

USO DE DISPERSANTES PARA EL TRATAMIENTO DE DERRAMES DE HIDROCARBUROS

DOCUMENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA

4



Introducción

El principal propósito de la aplicación de dispersantes es disgregar una mancha de hidrocarburos en numerosas gotas pequeñas que puedan diluirse rápidamente en la columna de agua y degradarse posteriormente por el efecto natural de microorganismos. Si se utilizan correctamente, los dispersantes pueden representar una respuesta eficaz a un derrame de hidrocarburos y puede minimizar o evitar daños en recursos sensibles importantes.

Como ocurre con otras técnicas de respuesta, debe considerarse cuidadosamente el uso de dispersantes para tener en cuenta las características de los hidrocarburos, condiciones climatológicas y marinas, sensibilidades ecológicas y normativas nacionales sobre el uso de dispersantes. En algunos casos, pueden obtenerse considerables ventajas medioambientales y económicas mediante el uso de dispersantes, particularmente cuando las condiciones climatológicas o la disponibilidad de recursos limiten otras técnicas de respuesta en el mar.

Este documento ofrece una descripción general sobre el uso y limitaciones de los dispersantes sobre hidrocarburos flotantes, al tratarse de una de las diversas opciones disponibles para la respuesta a derrames de hidrocarburos en el medio marino procedentes de buques.

Mecanismo de dispersión y composición de los dispersantes

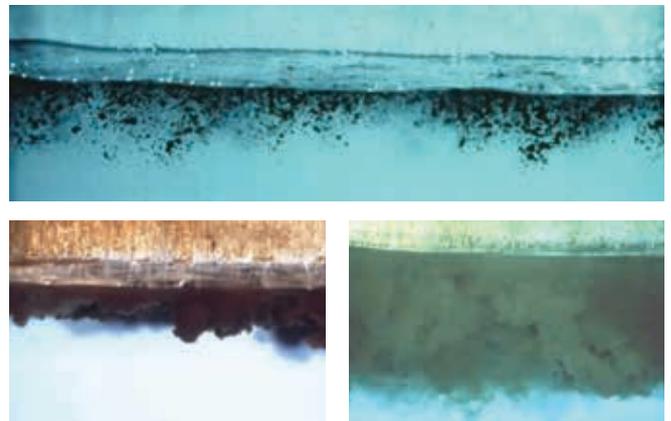
Después de un derrame de hidrocarburos sobre la superficie del mar, parte de los hidrocarburos presentes en la mancha resultante puede dispersarse de forma natural en la columna de agua. El alcance de este proceso depende del tipo de hidrocarburos derramados y de la energía de agitación del mar. Los hidrocarburos con una viscosidad más baja son más susceptibles a la dispersión natural que los hidrocarburos con mayor viscosidad. En general, los petróleos crudos se dispersarán más que los fueloils.

La dispersión natural se produce cuando la energía de agitación que proporcionan las olas y el viento puede superar la tensión superficial en la interfaz hidrocarburos/agua y romper la mancha de hidrocarburos en gotas de tamaños variables (Figura 1a). Las gotas de hidrocarburos más grandes volverán rápidamente a la superficie y se fusionarán para volver a formar una mancha de hidrocarburos. Las gotas más pequeñas permanecerán suspendidas en la columna de agua, debido al movimiento de las olas y a las turbulencias, y se diluirán aún más por el efecto de las corrientes subsuperficiales.

El proceso de dispersión natural se produce en mares moderadamente picados, con rompientes y vientos superiores a 5 m/s (10 nudos). Por ejemplo, condiciones de temporal muy duro en Shetland, Reino Unido, durante el encallamiento del buque tanque BRAER en 1993, provocaron que la mayor parte de la carga de 85.000 toneladas de petróleo crudo Gulfaks, un tipo de hidrocarburos con viscosidad muy baja, se dispersara de forma natural, con un impacto mínimo sobre la costa.

Los dispersantes están diseñados para mejorar la dispersión natural mediante la reducción de la tensión superficial en la interfaz hidrocarburos/agua, facilitando que el movimiento de las olas genere muchas más gotas pequeñas (Figuras 1b y 1c). Los dispersantes son una mezcla de surfactantes (agentes de superficie activos) en un disolvente. El disolvente tiene dos funciones: actuar como un "diluyente", reduciendo la viscosidad del surfactante para que pueda ser rociado, y fomentar la penetración del surfactante en la mancha de hidrocarburos.

Cada molécula de surfactante contiene una parte oleofílica (atraída al hidrocarburo) y una parte hidrofílica (atraída al agua). Cuando se rocía sobre los hidrocarburos, el disolvente transporta

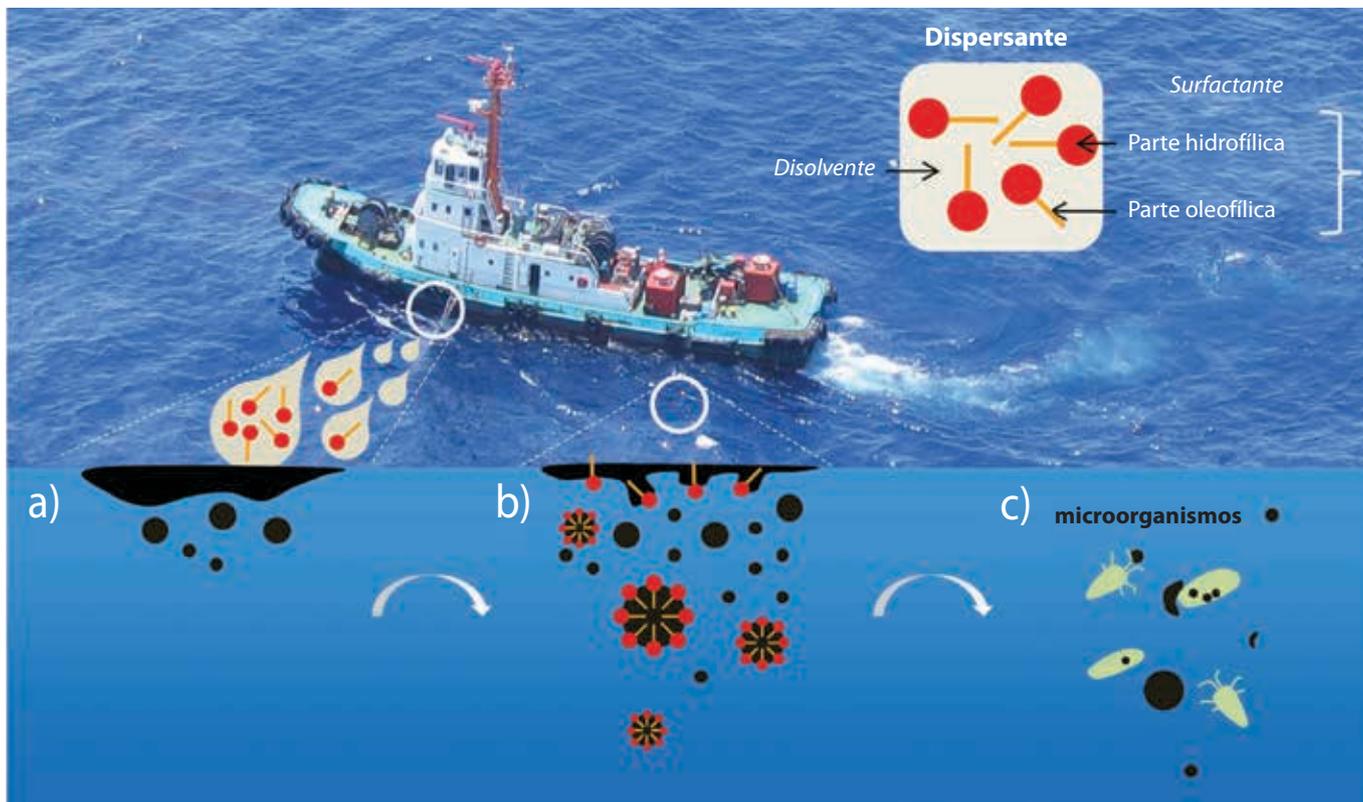


▲ Figura 1: dispersión satisfactoria en condiciones de laboratorio. a) hidrocarburos sin dispersante (dispersión natural), b) hidrocarburos con dispersante y c) hidrocarburos con dispersante unos segundos más tarde, demostrándose la rápida dilución. (Imágenes gentileza del Delft Hydraulics Institute).

