedios ponderados en el tiempo a partir de los datos registrados y corregidos. Algunos instrumentos proporcionan lecturas promedio sobre la marcha que son aplicables a su uso en tiempo real. Para el monitoreo de las materias particuladas, se acepta generalmente que la concentración de partículas con diámetros de $2.5 \mu\text{m}$ o menos ($\text{MP}_{2.5}$) deben ser menores a $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un período de 24 horas. Este es un estándar usado por varias autoridades nacionales.

Hay varios métodos para recopilar y analizar muestras para evaluar las emisiones de la quema in situ. Ver página 39 de la *Bibliografía* para fuentes de información acerca de toma de muestras de emisiones.



Servicio de Parques Nacionales de los EE. UU.

Estación de monitoreo de la calidad del aire en Great Smoky Mountains National Park, Carolina del Norte y Tennessee

Monitoreo operativo

Los propósitos del monitoreo operativo son:

- brindar orientación para un encendido correcto;
- ofrecer documentación de las operaciones de quema y el progreso de la quema;
- estimar la zona de la quema de hidrocarburo a intervalos de tiempo específicos para estimar la cantidad total quemada (Se puede utilizar el nomograma del Apéndice 1 para estimar la zona de una quema y el volumen del hidrocarburo eliminado). Para quemas pequeñas y breves, se debe registrar cada ubicación de quema a intervalos de aproximadamente 10 minutos. Las quemas mayores y más prolongadas pueden requerir intervalos mayores. Se deben tomar fotografías de las operaciones de la quema a intervalos periódicos; se recomienda el uso de una cámara que cuente con la estampa de GPS);
- en tierra o en la costa: para garantizar la seguridad de las cuadrillas de quema y sus vehículos; para rastrear la trayectoria de una columna de humo y su proximidad a zonas pobladas; y para permitir emitir alertas de peligro y actuar, de la forma que resulte necesaria (por ejemplo, para promover una evacuación o para extinguir el fuego prematuramente);
- en el mar: para ofrecer instrucciones a las cuadrillas de las embarcaciones de remolque para optimizar la tasa de encuentro de hidrocarburo derramado en una barrera de fuego para eliminación por la quema in situ.

En el mar, se deben considerar dos tácticas de vigilancia:

1. vigilancia aérea; y
2. vigilancia desde una embarcación mayor.

Hay un rango de visión mayor desde una aeronave que desde una embarcación en la superficie; esto puede resultar ventajoso al observar el desempeño de una barrera y las operaciones de quema. Una embarcación mayor que no sea de remolque puede ofrecer una buena visión de la operación de remolque desde la superficie del agua y podría estar equipada con monitores de fuego adicionales para capacidad de combate de incendios. Dicha embarcación también proporciona un medio de rescate si una embarcación de remolque encuentra problemas.

Bibliografía

General

Alaska Regional Response Team (ARRT) (2010). *Chemical Countermeasures: Dispersants, Chemical Agents, and Other Spill Mitigating Substances, Devices or Technology*. Annex F, *Unified Plan*, Alaska, 126 pp. [http://dec.alaska.gov/spar/perp/plans/uc/Annex%20F%20\(Jan%2010\).pdf](http://dec.alaska.gov/spar/perp/plans/uc/Annex%20F%20(Jan%2010).pdf)

ARPEL (2006). *A Guide to In-situ Burning of Oil Spills on Water, Shore, and Land*. Regional Association of Oil and Natural Gas Companies in Latin America and the Caribbean. Environmental Guideline 40-2006. November 2006, 47 pp.

ARPEL (2007). *In-situ Burning: A Cleanup Technique for Oil Spills*. Regional Association of Oil and Natural Gas Companies in Latin America and the Caribbean. Environmental Guideline 28-2007. February 2007, 127 pp.

ASTM (2013). ASTM F1990-07(2013), *Standard Guide for In-Situ Burning of Spilled Oil - Ignition Devices*. ASTM International, Conshohocken, PA. www.astm.org/Standards/F1990.htm

ASTM (in preparation). ASTM WK37324, *Standard Guide for Evaluation of ISB Effectiveness*. ASTM International, Conshohocken, PA.

