

*SERIE
INFORMES
DE IPIECA*

VOLUMEN CINCO

DISPERSANTES Y SU PAPEL EN LA RESPUESTA A DERRAMES DE HIDROCARBUROS

2ª edición, noviembre de 2001



International Petroleum Industry Environmental Conservation Association



Producido en asociación con ARPEL

*SERIE
INFORMES
DE IPIECA*

VOLUMEN CINCO

DISPERSANTES Y SU PAPEL EN LA RESPUESTA A DERRAMES DE HIDROCARBUROS

2ª edición, noviembre de 2001



International Petroleum Industry Environmental Conservation Association

5th Floor, 209–215 Blackfriars Road, Londres SE1 8NL, Reino Unido

Teléfono: +44 (0)20 7633 2388 Fax: +44 (0)20 7633 2389

E-mail: info@ipieca.org Internet: www.ipieca.org

Encargados de la revisión de la traducción al español: Miguel Moyano (ARPEL) y Dario Miranda (ECOPETROL)

© IPIECA 2001. Quedan reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse, almacenarse en un sistema recuperable o transmitirse de cualquier forma o mediante cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia o grabación, o de cualquier otro tipo, sin el consentimiento previo de IPIECA.

Esta publicación se imprime en papel fabricado a partir de fibras obtenidas de bosques de coníferas cultivados de manera sostenible y blanqueadas sin dañar al medio ambiente.

CONTENIDO

2 PREFACIO

3 INTRODUCCIÓN

4 DISPERSANTES Y CÓMO FUNCIONAN

Dispersión natural
Emulsificación de tipo agua en aceite
El efecto de los dispersantes

7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISPERSANTES

8 TIPOS DE DISPERSANTES DISPONIBLES

9 QUÉ PUEDEN Y QUÉ NO PUEDEN HACER LOS DISPERSANTES

Propiedades del hidrocarburo derramado
Meteorización de los hidrocarburos
Tipos de dispersante, métodos de aplicación y tasas de tratamiento

15 USO DE DISPERSANTES EN EL DERRAME DE PETRÓLEO DEL SEA EMPRESS

17 EFECTIVIDAD Y PRUEBAS DE TOXICIDAD

19 ¿ROCIAR O NO ROCIAR?

Análisis del beneficio ambiental neto
Hidrocarburos dispersados en la columna de agua
Experimentos de campo
Consideraciones económicas

24 EL EXPERIMENTO SEARSPORT

26 DISPERSANTES Y PLANIFICACIÓN DE CONTINGENCIAS

Aprobación previa para aplicación de dispersantes

28 EJEMPLOS DE ESCENARIOS

30 OPCIONES DE APLICACIÓN

31 USO DE DISPERSANTES EN LA RIBERA

32 CONCLUSIONES

33 AGRADECIMIENTOS, LECTURAS ADICIONALES Y REFERENCIAS

PREFACIO

Este informe es uno de una serie encargada por la International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA). La primera edición de este informe se publicó en 1993; esta segunda edición proporciona información actualizada sobre avances significativos en el campo de los dispersantes para derrames de hidrocarburos. La serie completa de informes representa la contribución colectiva de los miembros de IPIECA al debate global sobre preparación y respuesta a los derrames de hidrocarburos.

Al preparar estos informes, que representan el consenso de las opiniones de los miembros, IPIECA se ha guiado por un conjunto de principios que toda organización asociada con el transporte de productos petrolíferos por mar, debería estimular su consideración cuando gestione operaciones relacionadas con el transporte, la manipulación y el almacenaje de hidrocarburos y productos del petróleo:

- Es de la máxima importancia concentrarse en la prevención de los derrames.
- A pesar de los enormes esfuerzos de las organizaciones individuales, los derrames seguirán produciéndose y afectarán al medioambiente local.
- La lucha contra los derrames debe buscar minimizar la gravedad de los daños ambientales y acelerar la recuperación de cualquier ecosistema dañado.
- La respuesta a derrames debe buscar siempre complementar y hacer uso de las fuerzas naturales en la máxima medida posible.

En términos prácticos, esto requiere que los procedimientos operativos del transporte, almacenamiento y manipulación del petróleo y de los productos del petróleo (hidrocarburos) hagan hincapié en la alta prioridad que la administración debe dar a los controles preventivos para evitar derrames. Reconociendo la inevitabilidad de futuros derrames, los responsables de la gestión también deben dar gran prioridad al desarrollo de planes de contingencia que garanticen una rápida respuesta para mitigar el efecto adverso de cualquier derrame. Estos planes deben ser lo suficientemente flexibles como para proporcionar una respuesta apropiada a la naturaleza de la operación, el tamaño del derrame, la geografía local y el clima. Los planes deben apoyarse en los recursos disponibles, mantenidos en un alto grado de preparación en términos de personal y de equipo de apoyo. Es necesario realizar ensayos y ejercicios para entrenar al personal en todas las técnicas de control y mitigación de derrames, y para proporcionar los medios que permitan poner a prueba los planes de contingencia. Con el fin de que éstos tengan la mayor efectividad, los ejercicios deben llevarse a cabo en conjunción con representantes de los sectores público y privado.

Debe reconocerse la eficacia potencial de los acuerdos de cooperación y de *joint venture* entre compañías y terceras partes contratadas para la respuesta a derrames de hidrocarburos. Se estimulan las revisiones y evaluaciones periódicas de dichos medios para garantizar el mantenimiento de estándares de eficacia y capacidad.

La estrecha cooperación entre la industria y las administraciones nacionales en la planificación de contingencias garantizará el máximo grado de coordinación y entendimiento entre los planes de la industria y del gobierno. En este esfuerzo de cooperación se deben incluir los intentos de los gobiernos por apoyar las medidas de conservación del medio ambiente en las áreas de operación de la industria.

Aceptando que los medios de comunicación y el público en general tienen un interés directo en la conducta de la industria petrolífera, en particular en relación con los derrames de hidrocarburos, es importante trabajar de manera constructiva con los medios de comunicación y directamente con el público para disipar sus temores. También resulta deseable dar seguridad de que la respuesta a los incidentes será rápida y completa, dentro de las limitaciones previstas en cualquier capacidad de respuesta definida.