y distribuye el surfactante a través de los hidrocarburos hasta la interfaz hidrocarburo/agua, donde las moléculas se reorganizan para que la parte oleofílica se encuentre en los hidrocarburos y la parte hidrofílica se encuentre en el agua. Esto reduce la tensión superficial de la interfaz hidrocarburos/agua, lo que, junto con la energía de las olas, da lugar a que se desprendan gotas de la mancha de hidrocarburos. Las gotas que son suficientemente pequeñas como para permanecer en la columna de agua producen un penacho típico de color café que se esparce por debajo de la superficie (Figura 1c).

Para conseguir una dispersión eficaz, el tamaño de las partículas de hidrocarburos debe encontrarse en la gama de $1 \mu\text{m}^*$ a $70 \mu\text{m}$. El tamaño más estable es inferior a $45 \mu\text{m}$. La velocidad de subida hasta la superficie de las gotas en este intervalo de tamaños se equilibra por la turbulencia del mar, de forma que se mantienen en suspensión y la mezcla de hidrocarburos y dispersantes se diluye rápidamente en unos pocos metros en la parte superior de la columna de agua. La presencia de las moléculas de surfactante en la superficie de la gota, y la reducida probabilidad de que las partículas de hidrocarburos entren en contacto mientras se diluyen y se separan, minimiza la posibilidad de que vuelvan a fusionarse y formar de nuevo manchas en la superficie.

* μm = micrómetros = 10⁻⁶ metros. $1 \mu\text{m}$ = 0,001 mm



▲ *Figura 2: proceso de dispersión química: a) Se rocían dispersantes que contienen surfactantes y disolvente sobre los hidrocarburos; el disolvente transporta el surfactante hasta los hidrocarburos; b) Las moléculas de surfactante migran hasta la interfaz hidrocarburos/agua y reducen la tensión superficial, lo que permite disgregar pequeñas gotas de hidrocarburos de la mancha; c) Las gotas se dispersan por la agitación de las turbulencias y finalmente se degradan por el efecto natural de microorganismos, como bacterias y mohos. Esta última etapa puede requerir días o semanas hasta completarse.*

La biodegradación a través de diversos microorganismos marinos solo puede producirse en la superficie de la gota porque los organismos están presentes en el agua y no en los hidrocarburos. La producción de numerosas gotas de hidrocarburos más pequeñas aumenta el área superficial de los hidrocarburos y, por lo tanto, el área disponible para la biodegradación. Por ejemplo, una gota de 1 mm de diámetro dispersada en 10.000 gotas, todas con un diámetro de 45 µm, daría lugar a un área superficial 20 veces superior al área superficial de la gota original. En la práctica, no todas las gotas dispersadas presentan el mismo tamaño sino que se distribuyen de forma que existen gotas mucho más pequeñas que otras más grandes, lo que aumenta considerablemente la oportunidad de que se produzca biodegradación.

Clasificación de los dispersantes

Los dispersantes se clasifican según su generación y tipo. La primera generación de productos, introducidos en la década de 1960, era similar a los limpiadores y desengrasadores industriales, con una elevada toxicidad acuática. Ya no se utilizan en la respuesta a derrames de hidrocarburos.

Los dispersantes de segunda generación, conocidos también como dispersantes Tipo I, se diseñaron específicamente para tratar derrames de hidrocarburos en el mar mediante rociado desde embarcaciones. Contienen un disolvente de hidrocarburos con un bajo o nulo contenido aromático y normalmente del 15-25% de surfactante. Se concibieron para aplicarlos sin diluir, ya que la dilución previa con agua de mar los vuelve ineficaces. También requieren una elevada tasa de dosis entre 1:1 y 1:3 (dispersante a hidrocarburos). Aunque presentan una toxicidad más baja que los dispersantes de primera generación, son menos eficaces y pueden resultar más tóxicos que los dispersantes de tercera generación. Los dispersantes Tipo I ya no se emplean en numerosos países.

Los dispersantes de tercera generación contienen una mezcla de dos o tres surfactantes con glicol y disolventes destilados de petróleo ligero. Los surfactantes que se utilizan más habitualmente son no iónicos (ésteres de ácidos grasos y ésteres de ácidos grasos etoxilados) y aniónicos (alquil-sulfosuccinato de sodio). La concentración de surfactante dentro del disolvente se sitúa entre el 25% y el 65% y tiende a ser más alta que en el caso de los productos Tipo I.

Los dispersantes de tercera generación pueden dividirse en dispersantes Tipo II y III. Ambos tipos son dispersantes concentrados. Sin embargo, los dispersantes Tipo II se diluyen en general con agua de mar antes del uso, normalmente con una proporción del 10% de dispersante, aunque requieren una dosis alta de 2:1 a 1:5 (mezcla de dispersante/agua a hidrocarburos) para ser eficaces. Este requisito de dilución limita su uso a la aplicación desde embarcaciones. Los dispersantes Tipo III se utilizan puros y se desarrollaron principalmente para permitir la aplicación eficaz desde aeronaves, aunque también se pueden emplear desde embarcaciones. Las tasas de dosis oscilan entre 1:5 y 1:50 (dispersante puro a hidrocarburos), determinándose la relación práctica ideal como resultado de ensayos durante un siniestro. Los dispersantes Tipo III de tercera generación son los dispersantes más disponibles habitualmente en la actualidad.

Limitaciones de los dispersantes

La eficacia de los dispersantes está limitada por ciertos parámetros físicos y químicos. Los más importantes son las condiciones del mar y las propiedades de los hidrocarburos. El conocimiento de estas limitaciones resulta importante para identificar las circunstancias en las que será adecuado el uso de dispersantes.

Condiciones del mar

Se requiere una cantidad mínima de energía de las olas para que el uso de dispersantes en el mar ofrezca resultados satisfactorios. Por debajo de este mínimo, las pequeñas gotas de hidrocarburos dispersas pueden reaparecer en la superficie y volver a formar una mancha. Además, en condiciones del mar muy adversas, los hidrocarburos pueden sumergirse por el efecto de rompientes, lo que impide el contacto directo entre el dispersante y los hidrocarburos, y la eficacia del dispersante disminuirá. Los resultados de las pruebas en campo indican que una velocidad del viento entre 4 - 12 m/s (8 - 25 nudos, fuerza 3 - 6 en la escala Beaufort) resulta óptima.

Los dispersantes se fabrican principalmente para uso en agua de mar con una salinidad de aproximadamente 30 - 35 partes por mil (ppt, según sus siglas en inglés). El rendimiento disminuirá rápidamente en aguas salobres con una salinidad inferior a 5 - 10 ppt, especialmente cuando se aplique dispersante diluido previamente. De forma similar, la eficiencia también se ve afectada cuando la salinidad aumenta por encima de 35 ppt. La eficacia disminuye drásticamente en agua dulce debido a que los surfactantes tienden a migrar a través de la capa de hidrocarburos hasta la columna de agua en lugar de estabilizarse en la interfaz hidrocarburos/agua. Sin embargo, se han formulado algunos dispersantes especialmente para uso en agua dulce. En un sistema de agua dulce confinado, como ríos y lagos, deben considerarse otros factores, como por ejemplo si existe una profundidad o intercambio de agua suficiente para conseguir la dilución adecuada de los hidrocarburos dispersos.