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

ITOPF (2011). *Fate of Marine Oil Spills*. Technical Information Paper No. 2. International Tanker Owners Pollution Federation Limited, London. www.itopf.com/fileadmin/data/Documents/TIPS%20TAPS/TIP2FateofMarineOilSpills.pdf

National Institute of Standards and Testing: compilation of references at: www.fire.nist.gov/bfrlpubs/fireall/key/key1351.html

Quemas en el mar: referencias generales

API (2015). *Field Operations Guide for In-Situ Burning of On-water Oil Spills*. Publication No 1252. American Petroleum Institute, Washington, D.C., 72pp.

Arctic Response Technology (2013). *In-Situ Burning in Ice-Affected Waters: State of Knowledge Report*. Final Report 7.1.1 of the Arctic Oil Spill Response Joint Industry Programme. Prepared for IOGP. 293 pp. www.arcticresponsetechnology.org/project-updates/in-situ-burning-of-oil-in-ice-affected-waters/report-on-in-situ-burning-in-ice-affected-waters-state-of-knowledge-report

Arctic Response Technology (2013). *In Situ Burning in Ice-Affected Waters: A Technology Summary and Lessons from Key Experiments*. Final report 7.1.2 of the Arctic Oil Spill Response Joint Industry Programme. Prepared for IOGP. 67pp. www.arcticresponsetechnology.org/project-updates/in-situ-burning-of-oil-in-ice-affected-waters/report-on-in-situ-burning-in-ice-affected-waters-a-technology-summary-and-lessons-from-key-experiments

ASTM (2013). ASTM F2152-07(2013), *Standard Guide for In-Situ Burning of Spilled Oil: Fire-Resistant Boom*. ASTM International, Conshohocken, PA. www.astm.org/Standards/F2152.htm

ASTM (2008). ASTM F1788-08, *Standard Guide for In-Situ Burning of Oil Spills on Water: Environmental and Operational Considerations*. ASTM International, Conshohocken, PA. www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/F1788-08.htm

ASTM (2014). ASTM F2230-14, *Standard Guide for In-Situ Burning of Oil Spills on Water: Ice Conditions*. ASTM International, Conshohocken, PA. www.astm.org/Standards/F2230.htm

Buist, I. A., Potter, S. G., Trudel, B. K., Walker, A. H., Scholz, D. K., Brandvik, P. J., Fritt-Rasmussen, J., Allen, A. A. and Smith, P. (2013). *In-Situ burning in Ice-Affected Waters: A Technology Summary and Lessons from Key Experiments*. Final Report 7.1.2. Report from the Joint Industry Programme on relevant scientific studies and laboratory and field experiments on the use of in-situ burning in ice-affected offshore environments.

Fingas, M. (2011). 'ISB', Chapter 23 in *Oil Spill Science and Technology*. M. Fingas, Editor, Gulf Publishing Company, New York, pp. 737-903.

Mabile, N. (2012). Controlled ISB: Transition from alternative technology to conventional spill response option. In *Proceedings of the 35th AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response*, pp. 584-605.

OSRL (2011). *Offshore In-Situ Burn Operations Field Guide: A guide to operational and monitoring requirements for In-Situ burning at sea*. Oil Spill Response Limited, 20pp.

Quemas: emisiones

API (in preparation). *In-Situ Burning of Petroleum: Comparison of Emissions from burning of Petroleum, Petroleum-Derived Fuels and other Fuel types*. American Petroleum Institute, Washington, D.C.

Fingas, M. F. and Punt, M. (2000). *ISB: A Cleanup Technique for Oil Spills on Water*. Environment Canada Special Publication, Ottawa, Ontario, 214 pp.

Fingas, M. F., Lambert, P., Wang, Z., Li, K., Ackerman, F., Goldthorp, M., Turpin, R., Campagna, P., Nadeau, R. and Hiltabrand, R. (2001). Studies of Emissions from Oil Fires. In *Proceedings of the Twenty-Fourth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, Ontario, pp. 767-823.