Es importante que las medidas de limpieza se lleven a cabo utilizando técnicas, incluidas aquellas para la eliminación de los residuos, que minimicen tanto el daño ecológico como a los servicios públicos. El aprendizaje y la difusión de las lecciones de la investigación y de los derrames accidentales, se aceptan como un componente importante de la contribución a la gestión de la lucha contra los derrames de hidrocarburos, especialmente en relación con los métodos de prevención, contención y mitigación, incluidos los medios mecánicos y químicos.

INTRODUCCIÓN

Consideremos algunos de los peores y más penosos efectos de los grandes derrames de hidrocarburos. Fauna moribunda cubierta de hidrocarburos; mariscos ahogados en la orilla; manglares llenos de hidrocarburos y de árboles moribundos. Vale la pena considerar cualquier método de respuesta que pueda ayudar a minimizar esta destrucción.

Los dispersantes son una opción de ese tipo. Al romper las manchas, pueden suavizar los efectos asociados a la sofocación y al cubrimiento por hidrocarburos. Existen claras pruebas científicas que demuestran que en algunos casos pueden reducir los daños biológicos. Sin embargo, los dispersantes no son una panacea. El objetivo de este informe es proporcionar una visión equilibrada sobre cuándo es apropiado utilizarlos y cuándo no lo es, con referencia en particular a las preocupaciones ambientales.

Siempre que es posible, se utiliza información 'de la vida real' de derrames ocurridos y de experimentos de campo, y se considera además la dispersión como opción en la planeación de contingencias.

A handwritten signature in black ink that reads "Jennifer M. Baker". The signature is written in a cursive, flowing style.

Jenifer M. Baker

DISPERSANTES Y CÓMO FUNCIONAN

Es del dominio público que el aceite y el agua no se mezclan fácilmente. El hidrocarburo derramado flota en la superficie del mar en condiciones de calma. La acción de mezcla de las olas puede provocar que el hidrocarburo y el agua se combinen de dos formas:

- **Dispersión natural:** Las olas rompen la mancha de hidrocarburos y forman gotitas de hidrocarburos que quedan suspendidas temporalmente en el agua. La gran mayoría de estas gotitas de hidrocarburos serán lo suficientemente grandes como para que rápidamente floten de nuevo hacia la superficie y vuelvan a formar la mancha de hidrocarburos. Sin embargo, una pequeña porción del hidrocarburo estará en forma de minúsculas gotitas que tendrán una flotabilidad casi neutral. Estas pequeñísimas gotas de hidrocarburos seguirán dispersas en el agua casi indefinidamente, siendo empujadas repetidamente hacia el fondo por la acción de las olas conforme van ascendiendo lentamente.
- **Emulsificación de tipo agua en aceite:** La acción mezcladora de las olas también puede dar lugar a que se incorporen al hidrocarburo gotitas de agua formando una emulsión del tipo agua en aceite, a menudo aludida como ‘mousse de chocolate’. La emulsión tiene una viscosidad mucho más alta que la del hidrocarburo del que se forma. El volumen de la emulsión puede aumentar eventualmente hasta cuatro veces el del hidrocarburo derramado, dado que las emulsiones contienen normalmente hasta un 75 por ciento de agua, por volumen.

Aún cuando las emulsiones son viscosas, persistentes y pueden crear serios problemas de limpieza de las costas, el hidrocarburo dispersado se puede diluir en el mar para alcanzar concentraciones extremadamente pequeñas, muy por debajo de las que podrían tener impacto sobre la vida marina.

La fuerza motriz, tanto de la dispersión natural como de la emulsión del tipo agua en aceite, la proporciona la energía de las olas; los petróleos crudos con baja viscosidad se dispersarán de manera natural hasta un nivel significativo en mares agitados, pero éstos también pueden ocasionar una emulsificación rápida. El aumento de la viscosidad ocasionado por la evaporación de los componentes más volátiles de un hidrocarburo, creará resistencia hacia los efectos de las olas de convertir la mancha en pequeñas gotas. Este aumento de viscosidad también estimula la formación de emulsiones porque las gotitas de agua son más lentas de drenar en un hidrocarburo con una viscosidad más alta. Se forman emulsiones estables cuando se precipitan los asfaltenos desde adentro del hidrocarburo. Los asfaltenos son sustancias pesadas, parecidas al alquitrán, que están presentes en alguna proporción en todos los petróleos crudos. No están verdaderamente en solución, sino que otros materiales presentes en el petróleo los mantienen en una suspensión microscópica. Conforme

cambia la composición del petróleo derramado debido a la evaporación de los componentes más volátiles, los asfaltenos se precipitan. Los asfaltenos precipitados forman un revestimiento elástico y estabilizador en torno a las gotitas de agua arrastradas y evita que se combinen y se reacomoden.