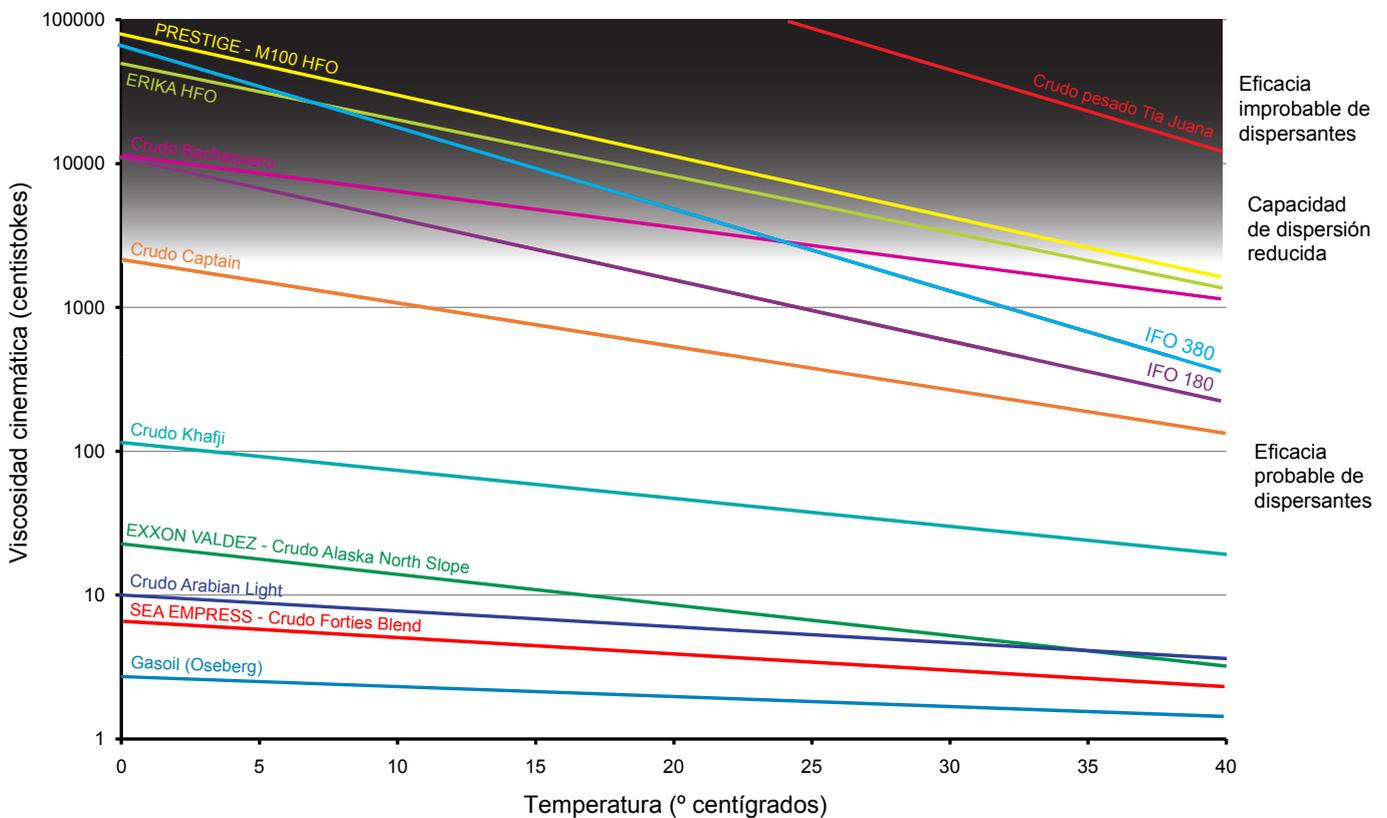
Propiedades de los hidrocarburos

Las características del tipo de hidrocarburos y la manera en que la meteorización cambie estas propiedades, son importantes cuando se evalúan las posibilidades de éxito del uso de dispersantes en el mar. La viscosidad y el punto de fluidez de un tipo de

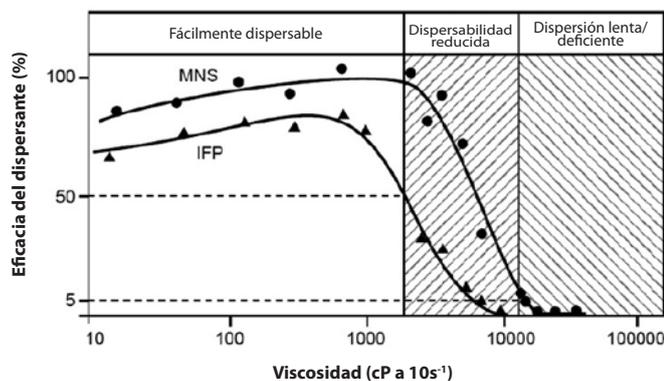
hidrocarburos representan dos propiedades que proporcionan una buena indicación de la facilidad de dispersión del mismo.

La eficacia del dispersante se reduce a medida que aumenta la viscosidad del tipo de hidrocarburos (*Figuras 3 y 4*). Los petróleos crudos, frescos, ligeros a intermedios (hidrocarburos del grupo 2 o 3, según se describe en el documento de ITOPF Destino de los derrames de hidrocarburos en el medio marino) se consideran generalmente como fácilmente dispersables en la mayoría de las temperaturas del mar. Es probable que se alcance el límite superior para la dispersión con hidrocarburos más pesados (hidrocarburos del Grupo 4). Como orientación general, es improbable que la mayoría de los dispersantes sean eficaces para hidrocarburos con una viscosidad superior a 5.000 - 10.000 centistokes (cSt) en el momento en el que se derraman. La viscosidad de los hidrocarburos derramados aumentará debido a los efectos de meteorización, principalmente evaporación y emulsificación. Como consecuencia de ello, es posible que los hidrocarburos que pueden ser dispersables cuando están frescos no lo sean posteriormente. Los cambios que la meteorización provoca en las propiedades de los hidrocarburos con el transcurso del tiempo implican una limitación de las posibilidades de obtener resultados satisfactorios con la aplicación de dispersantes. El tiempo disponible o "ventana de oportunidad" normalmente oscila de unas pocas horas a unos pocos días en función del tipo de hidrocarburos de que se trate y de las condiciones ambientales.

De forma similar, los hidrocarburos con un punto de fluidez superior a la temperatura ambiente normalmente se transportan calientes y si se derraman aumentarán rápidamente su viscosidad al enfriarse, alcanzando a menudo un estado semisólido. Como norma general, los hidrocarburos con un punto de fluidez próximo o superior a la temperatura de la superficie del mar no serán dispersables.