Quemas en tierra: general

API (2015). *Field Operations Guide for In-Situ Burning of Inland Oil Spills*. Publication No 1251. American Petroleum Institute, Washington, D.C., 81 pp.

Quemas recomendadas: general

US Department of Agriculture, Forest Service (2006). Prescribed Fire Case Studies, Decision Aids and Planning Guides. In *Fire Management Today*, Vol. 66, No. 1, Winter 2006, pp. 5-20. http://www.fs.fed.us/fire/fmt/fmt_pdfs/FMT66-1.pdf

Oklahoma State University (2009). *Oklahoma Prescribed Burning Handbook*. Document ref. E-1010. Last updated 2014. 64 pp. <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-6613/E-1010>

Southeast Queensland Fire and Biodiversity Consortium (2002). *Fire Management Operational Manual: Guidelines for planning and conducting fuel reduction and ecological burns on your property*. Queensland, Australia. 102 pp. www.fireandbiodiversity.org.au/_literature_47142/Operational_Fire_Manual.

Fire Paradox (website). *Handbook to Plan and Use Prescribed Burning in Europe*. Fire Paradox—a European Commission Project. www.fireparadox.org/handbook_prescribed_burning_europe.php

US Department of Agriculture, Forest Service (2006). Smoke Issues and Air Quality. In *Fire Management Today*, Vol. 33 No. 3. <http://www.fs.fed.us/fire/fmt/>

Cortafuegos

Government of Western Australia (2011). *Firebreak Location, Construction and Maintenance Guidelines*. Fire and Emergency Services Authority of Western Australia, 28 pp. http://www.dfes.wa.gov.au/safetyinformation/fire/bushfire/BushfireProtectionPlanningPublications/FESA%20Firebreak%20Guidelines_std.pdf

Quemas en pantanos

API (2003). *Recovery of Four Oiled Wetlands Subjected To In Situ Burning*. Publication No. 4724, Washington, D.C., June 2003. 71pp.

ASTM (2010). ASTM F2823-10(2015), *Standard Guide for In-Situ Burning of Oil Spills in Marshes*. ASTM International, Conshohocken, PA. www.astm.org/Standards/F2823.htm

Seguridad y monitoreo

API (in preparation). *In-situ Burn Guidance for Safety Officers and Safety and Health Professionals*. American Petroleum Institute, Washington, D.C.

BP (2013). *Controlled ISB Operations Monitoring Handbook*. Prepared by Midlinx Consulting Inc. for British Petroleum, Houston, Texas.

IPIECA-IOGP (2008). *Health aspects of work in extreme climates*. IOGP Report 398.

Efectos en los animales y las plantas

API (1999). *Compilation and Review of Data on the Environmental Effects of In Situ Burning of Inland and Upland Oil Spills*. Publication No. 4684. American Petroleum Institute, Washington, D.C.

US Department of Agriculture, Forest Service (website). Fire Effects Information System (FEIS). www.feis-crs.org/beta

Modelos

US Department of Agriculture, 'Fire, Fuel, and Smoke Science Program': www.firelab.org/applications

US Department of Agriculture, 'First Order Fire Effects Model (FOFEM)': www.firelab.org/project/fofem

Apéndice 1: Estimación de la cantidad de los hidrocarburos incinerados y eficacia de la quema

En el mar, el área de quema de hidrocarburos dentro de una barrera se registra junto con la duración de la quema usando una plantilla similar a la que se muestra en la Figura A1 de la página 43. Estos detalles se pueden utilizar para calcular la cantidad del hidrocarburo quemado. Se puede calcular el área a partir de la Figura A1 en conjunto con la Tabla A1. Las tasas de quema se muestran en la Tabla 3 de la página 8.