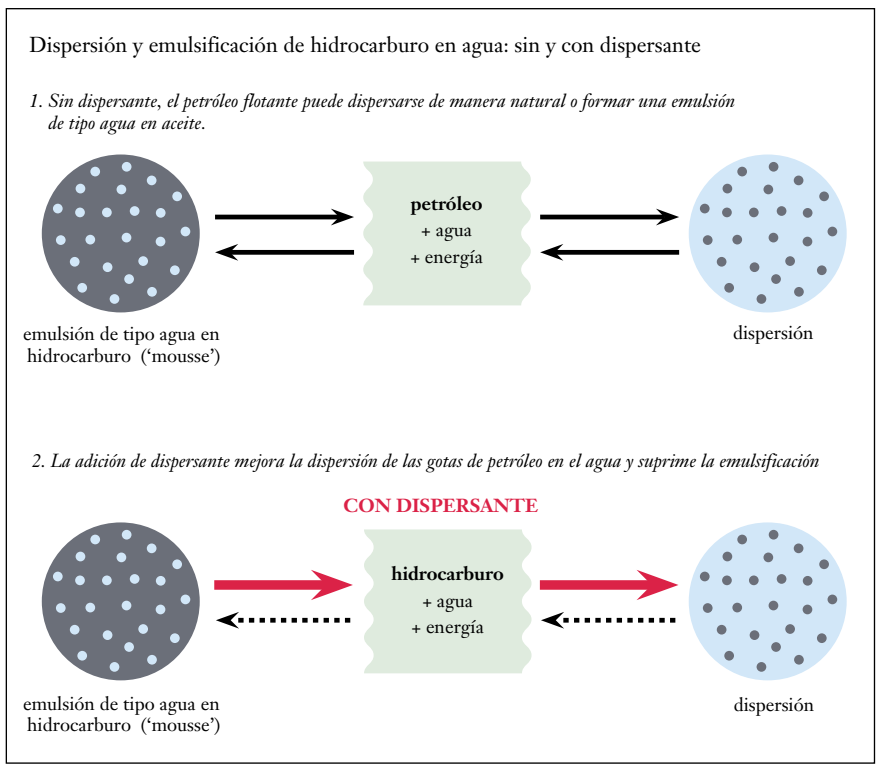
Las tasas relativas de dispersión natural y de emulsificación dependen de las condiciones del mar y de la composición del hidrocarburo. Los crudos livianos recién derramados tienden inicialmente a dispersarse de manera natural, pero la tasa de dispersión se ve reducida en gran medida conforme el hidrocarburo se emulsiona. Aquellos crudos alterados por los agentes atmosféricos y con un alto contenido de asfaltenos tienden preferentemente a formar emulsiones.

El efecto de los dispersantes

Los dispersantes alteran el equilibrio entre la dispersión natural y la emulsificación, acercando el equilibrio hacia la dispersión y alejándolo de la emulsificación.

Los ingredientes activos en los dispersantes, los surfactantes o agentes tensoactivos (ver el cuadro en la página 6), alteran las propiedades de la interfaz hidrocarburo/ agua, de forma tal que la misma cantidad de energía producida por el oleaje, genera una proporción mucho más grande de pequeñísimas gotas de hidrocarburos, suprimiendo por otro lado la emulsificación.

Al aplicar dispersante en el hidrocarburo derramado, es posible inhibir la formación de emulsiones a la vez que se fomenta la dispersión de la mancha.

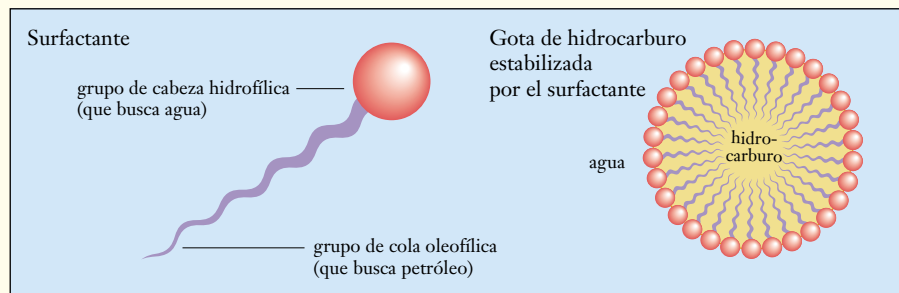


DISPERSANTES: LOS INGREDIENTES ACTIVOS

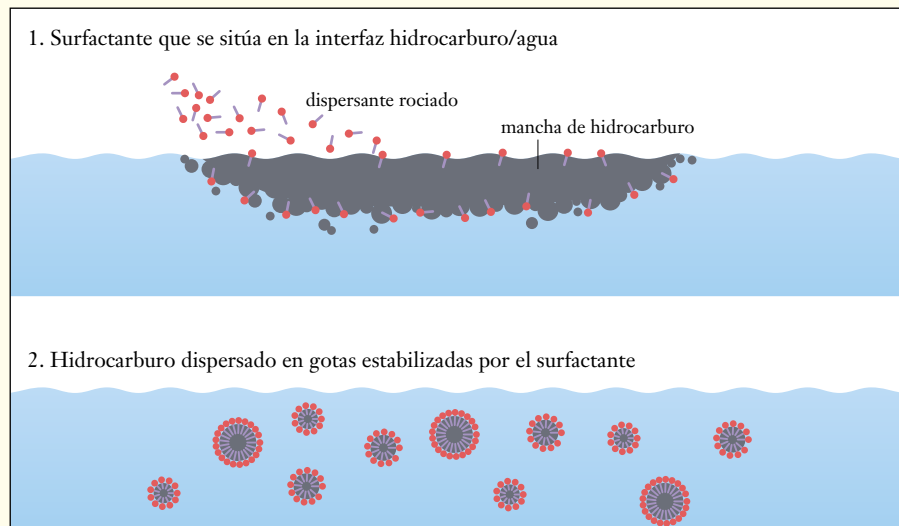
Los dispersantes fomentan la formación de numerosas y minúsculas gotas de hidrocarburos y retardan la recoalescencia de dichas gotas para formar manchas nuevamente. Esto ocurre porque los dispersantes contienen surfactantes (agentes tensoactivos) que reducen la tensión interfacial entre el hidrocarburo y el agua. Las moléculas de los surfactantes

poseen grupos de cabeza hidrofílica (que buscan el agua) que se asocian con las moléculas de agua y colas oleofílicas (que buscan el hidrocarburo) que se asocian al hidrocarburo. De este modo, las moléculas del surfactante rodean a las gotitas de hidrocarburos y las estabilizan. Esto ayuda a estimular la dilución rápida mediante los movimientos del agua.

Los surfactantes están compuestos de partes: un grupo de cabeza hidrofílica, que busca el agua y un grupo de cola oleofílica que busca el hidrocarburo. Esto les permite estabilizar las gotitas de hidrocarburos.



La figura muestra al surfactante que se sitúa en la interfaz agua/hidrocarburo (1) y el hidrocarburo dispersado en gotitas estabilizadas por el surfactante (2).



VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISPERSANTES

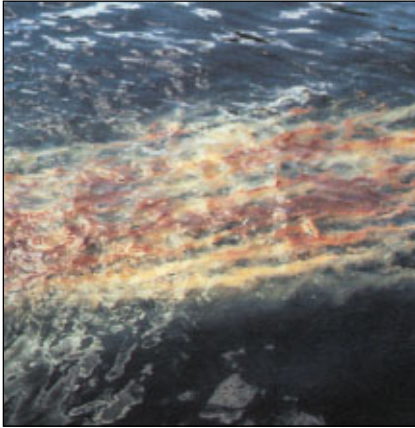
La dispersión del hidrocarburo tiene varias ventajas:

- La remoción del hidrocarburo de la superficie del mar beneficia a los organismos marinos, como las aves y los mamíferos, y a los hábitats que corren riesgo de ser contaminados por la mancha de hidrocarburos flotante.
- La formación de miríadas de minúsculas gotas de hidrocarburos mejora la posibilidad de biodegradación del hidrocarburo al incrementar su superficie de contacto, aumentando de este modo su exposición a las bacterias nativas y al oxígeno.
- El hidrocarburo dispersado en la columna de agua ya no deriva con el viento, estando solamente bajo la influencia de las corrientes y de las mareas. La dispersión puede ser una buena técnica para proteger las costas o los recursos sensibles situados a favor del viento en un derrame de hidrocarburos.
- Es posible aplicar dispersantes utilizando aeronaves, de forma tal que se pueden tratar rápidamente grandes áreas en comparación con los métodos de respuesta alternativos.
- Las gotas de hidrocarburo dispersado de manera natural o química podrían asociarse a partículas de sedimento en aquellas zonas en donde la concentración de sedimentos suspendidos es muy alta (en la rompiente del oleaje o en algunos estuarios). La ligera flotabilidad del hidrocarburo y la densidad del sedimento producirán un 'agregado' de flotación neutra. Estos agregados pueden ser transportados largas distancias por las más ligeras corrientes y el hidrocarburo se distribuirá de un modo muy difuso, en un área muy grande y en concentraciones extremadamente bajas.

La principal desventaja potencial de la dispersión del hidrocarburo es el aumento localizado y temporal de la concentración de hidrocarburos en agua, que podría afectar a la vida marina en las proximidades de la operación de dispersión.

Sopesar las ventajas y las desventajas de éstos y otros aspectos del uso de dispersantes es un proceso de importancia primordial que se aborda en las siguientes secciones de este informe.

TIPOS DE DISPERSANTES DISPONIBLES



Hidrocarburo tratado con dispersantes desintegrándose en nubes de pequeñas gotas.

A principios de los años 70 se desarrollaron los primeros dispersantes de baja toxicidad. Se conocían como dispersantes ‘base hidrocarburos’, ‘convencionales’ o del Tipo 1 (clasificación del Reino Unido). El disolvente utilizado era el keroseno con un contenido aromático muy bajo y también contenían una baja concentración de surfactantes. Esto era necesario para que el dispersante se pudiese rociar desde los equipos disponibles en ese entonces acoplados a botes y barcos. Aunque de baja toxicidad, estos primeros dispersantes (algunos de los cuales todavía están disponibles en la actualidad) eran poco efectivos y era necesario utilizarlos con tasas de tratamiento muy altas de 1 parte de dispersante por 2 ó 3 partes de hidrocarburos. Los botes tenían que volver a puerto con frecuencia para abastecerse nuevamente de dispersante. Se necesitaban dispersantes más eficaces. Los dispersantes con un contenido más elevado de surfactantes habrían sido más eficaces, pero esto ocasionaba una mayor viscosidad del dispersante que la necesaria para poder rociarse fácilmente con el equipo disponible. Esta dificultad se superó utilizando agua de mar como sustituto de algunos de los solventes. Se añadieron dispersantes que se disolvían en agua o del Tipo 2 (clasificación del Reino Unido) al agua de mar durante el rociado.

Dispersantes de mayor rendimiento fueron fabricados empleando mezclas de diferentes tipos de surfactantes. Éstos se conocen como dispersantes ‘concentrados’ o de ‘3ª generación’. El primer dispersante concentrado se desarrolló en 1972 y las formulaciones continuaron durante los 80 y los 90. Los dispersantes concentrados modernos contienen un contenido tenso-activo mucho más alto que los dispersantes más antiguos (de aquí el nombre de ‘concentrados’). Se pueden rociar sin diluir (como los dispersantes del Tipo 3 en el sistema de clasificación del Reino Unido) o diluidos con agua (Tipo 2 en la clasificación del Reino Unido). Cuando se rocían sin diluir desde una aeronave (de ala fija o helicópteros) o desde barcos, la tasa de tratamiento requerida es de una parte de dispersante por 20–30 partes de hidrocarburos. Éste es el modo más eficaz de utilizar los dispersantes modernos.

La mayoría de los dispersantes modernos también pueden rociarse desde botes y barcos en forma de mezclas de dispersante y agua de mar. Esto sólo puede realizarse mediante equipos de rociado apropiados que mezclen la cantidad correcta de dispersante (10 por ciento del volumen) en agua de mar (90 por ciento del volumen), conforme se rocía la mezcla. Cuando se rocía de este modo, se recomienda que una parte de la mezcla se rocíe sobre 2–3 partes de hidrocarburo derramado. Aunque este método de rociado es apropiado para dispersar petróleos crudos ligeros y medios, no debe utilizarse en petróleos pesados o en hidrocarburos que han estado en el mar durante algún tiempo, porque el dispersante diluido en agua se elimina fácilmente por la acción de las olas, antes de que pueda tener el efecto requerido.

QUÉ PUEDEN Y QUÉ NO PUEDEN HACER LOS DISPERSANTES

Los dispersantes funcionan mejorando enormemente la tasa de dispersión natural causada por la acción de las olas. Son más efectivos cuando hay oleaje que cuando el mar está en calma. Los dispersantes son efectivos con la mayoría de los crudos, pero tienen algunas limitaciones.