▲ *Figura 3: relación entre viscosidad de los hidrocarburos y temperatura del mar para 10 hidrocarburos. El gráfico no tiene en cuenta los aumentos de viscosidad debido a la emulsificación. Los hidrocarburos muy viscosos, incluidos los fueloils del ERIKA (Francia, 1999) y el PRESTIGE (España, 2002), generalmente no son dispersables. Muchos petróleos crudos, incluidos los derramados desde el SEA EMPRESS (Gales, 1996) y el EXXON VALDEZ (Alaska, 1989), son, en general, muy dispersables. En general, productos más ligeros, como gasoiil, se dispersarán (y evaporarán) rápidamente sin el uso de dispersantes.*



▲ **Figura 4: relación entre la eficacia del dispersante y la viscosidad de los hidrocarburos para una gama de hidrocarburos y emulsiones. Los hidrocarburos con una viscosidad entre 5.000 - 10.000 centiPoise resultan más difíciles de dispersar y por encima de 10.000 cP generalmente no son dispersables. Las dos líneas de tendencia se derivan del uso de diferentes protocolos de pruebas MNS e IFP. (Centipoise = Centistokes x densidad) (Gráfico gentileza de SINTEF).**

Los hidrocarburos con una elevada viscosidad, incluidos aquellos con un punto de fluidez alto, no se dispersan con facilidad, bien de forma natural o después de la aplicación de dispersantes, porque la resistencia mecánica de los hidrocarburos impide que se desprendan gotas pequeñas debajo de la mancha. Además, los dispersantes normalmente son ineficaces sobre estos hidrocarburos porque no consiguen penetrarlos antes de ser arrastrados hasta perderse en el agua situada debajo, lo que se caracteriza por un penacho blanco (Figura 5) que puede apreciarse en contraste con la dispersión eficaz (Figura 6). Las formulaciones de dispersantes evolucionan continuamente para ampliar el rango de viscosidad y mejorar su eficacia sobre hidrocarburos de alta viscosidad. Por ejemplo, en la actualidad se desarrollan geles dispersantes para prolongar el contacto con los hidrocarburos y mejorar la penetración del disolvente.

Algunos hidrocarburos son particularmente propensos a formar emulsiones de agua en hidrocarburos (especialmente aquellos que presentan un contenido de asfaltenos relativamente alto (>0,5%) y una concentración combinada de níquel/vanadio superior a 15 partes por millón (ppm)). Sin embargo, si la emulsión no es estable, los dispersantes concentrados pueden tener la capacidad de romperla, lo que libera el agua y permite que una segunda aplicación de dispersante logre dispersar los hidrocarburos relativamente líquidos generados. Si la emulsión se ha disgregado con éxito, deberían observarse manchas aisladas de hidrocarburos puros reflectantes.



▲ **Figura 5: el tratamiento ineficaz de un fueloil pesado con dispersante se caracteriza por un penacho blanco en el agua. Los hidrocarburos no se ven afectados.**

Los productos ligeros, como diesel, gasolina y queroseno, no forman emulsiones fácilmente, sino que se esparcen para formar películas muy finas de hidrocarburos o brillos sobre la superficie del agua, que se evaporan o disipan rápidamente sin necesidad de utilizar dispersantes. Independientemente de esto, no se recomienda el uso de dispersantes sobre productos ligeros o sobre brillos derivados de un petróleo crudo o de fueloil debido a que las gotas de dispersante tienden a “perforar” la película fina hasta el agua subyacente y provocan el “agrupamiento” de los hidrocarburos. El dispersante en el agua provoca que la película de hidrocarburos retroceda inmediatamente, lo que crea un área de agua limpia que no debe confundirse con dispersión (Figura 7). Los dispersantes formulados para uso sobre hidrocarburos minerales han demostrado tener un efecto reducido o ningún efecto sobre hidrocarburos no minerales, como aceite de palma o aceite de colza.

Selección de dispersantes

Los dispersantes se fabrican con diferentes formulaciones y su eficacia varía según el tipo de hidrocarburos. Pueden realizarse pruebas de laboratorio para valorar la eficacia de un dispersante con respecto a otro para un tipo de hidrocarburos en particular, y algunos países exigen a los operadores de instalaciones de producción de hidrocarburos y terminales petroleras, en las que se conocen los tipos de hidrocarburos producidos y manipulados, realizar estudios para identificar el dispersante más eficaz para los hidrocarburos de que se trate. Sin embargo, se recomienda cautela al extrapolar los resultados de estos estudios para anticipar la cantidad de hidrocarburos que se dispersará en el mar, puesto que resulta difícil replicar de forma precisa las condiciones presentes en el mar en un entorno de laboratorio. Para fines de planificación, normalmente se utiliza una dosis de 1:20, dispersante concentrado Tipo III a hidrocarburos, y habitualmente se preconfiguran los equipos de rociado para obtenerla. Esta dosis puede reducirse en ocasiones para hidrocarburos frescos y, por el contrario, aumentarse para hidrocarburos viscosos o emulsionados, para los que es posible que se necesite más de una aplicación.

Conflictos con otros métodos de respuesta

En un siniestro de grandes dimensiones, es necesario coordinar todas las acciones de respuesta para asegurar que el uso de dispersantes no se solape o entre en conflicto con otras técnicas de respuesta. Por ejemplo, los hidrocarburos dispersos en la columna de agua no pueden contenerse mediante barreras ni recolectarse con skimmers. Además, los hidrocarburos se adhieren a muchos materiales adsorbentes, como polipropileno, como resultado de la tensión superficial relativa de los



▲ **Figura 6: inicio de dispersión después de la aplicación sobre petróleo Forties durante el derrame del SEA EMPRESS. (Imagen gentileza de AEA Technology).**



▲ *Figura 7: aplicación de dispersante sobre brillos desde tangones de rociado instalados en una embarcación; se produce un agrupamiento de los hidrocarburos, en lugar de dispersión.*

hidrocarburos. Los dispersantes modifican la tensión superficial de los hidrocarburos, por lo tanto la eficacia de los materiales adsorbentes puede reducirse considerablemente debido al uso de dispersantes. Los skimmers oleofílicos se verán afectados de forma similar cuando se utilicen junto con dispersantes.

Métodos de aplicación

Los dispersantes pueden aplicarse desde embarcaciones o aeronaves los hidrocarburos derramados en aguas abiertas. Las aeronaves grandes con varios motores ofrecen ventajas de carga útil para la aplicación sobre vertidos importantes mar adentro aunque, junto con embarcaciones, helicópteros y aeronaves ligeras pueden resultar adecuadas para el tratamiento de derrames más pequeños que se encuentran más cerca de la orilla.

Es importante que los sistemas de rociado produzcan gotas de dispersante del tamaño correcto. Resulta necesario que las gotas sean suficientemente grandes como para superar los efectos de la deriva del viento y la pérdida por evaporación, aunque no tan grandes como para que perforan a través de los hidrocarburos en lugar de migrar hasta la interfaz hidrocarburos/agua. El tamaño óptimo de la gota de dispersante se encuentra entre 600 y 800 μm de diámetro.

El rociado de dispersante sobre agua o brillos es ineficaz e implica un derroche de recursos valiosos. Por lo tanto, el objetivo inmediato



▲ *Figura 9: un Air Tractor rociando desde un tangón de rociado bajo el ala sobre petróleo crudo derramado desde una plataforma mar adentro. (Imagen gentileza de Mark Hamilton Photography).*



▲ *Figura 8: aplicación de dispersante mediante monitores contra incendios en un remolcador; se muestra el esparcimiento del dispersante y el efecto del viento.*

debe ser la parte más gruesa de la mancha de hidrocarburos, antes de que la meteorización del mismo o los cambios en las condiciones del mar anulen el efecto de los dispersantes.

Rociado desde embarcaciones

El rociado de dispersantes desde embarcaciones normalmente se aplica a través de un conjunto de boquillas instaladas sobre tangones de rociado (*Figura 7*). Bombas eléctricas o de diesel transfieren el dispersante desde un depósito de almacenamiento hasta el tangón de rociado, que incorpora un conjunto de boquillas calibradas para producir un patrón de rociado uniforme de gotas a lo largo de la longitud del tangón. Las unidades de rociado pueden ser portátiles o estar instaladas de forma permanente en una embarcación y se dispondrá de sistemas preparados para aplicar el dispersante sin diluir o diluido en agua de mar.