El procedimiento es el siguiente:

Usando las gráficas de llenado de la barrera registradas durante la quema, el área de llenado se estima usando la Tabla A1. El tiempo que duró la quema para este nivel de llenado se multiplica entonces por la tasa de quema para ese tipo de hidrocarburo (ver Tabla 3) para obtener la cantidad de hidrocarburo quemado. Todos los tiempos y las cantidades de llenado se calculan de esta forma y, a continuación se suman; el resultado final ofrece una estimación de la cantidad del hidrocarburo que se debe quemar o consumir.

El volumen del hidrocarburo quemado se puede calcular usando la ecuación 1, de la siguiente manera:

Ecuación 1: **Área de quema = Área × tiempo × tasa × factor de conversión**
donde el factor de conversión para la unidades métricas es **0.001** para obtener un volumen en m³, y en las unidades habituales en los EE. UU. es **0.0006** para obtener un volumen en barriles (área en pies cuadrados, pero tasa de quema en mm/minuto).

Ejemplo:

Durante una quema, los nomogramas del tipo que se muestra en la Figura A1 indicaron que, para 21 minutos, hubo una eliminación de aproximadamente la mitad de una barrera de 150 m llena con crudo medio.

- Usando la Tabla A1, se puede ver que el área es aproximadamente 1,220 m², y la Tabla 3 indica que la tasa de quema es de alrededor de 3.5 mm/min.
- La cantidad quemada se calcula entonces como: 1,220 × 21 × 3.5 × 0.001 = 89.7 m³ (560 barriles).

La eficacia de la quema se mide como el porcentaje del hidrocarburo eliminado comparado con la cantidad del residuo resultante después de la quema. La eficacia de la quema, **E**, se puede calcular usando la ecuación 2 (a continuación), donde v_{oi} es el volumen inicial del hidrocarburo a ser quemado y v_{of} es el volumen del hidrocarburo residual resultante después de la quema:

Ecuación 2:
$$E = \frac{v_{oi} - v_{of}}{v_{oi}}$$

El volumen inicial del hidrocarburo, v_{oi} , se puede estimar de diferentes formas:

- Si se conoce la fuente del derrame, como en el caso de una embarcación o un depósito de almacenamiento, el volumen derramado se puede estimar por el tamaño del tanque y la cantidad de hidrocarburo que permanece en el tanque.
- En el caso de una plataforma de perforación, se puede usar la tasa de descarga para estimar el volumen inicial. Este volumen, combinado con el área de la mancha y una estimación del espesor promedio del hidrocarburo, se puede utilizar a continuación para estimar el volumen de una mancha.

En el caso de una quema en el mar usando una barrera de contención, la cantidad quemada frente a una estimación del residuo puede constituir los datos de entrada para la ecuación 2. Los derrames en tierra o en pantanos no se pueden estimar de la forma anterior, debido a que gran parte del material quemado puede ser vegetación.

Figura A1 Nomograma utilizado para registrar las áreas de quema y posteriormente calcular las áreas de quema

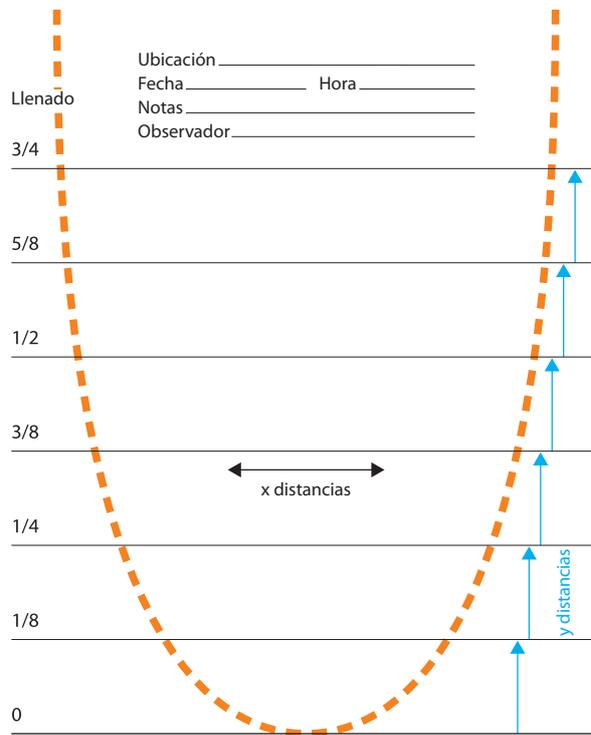


Tabla A1 Conversiones de llenado de barrera a área para una barrera en forma de U

a) Unidades métricas: Tamaños de barrera = 150 m – 50 m abertura y una abertura de 200 m – 66 m