Los dispersantes funcionan mejor si se aplican tan pronto como sea posible después de la ocurrencia de un derrame de hidrocarburos. Los cambios en la composición del hidrocarburo y de sus propiedades físicas, ocasionados por la pérdida de los componentes más volátiles del hidrocarburo mediante la evaporación y la formación de emulsiones (conocido colectivamente como ‘meteorización’ del hidrocarburo), disminuyen progresivamente la efectividad de los dispersantes. Estos cambios se producen a una tasa que depende de la composición del hidrocarburo, de la

ubicación de la embarcación/derrame	observaciones
1979: <i>Betelgeuse</i> , suroeste de Irlanda	Se estima que unas 1.000 toneladas de petróleo crudo se trataron con éxito durante 12 días. El petróleo estaba fluyendo del naufragio cerca de la costa, y la aplicación aérea del dispersante permitió la localización y el tratamiento eficaces de las manchas más amenazadoras.
1983: <i>Sivand</i> , este de Inglaterra	Las estimaciones de la dispersión química van de un sexto a un tercio del petróleo crudo. Dado que el derrame se produjo en un estuario, parte del petróleo tocó tierra rápidamente, antes de que se pudiese tratar.
1989: <i>Phillips Oklahoma</i> , este de Inglaterra	800 toneladas de petróleo crudo se derramaron a unas 7 millas náuticas de la costa. La aplicación aérea de dispersantes comenzó a las 3,5 horas de ocurrido el incidente y siguió durante dos días. Ninguna mancha alcanzó la zona costera: la dispersión química desempeñó un papel importante, pero hubo también algunas pérdidas de crudo por quemado, evaporación y dispersión natural.
1990: <i>Rosebay</i> , suroeste de Inglaterra	Se estima que el 75 por ciento aproximadamente de las 1.100 toneladas de petróleo crudo derramado se retiró del mar, mediante una combinación de evaporación y dispersión natural y química, desempeñando un importante papel la dispersión química. Si esto no hubiese ocurrido así, se habría formado un volumen mayor de ‘mousse’ y se habría contaminado la zona costera.
1999: <i>Blue Master</i> , Sector Estadounidense del Golfo de Méjico	45 toneladas de bunker IFO –180 que se derramó después de una colisión se dispersó completamente mediante 2,3 toneladas de un dispersante concentrado moderno. Ésta fue la primera dispersión con éxito reportada de un bunker en un derrame real.

La tabla resume información sobre la efectividad de los dispersantes en derrames accidentales seleccionados. Las estimaciones se basan normalmente en observaciones visuales, no en análisis cuantitativos.

temperatura imperante, de la velocidad del viento y de las condiciones del mar. El período de tiempo durante el cual el uso del dispersante es eficaz, la ‘ventana de oportunidad’, está estrechamente relacionado con la tasa a la que el hidrocarburo se ‘meteoriza’. Puede ser tan breve, de una hora o menos, para los hidrocarburos pesados o tan largo, de varios días, para los crudos más livianos.



Prueba marítima en Gabón (África Occidental); el dispersante se aplica desde un bote sobre un petróleo crudo liviano, en una proporción de 5–10 por ciento aproximadamente.

Se han realizado pruebas de campo en diferentes partes del mundo en un intento por identificar las condiciones en las que los dispersantes funcionan mejor. Desde los años 80, se han venido realizando varias pruebas de campo bien documentadas en varios países, incluidos Canadá, Francia, Noruega, los EEUU y el Reino Unido. Se ha utilizado Fluorometría Ultra-Violeta (UVF) para medir las concentraciones de hidrocarburos dispersado en el agua, debajo y alrededor de las manchas de prueba rociadas con dispersante. Estas exhaustivas mediciones, combinadas con muestreo de superficie y el uso extensivo de sensores remotos desde aeronaves, han permitido realizar una estimación cuantitativa de la cantidad de hidrocarburos dispersado versus el tiempo. Estas pruebas de campo han demostrado de manera concluyente que los dispersantes pueden ser muy eficaces, es decir, han tenido éxito en la eliminación rápida de la superficie del mar de la mayor parte del volumen derramado para algunos petróleos crudos, incluso cuando éstos han estado en el agua durante varios días.

Se han utilizado dispersantes con éxito en derrames de hidrocarburos reales en muchas ocasiones. La acción de los dispersantes a menudo resulta visible como la formación de una pluma o ‘nube’ de hidrocarburos de color marrón ligero, que corresponde al hidrocarburo dispersado en la columna de agua. Dichas observaciones se realizan mejor desde una aeronave. El hidrocarburo tratado con dispersantes normalmente se dispersará rápidamente, dejando sólo una pequeña capa iridiscente en la superficie. Aún cuando puede ser muy fácil observar el funcionamiento de los dispersantes en algunas ocasiones, las condiciones de visibilidad pueden ser más difíciles en otras. Con mala visibilidad, puede no ser posible observar con claridad el hidrocarburo dispersado en el agua. Puede ser complicado, entonces, evaluar si el dispersante está o no funcionando.

Se pueden obtener pruebas cualitativas de la dispersión del hidrocarburo mediante verificación visual, pero es mucho más difícil estimar el grado de eficacia de los dispersantes en un derrame de hidrocarburos real. Siempre habrá dificultades para estimar con precisión cuánto hidrocarburo se ha dispersado, aún cuando se realice seguimiento con UVF, porque la cantidad de hidrocarburo derramado o presente en la superficie del mar en un momento dado puede no conocerse con exactitud. Asimismo, es extremadamente difícil realizar mediciones exhaustivas de las concentraciones de hidrocarburos debajo de la superficie en manchas de hidrocarburos muy grandes. Puede ser difícil distinguir entre las proporciones relativas de la dispersión natural y de la química. Las mediciones UVF que muestran un aumento significativo de la concentración de hidrocarburo dispersado, en profundidades de 2 a 5 metros por debajo de la mancha tratada con dispersantes, es un buen indicador de que el dispersante está funcionando.

Las estimaciones de la efectividad de los dispersantes deben compararse con las estimaciones de la eficacia de los métodos físicos, que están más limitados por las condiciones agitadas del mar, que la aplicación de dispersantes. Cuando es apropiado, y en la mayor parte de los casos, generalmente los dispersantes pueden eliminar una proporción significativamente mayor de hidrocarburos de la superficie del agua que los métodos físicos.