Los tangones de rociado funcionan con más eficacia si se instalan en la posición más adelantada posible en la embarcación, para evitar que las olas de proa empujen los hidrocarburos fuera del ancho del patrón de rociado, o ancho de banda de rociado. El montaje de tangones de rociado en la proa permite que la embarcación se desplace más rápido y, ya que a menudo el francobordo es mayor en la proa, también permite que los tangones sean más largos. Esto optimiza la tasa de encuentro, esto es, la cantidad de hidrocarburos que puede tratarse con una carga útil de dispersante limitada. Sin embargo, si los tangones



▲ *Figura 10: aplicación de dispersante desde una aeronave con varios motores. En este caso, se consideró beneficioso realizar la aplicación en aguas poco profundas.*



▲ *Figura 11: un helicóptero, con un sistema de rociado bajo el chasis, aproximándose a un derrame fresco de fueloil. Para que resulte eficaz, sería necesario realizar la aplicación desde una altitud más baja. (Imagen gentileza de Guardacostas de la India).*

son demasiado largos existe el riesgo de que sufran daños cuando la embarcación se balancee en marejadas.

En ocasiones se utilizan mangueras contra incendios o monitores contra incendios (*Figura 8*) para aplicar dispersantes concentrados diluidos en la corriente de agua. Sin embargo, resulta difícil conseguir una dilución óptima del dispersante debido a los caudales muy elevados y a la dificultad de aplicar el dispersante como un rociado uniforme de gotas. La alta presión del chorro de agua también plantea el riesgo de que el dispersante atraviese los hidrocarburos. Por lo tanto, el uso de monitores contra incendios probablemente conlleve un desperdicio de dispersante y una aplicación ineficaz, a menos que se modifiquen especialmente para este propósito.

Las embarcaciones ofrecen ventajas para el rociado de dispersante porque normalmente están fácilmente disponibles, son fáciles de cargar y pueden aplicar dispersante con relativa precisión en áreas específicas de una mancha. Presentan ventajas de coste con respecto a las aeronaves y pueden transportar mayores cargas útiles. No obstante, también presentan graves limitaciones, en particular para derrames más grandes, debido a la baja tasa de tratamiento y a la dificultad de localizar las concentraciones más pesadas de hidrocarburos desde el puente de una embarcación, aunque este último problema puede superarse en parte si se dirige la operación desde una aeronave de avistamiento.

Rociado aéreo

La aplicación de dispersantes desde aeronaves ofrece las ventajas de una rápida respuesta, tasas de tratamiento altas y uso óptimo del dispersante. En términos generales, se utilizan tres categorías de aeronaves de ala fija: aeronaves diseñadas para operaciones agrícolas (*Figura 9*), que requieren pequeñas modificaciones para la aplicación de dispersantes, aeronaves que se han adaptado específicamente para la aplicación de dispersantes y aeronaves de carga con depósitos modulares (*Figura 10*). Se han adaptado algunos helicópteros con tangones de rociado fijos, mientras que otros tienen capacidad para transportar sistemas de rociado de cubeta bajo el chasis, normalmente sin necesidad de realizar modificaciones importantes (*Figura 11*). Los helicópteros ofrecen la posibilidad de recargar dispersantes desde una embarcación o plataforma

petrolífera para operaciones mar adentro.

La aeronave ideal para un siniestro dado se determinará principalmente por el tamaño y ubicación del derrame, aunque la disponibilidad local será el factor principal. La aeronave debe tener la capacidad de volar de forma segura a bajas altitudes (normalmente 15 - 30 metros para aeronaves más grandes) y a velocidades relativamente bajas (25 - 75 m/s) y deben permitir gran maniobrabilidad. El consumo de combustible, carga útil, distancia entre el derrame y la base operativa, tiempos de respuesta y la capacidad de operar desde pistas de aterrizaje cortas o improvisadas son consideraciones importantes para seleccionar la aeronave adecuada.

Los dispersantes Tipo III son los más adecuados para rociado aéreo, ya que la baja dosis (normalmente 1:20, dispersante a hidrocarburos) aprovecha mejor la carga útil limitada. Los sistemas de rociado desde aeronaves se componen de una bomba que extrae dispersante a una tasa controlada desde un depósito hasta tangones de rociado instalados en la aeronave. El dispersante se descarga bien a través de boquillas de presión o desde unidades giratorias accionadas por el viento, espaciadas a intervalos regulares a lo largo de los tangones de rociado, que están diseñadas para producir gotas de dispersante del tamaño óptimo. Ambos tipos de unidades de descarga pueden emplearse en la mayoría de aeronaves ligeras y helicópteros, aunque las aeronaves más grandes utilizan boquillas de presión.

Aplicación desde la costa

Una vez que se hayan retirado los hidrocarburos más gruesos de las costas afectadas, en ocasiones se utilizan dispersantes como agentes de limpieza para retirar los hidrocarburos restantes de superficies duras como rocas, escolleras y otras estructuras fabricadas por el hombre. Normalmente se aplican desde sistemas de mochila y se cepillan con fuerza para que penetren en los hidrocarburos antes de lavar con agua de mar. Los hidrocarburos dispersos no pueden retirarse y, por este motivo, cuando se aprueba el uso de dispersantes en costas, normalmente se limita a áreas de baja preocupación medioambiental aunque de alto valor recreativo. También se pueden emplear limpiadores de costas formulados específicamente para la tarea. Sin embargo, estos productos actúan de una forma diferente a los dispersantes, puesto que la intención es retirar los hidrocarburos liberados. Se suelen transportar desengrasante a bordo de embarcaciones para realizar la limpieza de la sala de máquinas, aunque la mayoría son más tóxicos que los dispersantes y no deben utilizarse como un dispersante en el mar o como limpiadores de costas.

Tasa de aplicación

Para calcular la tasa de aplicación adecuada, debe determinarse la relación de dispersante a hidrocarburos necesaria para obtener una dispersión eficaz. Puede variar de 1:1 para dispersantes Tipo I hasta 1:50 para dispersantes Tipo III, dependiendo del método de aplicación, tipo de dispersante, tipo de hidrocarburos y condiciones predominantes. La tasa de aplicación puede calcularse en dos pasos, como se indica a continuación:

1. Estimación del volumen de hidrocarburos a tratar basada en observaciones y suposiciones en relación con el grosor medio y área de la mancha.
2. Cálculo de la cantidad de dispersante necesaria para conseguir la dosis requerida (relación dispersante: hidrocarburos)

Se ha determinado que, aunque existen considerables variaciones en el espesor de la capa de los hidrocarburos dentro de una mancha, la mayoría de los petróleos crudos se esparcen en pocas horas, por lo que el espesor medio es

de 0,1 mm (10^{-4} m). Este espesor se utiliza a menudo como la base sobre la que planificar las operaciones y permite calcular el volumen de hidrocarburos en una hectárea (10.000 metros cuadrados, 10^4m^2) como:

$$10^{-4}\text{m} \times 10^4\text{m}^2 = 1 \text{ m}^3 \text{ o } 1.000 \text{ litros}$$

En el documento de ITOF Observación aérea de hidrocarburos se ofrece información adicional relacionada con la estimación de cantidades de hidrocarburos.

Para obtener una dosis de 1:20, la cantidad de dispersante necesaria sería:

$$\text{Cantidad de dispersante} = 1.000 \text{ litros de hidrocarburos} / 20 = 50 \text{ litros.}$$

Por lo tanto, la tasa de aplicación debería ser 50 litros/hectárea (4,5 galones imperiales/acre). La tasa de descarga puede calcularse multiplicando la tasa de aplicación (litro/m^2) por la velocidad de la aeronave o embarcación (m/s) y el ancho de banda de rociado (m).