Grado de llenado		Longitud (m)	Anchura (m)	Área de quema (m ²)	Longitud (m)	Anchura (m)	Área de quema (m ²)
3/4	tres cuartos	51	48	2,020	68	64	3,590
5/8	cinco octavos	43	46	1,610	57	61	2,860
1/2	un medio	34	44	1,220	45	59	2,170
3/8	tres octavos	26	41	860	35	55	1,530
1/4	un cuarto	17	38	530	23	51	940
1/8	un octavo	9	32	220	12	43	390

b) Unidades habituales en los EE. UU.: Tamaños de barrera = 500 pies – 166 pies abertura y una abertura de 700 pies – 233 pies

Grado de llenado		Longitud (m)	Anchura (m)	Área de quema (m ²)	Longitud (m)	Anchura (m)	Área de quema (m ²)
3/4	tres cuartos	165	156	21,000	231	218	41,200
5/8	cinco octavos	137.5	149	16,800	193	209	32,900
1/2	un medio	110	142	12,700	154	199	24,900
3/8	tres octavos	82.5	132	9,000	116	185	17,600
1/4	un cuarto	55	122	5,500	77	171	10,800
1/8	un octavo	27.5	102	2,300	39	143	4,500

Apéndice 2: Implementación de barreras y configuraciones de la operación de remolque

Implementación de barreras para la quema in situ

Los procedimientos para la implementación de barreras de contención resistentes al fuego dependen del tipo de barrera utilizada. Las barreras enfriadas por agua son generalmente inflables y pueden, por lo tanto almacenarse o implementarse desde un carrete. Sin embargo, estas barreras en ocasiones requieren un amplio espacio de cubierta para la instalación adecuada del equipo de enfriamiento por agua a medida que la barrera se retira del carrete.

Las barreras de acero inoxidable y las barreras termorresistentes son rígidas y, por lo tanto, se deben almacenar en secciones dentro de un contenedor. También requerirán espacio de cubierta para conectar las secciones durante la implementación. Debido a su rigidez y peso, normalmente se requiere un cabrestante o una grúa para ayudar en la implementación.

Las barreras se pueden dañar durante la implementación y la recuperación. Se debe tener cuidado de asegurarse de que la barrera sea movida lentamente y manejada con cuidado. Por ejemplo, el accesorio de cincho y gargantilla de una grúa puede dañar una barrera y por lo tanto es mejor usar una cinta de malla para levantarla. Las siguientes fotografías muestran diferentes métodos de implementación de barreras.

Derecha: implementación de una barrera desde la popa de una embarcación de aprovisionamiento.

Extremo derecho: implementación de una barrera resistente al fuego usando una grúa.



Elastec Inc.



Desmi-AFTI

Las barreras de contención normalmente vienen en secciones unidas por un conector. Muchas de las barreras resistentes al fuego están equipadas con conectores estándar o pueden admitir adaptadores para conectores estándar. Estos conectores permiten que diferentes tipos de barreras se puedan unir fácilmente y de manera segura. Si se usa más de un tipo de barreras para la contención, se deben verificar primero los conectores en estas barreras para asegurarse de que se puedan unir con seguridad.

El siguiente es un procedimiento típico para implementar una barrera en aguas abiertas desde una embarcación, usando una configuración estándar en "U".