VISCOSIDAD

La viscosidad es la resistencia de un fluido a fluir. La viscosidad de un hidrocarburo es un indicativo de lo fácilmente que fluye o se mueve con una fuerza aplicada, como puede ser una ola rompiente. Algunos líquidos, como el agua, tienen una baja viscosidad, mientras que otros líquidos, como el almíbar o el jarabe, tienen una elevada viscosidad. La viscosidad de un hidrocarburo aumenta según disminuye la temperatura. Sin embargo, el grado de cambio de viscosidad frente a la temperatura varía con el tipo de hidrocarburo.

El valor de la viscosidad de un hidrocarburo puede medirse y expresarse de varias formas.

- **Viscosidad dinámica (o absoluta)**

La viscosidad dinámica se mide mediante algunas técnicas analíticas, como los viscosímetros de eje rotativo. Las unidades de la viscosidad dinámica son Newton segundo por metro cuadrado o Pascal segundo (Pa.s) en unidades del SI. Los valores en mili-Pascal segundo (mPa.s) tienen el mismo valor numérico que el centipoise (cP) según se midan en el antiguo sistema métrico.

- **Viscosidad cinemática**

La viscosidad cinemática se mide mediante otros métodos, como los viscosímetros de tubo capilar. Las unidades de viscosidad cinemática son Stokes (St) o, más normalmente, centistokes (cSt). Un cSt es igual a un milímetro cuadrado por segundo (1 cSt = 1 mm²/s). La viscosidad cinemática es la viscosidad dinámica dividida por la densidad del líquido (a la temperatura a la que se mide la viscosidad).

$$\text{Viscosidad cinemática (cSt)} = \frac{\text{Viscosidad dinámica (mPa.s)}}{\text{densidad (g/ml)}}$$

- **Otras escalas de viscosidad**

Se han ideado varios métodos sencillos para medir y describir la viscosidad del hidrocarburo. Uno de ellos consiste en medir el tiempo que tarda en fluir un hidrocarburo a través de un orificio de tamaño estándar en un aparato estandarizado. Las unidades incluyen:

Grados Engler (Europa)

Segundos Redwood No. 1 (Europa)

Segundos universales de Saybolt (EEUU)

Estas unidades están tendiendo a caer en desuso; hay disponibles factores y gráficos de conversión para ellas.

El potencial de la dispersión natural de un petróleo crudo liviano se demostró espectacularmente cuando el Braer encalló debido al mal tiempo en las Islas Shetland (Escocia), en enero de 1993, perdiendo toda su carga de 85.000 toneladas. Se aplicaron unas 120 toneladas de dispersante desde el aire, pero la mayor parte de la dispersión se atribuyó al mal tiempo y a la naturaleza del hidrocarburo.



Sin embargo, los dispersantes no funcionan bien en todos los casos. Por ejemplo, la aplicación de dispersantes fue ineficaz en el derrame de combustóleo del *Vista Bella* (Caribe, 1991). Las interacciones físicas y químicas específicas que controlan la efectividad de los dispersantes aún no se comprenden a fondo. Muchas de ellas están interrelacionadas y es difícil separarlas completamente, pero la evidencia de las pruebas de laboratorio y de campo muestran la importancia que tienen los factores tratados en las siguientes secciones.

Propiedades del hidrocarburo derramado

La mayoría de los petróleos crudos se pueden dispersar, siempre que se les rocíe con un dispersante poco después de que se hayan derramado. Los crudos de viscosidad baja o media (inferior a 1.000 mPa.s a la temperatura imperante en el mar) pueden dispersarse fácilmente. Los hidrocarburos con viscosidad más elevada son menos fáciles de dispersar, ya que una creciente viscosidad del hidrocarburo desacelera el proceso de dispersión causado por la acción imperante de las olas. Los petróleos crudos con un punto de fluidez significativamente por encima de la temperatura del mar, no pueden dispersarse porque son sólidos. Algunos hidrocarburos tienen un alto contenido de parafina y no se pueden dispersar bien, aún cuando su viscosidad sea relativamente baja.

Uso ineficaz de dispersante en un petróleo crudo pesado alterado por meteorización: El hidrocarburo permanece visible en la superficie y la pluma de color blanco indica que el dispersante solamente penetró e hizo contacto con el agua.



Durante muchos años se ha sabido que es más difícil dispersar un hidrocarburo con viscosidad elevada, que un hidrocarburo con viscosidad baja o media. Pruebas de laboratorio demostraron que la efectividad de los dispersantes está relacionada con la viscosidad del hidrocarburo, siendo máxima en un hidrocarburo con una viscosidad de 1.000 ó 2.000 mPa.s aproximadamente y disminuyendo hasta llegar a un nivel bajo cuando se trata de hidrocarburos con viscosidad de 10.000 mPa.s. Se consideró, por tanto, que se podría aplicar a todos los hidrocarburos unos límites de viscosidad, tales como 2.000 ó 5.000 mPa.s. Trabajos recientes han demostrado que esto no es así. Los dispersantes modernos para derrames de hidrocarburos son eficaces normalmente hasta una viscosidad del hidrocarburo de 5.000 mPa.s o más, y su rendimiento disminuye gradualmente con el aumento de la viscosidad del hidrocarburo; crudos con una viscosidad de más de 10.000, en la mayoría de los casos ya no se pueden dispersar. Sin embargo, la composición del hidrocarburo parece ser tan importante como la viscosidad. Éstos son sólo dos de los diferentes factores que afectan el rendimiento de los dispersantes; la cantidad de energía de las olas, el tipo de dispersante y la tasa de tratamiento son también factores importantes.

Muchos hidrocarburos pesados tienen propiedades de flujo complejas a las temperaturas que se encuentran en el mar. Un simple valor de viscosidad no es un buen indicador de las propiedades de flujo de estos hidrocarburos a temperaturas bajas del agua.