Por ejemplo, para conseguir una tasa de aplicación de 50 litros/hectárea ($0,005 \text{ litros}/\text{m}^2$) desde una aeronave desplazándose a una velocidad de 45 m/s (90 nudos) con un ancho de banda de 15 metros, la tasa de descarga requerida sería:

$$\text{Tasa de descarga} = 0,005 \text{ litros}/\text{m}^2 \times 15 \text{ m} \times 45 \text{ m}/\text{s} = 3,37 \text{ litros}/\text{s} \text{ (o aproximadamente } 200 \text{ litros}/\text{minuto}).$$

Por lo tanto, para conseguir una tasa de dosis de 1:20 y dispersar una mancha de 0,1 mm de grosor, la tasa de descarga de la bomba del sistema de rociado debería ser de 200 litros por minuto. Puede realizarse el mismo cálculo para determinar la tasa de descarga para la aplicación desde una embarcación.

La variación significativa en el grosor de los hidrocarburos dentro de una mancha implica que, en la práctica, resulte imposible evaluar la dosis óptima de forma precisa. La solución práctica y más eficiente consiste en centrarse en las partes más gruesas de la mancha. Se ha identificado que tasas de aplicación del orden de 50 litros por hectárea, como se calculó anteriormente, son adecuadas en numerosas situaciones, aunque puede resultar necesario realizar ajustes para compensar las diferencias entre diferentes tipos de hidrocarburos y condiciones medioambientales que pueden afectar adicionalmente el grosor de la mancha. La tasa de aplicación puede ajustarse cambiando la tasa de descarga de las bombas o la velocidad de la embarcación o aeronave. Además, las estimaciones del volumen de dispersante requerido para tratar una mancha deben tener en cuenta la precisión con la que pueden atacarse las acumulaciones más pesadas de hidrocarburos, con cierto margen de exceso de rociado.

Logística y control

La aplicación de dispersante es una operación especializada que requiere operadores capacitados y preparación detallada para garantizar toda la logística necesaria. Para conseguir la máxima eficacia en las operaciones, resulta deseable utilizar una aeronave de avistamiento para orientar y coordinar las embarcaciones y aeronaves de rociado. La tripulación de la aeronave de avistamiento debería tener la capacidad de identificar las concentraciones más pesadas de hidrocarburos o las manchas que planteen mayores amenazas. Necesitarán disponer de una buena comunicación con las tripulaciones de las aeronaves o embarcaciones de rociado para orientarlas hasta el objetivo, y en el caso de las aeronaves de rociado, para identificar los puntos de inicio y finalización del rociado para minimizar el exceso de rociado y el desperdicio de

dispersante. Durante el propio rociado, también puede utilizarse la aeronave de avistamiento para evaluar la precisión de la aplicación y la eficacia del tratamiento. Estas funciones resultan particularmente importantes cuando se dirige una gran aeronave de rociado con varios motores con capacidad para aplicar rápidamente grandes volúmenes de dispersante. La tripulación experimentará dificultades para distinguir entre hidrocarburos, brillos y agua a las bajas altitudes necesarias para la aplicación eficaz, especialmente si la mancha está fragmentada.

Para garantizar la seguridad, deben imponerse zonas de exclusión de aeronaves durante las operaciones de rociado aéreo. Cabe la posibilidad de que se requieran tripulaciones de relevo, ya que volar sobre el mar a baja altitud puede resultar extremadamente exigente. También se recomienda realizar revisiones periódicas de la aeronave para verificar que el dispersante no contamine los lubricantes, en el rotor de cola de los helicópteros en particular, o ataque cualquier componente de goma expuesto de los sistemas de control de vuelo de la aeronave. Se recomienda lavar con agua dulce la aeronave con frecuencia para eliminar el rociado de dispersante y agua salada.

Se necesita una buena organización en tierra para permitir que las operaciones de rociado continúen durante el máximo tiempo posible durante las horas de luz del día. Esto puede requerir que el mantenimiento periódico de la aeronave y los equipos de rociado se realice durante las horas de oscuridad. Es improbable que una única carga útil permita tratar una mancha, especialmente si la liberación es continua. Por lo tanto, será necesario disponer de suministros adicionales de dispersante, convenientemente situados, para reabastecer las embarcaciones o aeronaves con el mínimo retraso. De forma similar, debe planificarse el aprovisionamiento de combustible, especialmente para aeronaves, y los equipos necesarios para cargar embarcaciones o aeronaves, como bombas de alta capacidad y vehículos cisterna.

Para el almacenamiento a largo plazo de dispersantes, es preferible el uso de bidones de plástico, depósitos o recipientes intermedios para graneles (RIG) de 1 m^3 (Figura 12). Siempre que no se vean expuestos a la incidencia directa de la luz solar, los dispersantes almacenados sin abrir deberían mantenerse en buen estado durante años. Sin embargo, una vez abierto, deben realizarse pruebas de eficacia periódicas del dispersante. Las recomendaciones de los fabricantes incluyen una inspección visual anual junto con una comprobación de las características físicas principales, como por ejemplo densidad, viscosidad y punto de ignición del producto. Si estos parámetros físicos hubieran cambiado significativamente o se hubiera superado la



▲ Figura 12: el uso de recipientes intermedios para graneles (RIG) de 1 m^3 simplifica el almacenamiento y manipulación del dispersante. (Imagen gentileza de USCG).

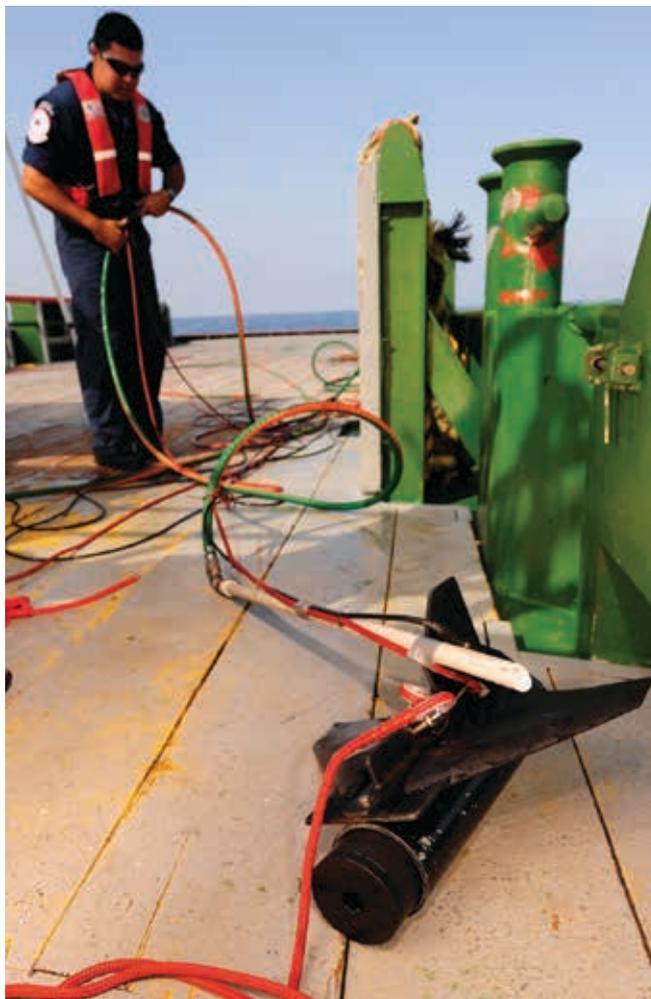
fecha de caducidad, debe realizarse una prueba de eficacia del dispersante en laboratorio. No deben mezclarse dispersantes de diferentes tipos, antigüedades o marcas en el mismo depósito o contenedor de almacenamiento, ya que se podría alterar la viscosidad del dispersante o provocar la precipitación o coagulación de algunos componentes. Los dispersantes no deben almacenarse si se han diluido con agua de mar. Una temperatura entre -15°C y 30°C resulta óptima para almacenar la mayoría de los dispersantes y los fabricantes recomiendan reducir al mínimo las fluctuaciones de temperatura durante el almacenamiento. Bajo temperaturas del aire muy frías, algunos dispersantes pueden volverse demasiado viscosos para pasar a través de las boquillas de rociado.