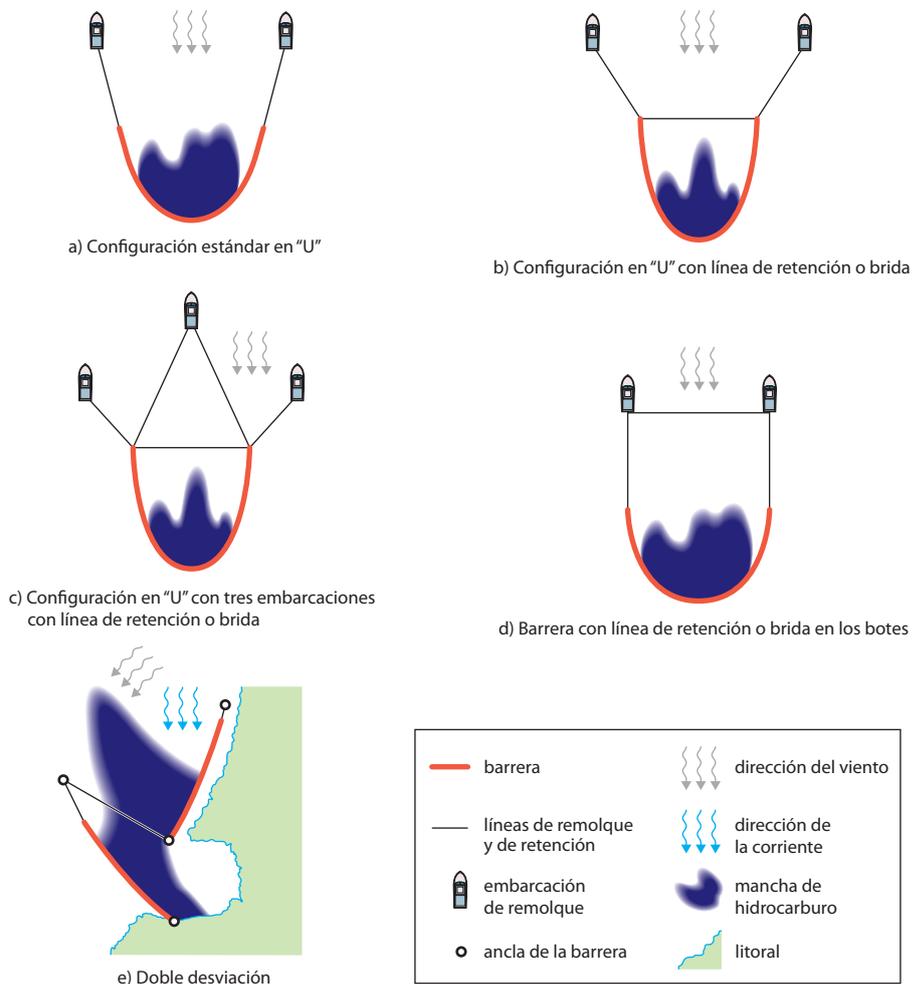
- La embarcación de la implementación se coloca lo suficientemente lejos del hidrocarburo a favor del viento para que haya suficiente tiempo para implementar la barrera antes de aproximarse al hidrocarburo.
- La embarcación de la implementación se alinea para que la proa quede en contra del viento.
- Antes de que se implemente la primera parte de la barrera desde la cubierta, se fija una línea de remolque en el extremo.
- La barrera se implementa desde la popa de la embarcación para que el viento provoque que la barrera quede a la zaga.

- Cuando se implementa la última sección, el extremo de la barrera se fija con una línea de remolque a la embarcación de la implementación, la cual puede convertirse en una de las embarcaciones de remolque. Si se va a usar otra embarcación de remolque, esta recoge la línea de remolque de la embarcación de la implementación.
- La línea de remolque del otro extremo de la barrera se fija a la segunda embarcación de remolque.
- La segunda embarcación de remolque se dirige contra el viento hasta que se forme la configuración adecuada de "U".

Configuraciones de la operación de remolque de la barrera de fuego

El tamaño de la barrera necesario para una quema in situ depende de la cantidad de hidrocarburo que se va a quemar. En general, la longitud de la barrera es en rangos de 150 a 300 m (500 a 1000 pies). La mayoría de las barreras comerciales vienen en longitudes estándar de 15 o 30 m (50 o 100 pies). Generalmente, el hidrocarburo en la barrera no debe llenar más de dos tercios del área de la catenaria, la forma típica en "U" que adquiere la barrera remolcada (Figura A2).