Es posible la dispersión de los grados más ligeros de los combustóleos intermedios (IFOs), tales como los IFO-30 y los IFO-80. Algunos combustóleos de tipo medio (MFO, IFO-180 o combustóleo N° 4) también pueden dispersarse, especialmente en aguas más cálidas y en mares agitados. Algunos combustóleos más pesados (como HFO, IFO-380, Bunker C, Fuel Oil N° 6) podrían ser dispersados en aguas muy cálidas bajo ciertas condiciones, como aquellas encontradas en aguas tropicales, siempre que se les aplique dispersante tan pronto como ocurra el derrame. No es probable que estos hidrocarburos se puedan dispersar en aguas más frías. Los combustóleos industriales pesados, como el derramado en el incidente del *Erika*, no pueden dispersarse; tienen una viscosidad bastante elevada y también tienden a flotar como parches muy gruesos en el mar, demasiado gruesos como para ser rociados con dispersante. Sin embargo, el grado de un combustóleo (que se define por su viscosidad a 50°C o 100°C) es sólo una indicación de la viscosidad de este combustible y de su dispersabilidad a la temperatura del agua de mar. El punto de fluidez máximo permitido para los MFO y los HFO es de +30°C. No todos los combustóleos tienen un punto de fluidez tan elevado, pero los que lo tienen serían sólidos por debajo de dicha temperatura y por consiguiente, no serían dispersables.

La viscosidad inicial de cualquier hidrocarburo se puede utilizar para dar una indicación amplia del rendimiento probable de los dispersantes. Es probable que el uso de dispersantes en los derrames de la mayoría de los petróleos crudos tenga éxito, siempre que el dispersante se pueda aplicar antes de que el hidrocarburo se haya ‘meteorizado’ hasta cierto grado. La forma en que la composición y las propiedades físicas cambian con el tiempo conforme un hidrocarburo se ‘meteoriza’ es la característica principal que determinará su dispersabilidad. En casi todos los casos, los productos combustibles ligeros (por ejemplo, el keroseno, el diesel, la gasolina) no se consideran apropiados para el tratamiento con dispersantes, debido a su naturaleza altamente volátil y al hecho de que se extienden rápidamente en la superficie del mar, formando una capa fina, que las gotas del dispersante traspasarían si se aplicase.

Meteorización del hidrocarburo

Las propiedades físicas y la composición del hidrocarburos derramado cambian a medida que se pierden sus componentes más volátiles por efecto de la evaporación y conforme el hidrocarburo incorpora gotas de agua formando una emulsión del tipo agua en hidrocarburo. La flexión y compresión del hidrocarburos emulsificado, ocasionadas por la acción de las olas, reducen el tamaño medio de las gotas de agua dentro del hidrocarburo. Esto hace que la viscosidad de la emulsión siga aumentando aún cuando el contenido de agua haya alcanzado un máximo, típicamente el 75 por ciento del volumen. Los asfaltos propios del hidrocarburo se precipitan formando un revestimiento estabilizador en torno a las gotas de agua y la emulsión se vuelve más estable con el tiempo. Todos estos procesos ocasionan un incremento de la viscosidad y de la estabilidad del hidrocarburos emulsionado y pueden hacer que los dispersantes se vuelvan menos eficaces a medida que pasa el tiempo. La tasa a la que se producen estos procesos depende de la composición del hidrocarburo, de la temperatura imperante, de la velocidad del viento y de las condiciones de las olas.

La reducción de la efectividad de los dispersantes se debe en parte al aumento de la viscosidad, pero también se debe a la estabilidad de la emulsión. Algunos dispersantes

La Agencia Marítima y de Guardacostas del Reino Unido mantiene su capacidad de aplicación de dispersante por vía aérea junto con posibilidades de aviación de vigilancia asociada. La estrategia de control con dispersantes se utilizó intensivamente durante el derrame de petróleo del Sea Empress en 1996.



desarrollados recientemente tienen la capacidad de ‘romper’ la emulsión (hacer que vuelva a las fases de agua y hidrocarburos), en particular cuando la emulsión se acaba de formar y no se ha estabilizado todavía en su totalidad. Algunas emulsiones recién formadas se han podido dispersar. Se ha encontrado que es eficaz realizar un tratamiento doble de dispersante, con una primera etapa a una tasa de aplicación baja (por ejemplo, una proporción dispersante/hidrocarburo de 1 a 60), seguida después de aproximadamente una hora de un segundo tratamiento, a una tasa más alta (por ejemplo, una proporción dispersante/hidrocarburo de 1 a 20). Sin embargo, dado que el hidrocarburo emulsionado soporta una meteorización adicional, la emulsión se vuelve más estable y los dispersantes se hacen menos eficaces. Existe la necesidad de aplicar el dispersante con prontitud, aún cuando algunos dispersantes modernos puedan ampliar la ‘ventana de oportunidad’ en comparación con otros productos.

Tipo de dispersante, método de aplicación y tasa de tratamiento

Aunque muchos dispersantes pueden satisfacer el nivel mínimo de rendimiento especificado en diferentes procedimientos de aprobación gubernamentales, no todos los dispersantes son lo mismo. Esto es particularmente importante a la hora de reconocer la considerable diferencia en el rendimiento, entre los dispersantes ‘convencionales’ más antiguos con ‘base hidrocarburos’ y los dispersantes ‘concentrados’ mucho más efectivos disponibles en la actualidad. Los dispersantes con ‘base hidrocarburos’ son mucho menos eficaces que los dispersantes ‘concentrados’, aún cuando se utilicen a diez veces la tasa de tratamiento. Incluso entre los dispersantes desarrollados más recientemente, hay diferencias significativas en su capacidad. Algunos dispersantes son mejores para dispersar ciertos hidrocarburos que otros dispersantes. Las pruebas específicas durante el proceso de planificación de contingencias pueden identificar el mejor producto dispersante para un hidrocarburo dado, así como para los diferentes estados durante su meteorización.

El comportamiento de un dispersante dependerá de las condiciones imperantes del mar. Los dispersantes promueven la dispersión más rápidamente en mares agitados. Habrá un límite superior de las condiciones marítimas en las que no resulte práctica la aplicación de dispersantes debido a que el hidrocarburo derramado es constantemente sumergido por las olas. El dispersante se puede rociar en condiciones de mar calmo si se espera que en pocas horas se vayan a originar condiciones más agitadas del mar. El dispersante permanecerá con el hidrocarburo y ocasionará una rápida dispersión cuando se produzca una acción suficiente por parte del oleaje. Como puede observarse, los dispersantes pueden ser aplicados de manera rápida y es viable utilizarlos en condiciones del mar en las que la recuperación física del hidrocarburo sería imposible.