Monitorización de la eficacia del dispersante

Debe monitorizarse de forma continua la eficacia de la dispersión química y la respuesta debe finalizar tan pronto como el dispersante deje de tener eficacia. La observación visual de la eficacia resulta fundamental, aunque puede verse obstaculizada en condiciones meteorológicas adversas, en aguas con una elevada carga de sedimentos, cuando se dispersen hidrocarburos de colores claros y cuando haya poca luz. Evidentemente, resulta inviable realizar el rociado e inspección visual de noche.

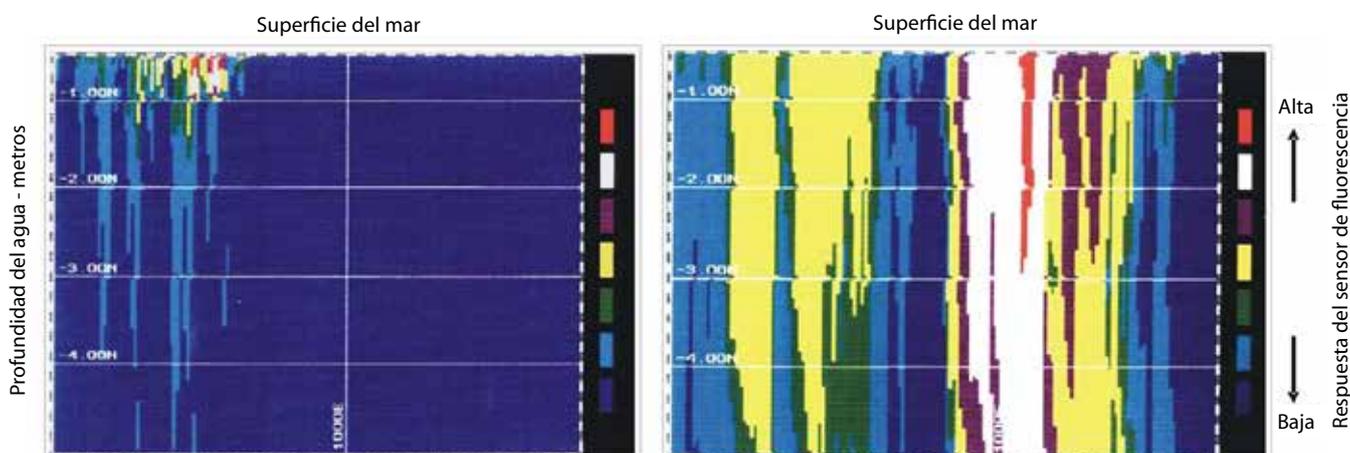
Para que la aplicación de dispersantes resulte interesante, los hidrocarburos deben dispersarse relativamente rápido después de derramarse para reducir el riesgo de que lleguen hasta la costa y a recursos sensibles. Poco después del rociado debe apreciarse un cambio de aspecto desde el aire. Indicadores de la falta de eficacia del dispersante son la inexistencia de cambios en el aspecto de los hidrocarburos, la ausencia de reducción en la extensión de los hidrocarburos o si el dispersante se escapa de los hidrocarburos para crear un penacho blanco lechoso en el agua (Figura 5). De igual forma, si los hidrocarburos se han esparcido sobre un área amplia o se han fragmentado considerablemente, es posible que la aplicación de dispersante no elimine cantidades suficientes de hidrocarburos de la superficie del agua como para conseguir una reducción significativa del daño por contaminación.

La eficacia también puede monitorizarse mediante el uso de datos en “tiempo real” sobre la concentración de hidrocarburos dispersos en la columna de agua con fluorometría ultravioleta (UVF). Detrás de un bote de toma de muestras, se remolcan uno o más fluorómetros (Figura 13) a profundidades de más de un metro debajo de la mancha para medir la variación de las concentraciones de hidrocarburos. La dispersión se demuestra mediante un

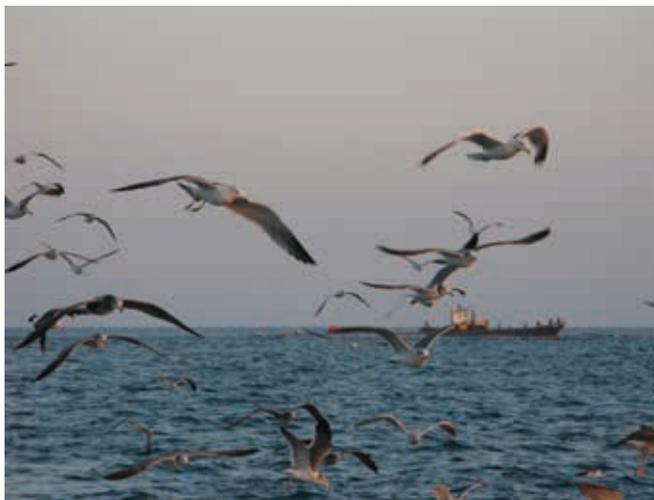


▲ Figura 13: preparación de un fluorómetro remolcado para medir la eficacia del dispersante en el mar. (Imagen gentileza de USCG).

aumento significativo de la concentración de hidrocarburos detectada por el sensor con respecto a la concentración medida antes de la aplicación del dispersante (Figura 14). Sin embargo, la UVF no puede proporcionar una medida cuantitativa de la cantidad de hidrocarburos dispersos en la columna de agua y debe emplearse en combinación con observaciones visuales para decidir si puede conseguirse una respuesta interesante.



▲ Figura 14: respuesta del fluorómetro a los hidrocarburos desde 0,5 hasta 5 metros de profundidad debajo de una mancha en la superficie antes (izquierda) y unos minutos después de la aplicación del dispersante (derecha). Los hidrocarburos se dispersan con rapidez y se diluyen después del tratamiento. (Ilustraciones gentileza de AEA Technology).



▲ *Figura 15: el uso de dispersantes puede ayudar a proteger a las aves marinas vulnerables al eliminar rápidamente los hidrocarburos de la superficie del mar.*



▲ *Figura 16: no se recomienda el uso de dispersantes en áreas sensibles como arrecifes de coral, excepto en circunstancias especiales y después de un análisis cuidadoso de las posibles consecuencias medioambientales que puede conllevar su uso.*

Consideraciones medioambientales

El uso de dispersantes puede generar controversia y, en ocasiones, dar lugar a un amplio debate en medios y foros públicos. Su uso puede percibirse como una alternativa para minimizar el posible impacto sobre recursos sensibles al evitar o reducir la contaminación de la costa, aunque en ocasiones también se considera como si se añadiera un contaminante más al medio ambiente. A pesar de las mejoras en las formulaciones de los dispersantes, la toxicidad de la mezcla de dispersante/hidrocarburos para la fauna y flora marina suele ser la principal preocupación. En algunos países, la facilidad con la que los dispersantes se biodegradan es una preocupación, por lo cual se efectúan estudios al respecto. En muchos países se diseñan procesos de aprobación del uso de dispersantes que tienen en cuenta tanto la eficacia como la toxicidad. Puede que los productos aprobados en un país no estén aprobados en otro y, si está disponible, debe consultarse la lista nacional pertinente antes de su uso.

Después de la aplicación de dispersantes en aguas abiertas, las concentraciones elevadas de hidrocarburos normalmente solo se observan en las capas superiores de la columna de agua (<10 metros) aunque se reducen rápidamente por dilución, a través del movimiento del agua. Los estudios sobre petróleos crudos han demostrado que, inmediatamente después de la aplicación de dispersantes, pueden esperarse concentraciones de hidrocarburos en el rango de 30 a 50 ppm en el agua situada justo debajo de la mancha, disminuyendo hasta 1 a 10 ppm en aproximadamente los 10 metros superiores de la columna de agua después de algunas horas. Por lo tanto, la exposición para los organismos marinos es “aguda” en lugar de “crónica” y el tiempo de exposición limitado reduce la probabilidad de efectos adversos a largo plazo. Sin embargo, no se aconseja el rociado de dispersante en aguas poco profundas, a menos que un intercambio de agua suficiente pueda asegurar la dilución adecuada del penacho de hidrocarburos dispersos.