Figure A2 Tow configurations that can be used to tow fire-resistant booms



Basado en información cortesía de Environment Canada

Una quema in situ en el agua dentro de una barrera resistente al fuego implementada en la configuración estándar en "U".



Las líneas de remolque desde los botes de remolque deben generalmente tener una longitud de 75 m (150 pies). Siempre se debe remolcar la barrera hacia el viento de forma que el humo pase por detrás de los botes. Debido a que la velocidad de remolque se mide en relación con la corriente, es posible que la barrera se deba remolcar muy lentamente o incluso a favor del viento para mantener una velocidad lo suficientemente baja en relación a la corriente mientras se remolca hacia el viento.

En general, las barreras se deben remolcar a una velocidad de < 0.4 m/s (< 0.7 nudos) para evitar que el hidrocarburo salpique sobre la barrera o sea arrastrado hacia abajo. A continuación se describen algunas consideraciones adicionales:

- La configuración estándar de una barrera consiste en un tramo de barrera resistente al fuego conectada con líneas de remolque a dos embarcaciones en cualquier extremo de la barrera para remolcar la barrera en una catenaria o forma de "U", como se muestra en la Figura A2 (a).
- Una línea de retención o brida transversal se puede asegurar a cada extremo de la barrera a varios metros detrás de las embarcaciones de remolque para asegurar que la barrera mantenga la forma adecuada de "U", como se muestra en la Figura A2 (b). Esta línea de retención o brida transversal es útil para mantener la abertura correcta para el remolque de la barrera así como para evitar la formación accidental de una configuración en "J".
- Al usar la configuración estándar en "U", puede resultar difícil asegurarse de que las dos embarcaciones de remolque mantengan la misma velocidad. Para superar este problema y para incrementar el control de la configuración de la barrera, se pueden utilizar tres embarcaciones, de la forma que se muestra en la Figura A2 (c). Una embarcación remolca la barrera al tirar del centro usando líneas de remolque en cada extremo de la "U", mientras que las otras dos embarcaciones tiran hacia afuera de los extremos de la barrera para mantener la forma de "U".
- La línea de sujeción también se puede atar a las embarcaciones de la forma que se muestra en la Figura A2 (d). La ventaja de este método es que los operadores del bote pueden desprender la línea de sujeción rápidamente en caso de una emergencia.
- Si el hidrocarburo está cerca de la costa, se puede usar una barrera (o barreras) para desviarla a una zona tranquila, como una bahía, donde el hidrocarburo se pueda quemar. En la Figura A2 (e) se muestra un ejemplo de este método usando dos barreras. Las barreras de desviación se deben posicionar a un ángulo en relación a la corriente que sea lo suficientemente grande como para desviar el hidrocarburo, pero no demasiado como para que la corriente provoque la falla de la barrera. La barrera se mantendrá en su sitio, ya sea por las anclas, las embarcaciones de remolque o por las líneas aseguradas en la costa.

Es posible que la velocidad de remolque se deba incrementar periódicamente si la quema empieza a llenar más de dos tercios del espacio de la barrera. Si el hidrocarburo contenido es arrastrado hacia la columna de agua por debajo de la barrera, o si salpica sobre la columna, volverá a surgir a la superficie o acumularse directamente detrás del ápice de la barrera. Este hidrocarburo no contenido podría, en potencia, ser encendido por el hidrocarburo ardiendo dentro de la barrera o por hidrocarburo encendido que salpique sobre la barrera.

Agradecimientos

Este documento fue escrito por Merv Fingas (Ciencia de los derrames) y editado por Alexis Steen (ExxonMobil) quien presidió el grupo de Quema in situ. Se agradecen enormemente los conocimientos, las aportaciones y la orientación de los anteriores colaboradores para el desarrollo del contenido de este documento.

Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco.

Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco.

IPIECA

IPIECA es la asociación de la industria global del petróleo 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.uk