Una estimación del potencial de dilución constituye una base útil para tomar la decisión de utilizar o no dispersantes para proteger ciertos recursos sin riesgo de provocar daños indebidos a otros recursos. Los factores que procede tener en cuenta al estimar concentraciones máximas y su duración incluyen profundidad del agua, cantidad de hidrocarburos por unidad de superficie, distancia entre el lugar de aplicación y las áreas sensibles, así como la dirección y velocidad de las corrientes.

Los dispersantes, al eliminar los hidrocarburos de la superficie del agua, minimizan el riesgo de contaminación por hidrocarburos de aves marinas (*Figura 15*) y de contaminación de costas sensibles como marismas salobres, manglares y playas turísticas. Sin embargo, los hidrocarburos eliminados de la superficie se transfieren a la columna de agua y debe ponderarse el riesgo de que se produzcan daños provocados por los hidrocarburos dispersos con respecto a las ventajas que aporta su eliminación de la superficie. En el caso de numerosas especies de peces que se desplazan libremente, su capacidad para detectar y evitar hidrocarburos en la columna de agua contribuirá a reducir su exposición potencial. Sin embargo, los corales (*Figura 16*), lechos de hierbas marinas y áreas de desove de peces pueden ser muy sensibles a los hidrocarburos dispersos y no se recomienda el uso de dispersantes si estos recursos pudieran verse afectados. De forma similar, no se aconseja el uso de dispersantes en la proximidad de jaulas para peces, criaderos de marisco u otras pesquerías en aguas poco profundas debido al riesgo creciente de contaminación. No resulta recomendable el uso de dispersantes cerca de tomas de agua industriales debido al mayor riesgo de introducción de hidrocarburos en las tomas de agua.

La decisión de usar o no dispersantes rara vez es sencilla y debe alcanzarse un equilibrio entre las ventajas y limitaciones de las diferentes opciones de respuesta (incluyendo la confianza en el efecto de los procesos naturales), la rentabilidad y el conflicto de prioridades para proteger diferentes recursos del daño por contaminación. En muchos casos, antes de la aplicación será necesario realizar una evaluación equilibrada de los beneficios netos medioambientales y económicos, consultando con las autoridades locales. El tiempo disponible para utilizar dispersantes probablemente se vea limitado por la meteorización de los hidrocarburos y su desplazamiento hacia recursos sensibles. Para evitar retrasos en el momento de un derrame, debe acordarse la decisión sobre si se utilizarán o no dispersantes y, de utilizarse, las circunstancias precisas bajo las que podrán emplearse, durante el proceso de desarrollo de las medidas de contingencia para la respuesta al derrame.

Planificación de contingencias

Los factores a tener en cuenta durante el proceso de planificación de contingencias incluyen los tipos de hidrocarburos que probablemente se vean afectados en un derrame, la eficacia del dispersante sobre estos hidrocarburos, los recursos sensibles en el área y el soporte logístico. La logística guarda

relación principalmente con la ubicación y disponibilidad de dispersantes, equipos de rociado, embarcaciones, aeronaves, pistas de aterrizaje y capacidad de reabastecimiento, así como con los despachos de aduanas para cualquier apoyo internacional que pueda requerirse en un siniestro importante. Los mapas de sensibilidad resultan particularmente útiles para indicar cuándo y dónde pueden emplearse o no los dispersantes, ya que pueden señalar influencias estacionales sobre la sensibilidad. Por ejemplo, las aves migratorias pueden estar presentes en ciertos momentos del año y las limitaciones sobre el uso de dispersantes en aguas poco profundas pueden verse anuladas para permitir la aplicación y reducir el riesgo de que las aves encuentren hidrocarburos flotantes (Figura 17). También es necesario planificar las fuentes de financiación para mantener una capacidad de respuesta eficaz del dispersante. El resultado de estas conversaciones debe documentarse claramente en un plan de contingencia.

En numerosos países, las normativas locales requieren que la autoridad nacional competente apruebe el uso de dispersantes. Es importante que el personal de respuesta disponga de una política de concienciación sobre el uso de dispersantes, ya que pueden surgir conflictos e imponerse multas si se utilizan dispersantes sin permiso previo o sin cumplir las normativas locales. Algunos países mantienen una lista de dispersantes aprobados para el uso basándose en pruebas de eficacia y toxicidad. La autoridad competente también puede conceder aprobaciones previas a instalaciones de manipulación de hidrocarburos o puertos, que les permita el uso de dispersantes sin necesidad de consulta adicional, siempre y cuando se hayan cumplido ciertos criterios.

La formación de personal y los ejercicios forman parte fundamental de la planificación del uso de dispersantes, como también lo son para todos los aspectos de la respuesta a derrames. Las tripulaciones operativas deben recibir formación integral sobre la aplicación de dispersantes y sobre la seguridad. Deben realizarse ejercicios prácticos periódicos para movilizar recursos y desplegar equipos de rociado.



▲ *Figura 17: con frecuencia se utilizan mapas de sensibilidad en planes de contingencia para delinear dónde y cuándo pueden emplearse dispersantes. En el ejemplo, se prohíbe el uso de dispersantes en el área roja debido a que se realiza pesca comercial durante todo el año, aunque se aprueba previamente de forma estacional el tratamiento de los hidrocarburos alrededor de una colonia de aves en Pelican Island (azul). En circunstancias especiales, puede permitirse el uso en aguas poco profundas, cerca de tierra firme; por ejemplo, para proteger manglares o marismas, ya que ambos son muy sensibles a los hidrocarburos varados.*

Puntos clave

- Los dispersantes mejoran la disgregación natural de los hidrocarburos, eliminándolos de la superficie del agua hasta la columna de agua en forma de numerosas gotas pequeñas que se diluyen rápidamente y, finalmente, se biodegradan.
- La mayoría de los dispersantes no pueden dispersar hidrocarburos muy viscosos y emulsiones estables.
- El rociado de dispersante sobre brillos de hidrocarburos resulta ineficaz y representa un uso desaconsejable de recursos.
- En el caso de la mayoría de petróleos crudos y algunos fueloils derramados al mar, existe una breve ventana de oportunidad en la que el uso de dispersantes resultará eficaz, y una respuesta rápida y bien planificada resulta fundamental.
- Mientras que las embarcaciones son adecuadas para tratar pequeños derrames de hidrocarburos cerca de puerto, las aeronaves grandes con varios motores representan potencialmente una respuesta más eficaz para derrames importantes mar adentro.
- En mar abierto, las observaciones indican que las concentraciones de hidrocarburos dispersos en la columna de agua se reducen en el plazo de horas a niveles inferiores a los que presentan posibilidades de provocar efectos perjudiciales a largo plazo para los microorganismos marinos.
- Los dispersantes pueden minimizar de forma rápida y eficaz los daños para los animales presentes en la superficie, como aves marinas, y para los recursos costeros sensibles, como manglares.
- Debe evitarse la aplicación de dispersantes cuando el penacho de hidrocarburos dispersos puedan provocar daños en recursos sensibles como coral, criaderos de marisco o tomas de agua industriales.
- Un plan de contingencia bien preparado y estudiado, y una política clara para el uso del dispersante acordado, aumentan considerablemente las posibilidades de eficacia de la operación con dispersante.

DOCUMENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA

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

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



ITOPF Ltd

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

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

E-mail: central@itopf.org
Web: www.itopf.org