Es necesario aplicar el dispersante al hidrocarburo derramado lo más uniforme y exactamente posible. La tasa de tratamiento recomendada para los dispersantes modernos, aplicados sin diluir, es una proporción dispersante/hidrocarburo de 1 a 20-30. Tasas de tratamiento inferiores han mostrado ser efectivas con crudos livianos recién derramados. Siempre es difícil lograr exactamente la tasa de tratamiento recomendada, porque las manchas de hidrocarburos tienen variaciones grandes y localizadas en el espesor de la capa de hidrocarburo. El rociado sin diluir desde botes y aeronaves es el método preferido de aplicación de los dispersantes, aunque es posible aplicar el dispersante diluido con agua de mar desde embarcaciones, si existe disponibilidad del equipo apropiado. Nótese que la aplicación de dispersantes diluidos en agua de mar es eficaz solamente en hidrocarburos con viscosidad baja; para los hidrocarburos con viscosidad por encima de 1.000 mPa.s, es necesaria aplicar el dispersante sin diluir.

USO DE DISPERSANTES EN EL DERRAME DE PETRÓLEO DEL SEA EMPRESS

Poco después de las ocho de la tarde del 15 de febrero de 1996, el buque cisterna *Sea Empress*, cargado con 131.000 toneladas de petróleo crudo mezcla Forties, encalló a la entrada del Puerto de Milford en Pembrokeshire, uno de los puertos naturales más grandes y activos de la Gran Bretaña. En los días que siguieron, mientras se ponía al buque bajo control en una difícil operación de salvamento, unas 72.000 toneladas de petróleo crudo ligero Forties y 480 toneladas de combustible pesado se derramaron en el mar, contaminando 200 km aproximadamente de costas reconocidas internacionalmente por su vida salvaje y belleza. El barco fue reflotado con éxito con la marea alta de la tarde del miércoles 21 de febrero, y se trasladó a un embarcadero en el que se extrajo el petróleo crudo restante mediante bombeo.

El derrame de petróleo del *Sea Empress* causó la muerte de varios miles de aves marinas, pero las poblaciones de estas especies no se vieron afectadas seriamente y no hubo ninguna prueba de cualquier tipo de efecto sobre su capacidad reproductiva. La población del ave marina más afectada, la negreta común, se recuperó en dos años. Murieron gran cantidad de organismos marinos cuando el petróleo recién derramado llegó a tierra (por ejemplo, lapas y percebes) o cuando los niveles elevados de hidrocarburos en la columna de agua afectaron a los

moluscos bivalvos y a otras especies que habitan en los sedimentos. Las poblaciones de anfípodos (pequeños crustáceos) desaparecieron de algunas áreas y se redujeron drásticamente en otras. La recuperación de estas poblaciones fue lenta. aparentemente no existió ningún impacto sobre los mamíferos. Aunque las concentraciones de ciertos componentes del petróleo en tejidos aumentaron de manera temporal en algunas especies de peces, la mayoría de los peces se vieron afectados en un bajo grado, si lo fueron, y muy pocos murieron. Los stocks pesqueros no se vieron afectados. Las vedas de pesca que se impusieron mantuvieron en apuros a los 700 pescadores de la industria pesquera local de 20 millones de libras esterlinas al año, hasta que se resolvieron las demandas de indemnización y los pagos. Después de dos años, las pesquerías estuvieron funcionando normalmente.

Parece que aunque se derramó una gran cantidad de hidrocarburos en un área particularmente sensible, el impacto fue bastante menos severo de lo que muchas personas habían esperado. Esto se debió a una combinación de factores, en particular, la época del año, el tipo de petróleo, las condiciones del tiempo en el momento del derrame, las operaciones de respuesta y la

continúa ...

Fecha (febrero de 1996)	Hora (GMT) (t)	Estimación del hidrocarburo derramado	Dispersante aplicado (t)
15	20:00–22:00h	2.000	
16			2
17	20:00–23:00h	5.000	2
18	10:00–13:00h	2.000	29
18	21:00–24:00h	5.000	
19	10:00–13:00h	8.000	57
19	22:00–01:00h	20.000	
20	10:00–13:00h	15.000	110
21	00:00–02:00h	10.000	179
21	11:00–14:00h	5.000	
22	–	–	67
total		72.000	446

Tabla tomada de 'The net environmental benefit of a successful dispersant operation at the Sea Empress incident' presentado en la 1997 IOSC.

... Uso de dispersante en el derrame de petróleo del Sea Empress (continuación)

resiliencia natural de muchas especies marinas. Si el accidente hubiese ocurrido unas semanas después, si el viento hubiese estado soplando en una dirección diferente en los días siguientes al derrame o si el petróleo hubiese sido de un tipo más pesado, entonces la vida salvaje y la economía del suroeste de Gales habrían sufrido en mayor medida.

Del 16 al 22 de febrero, una flota de siete aviones DC-3 dotados con equipos para aplicación de dispersantes y un Hércules equipado con una ADDS Pack, guiados por un avión con sensor remoto, rociaron el petróleo en el mar con un total de 446 toneladas de dispersante. Cada día había una nueva descarga de petróleo con la marea baja. No se realizó aplicación de dispersantes después del 22 de febrero, porque el petróleo que quedaba en la superficie estaba en parches demasiado pequeños para tratarlos con eficacia, se había emulsificado o se había alterado por meteorización hasta un grado en el que ya no resultaba apropiado ni útil el uso de dispersantes.

Aunque el uso rápido a gran escala de dispersantes en el mar probablemente aumentó la exposición al petróleo de

animales en el lecho marino, y puede haber contribuido al encallamiento de moluscos bivalvos y de otras especies y a la disminución de las poblaciones de anfípodos en algunas áreas, es probable que, a fin de cuentas haya sido beneficioso para reducir el impacto global del derrame. Se estimó que de la mitad a dos tercios aproximadamente de las 37.000 toneladas del petróleo derramado que se cree que fue dispersado, se logró mediante el uso de dispersantes. Las 20.000 a 25.000 toneladas de petróleo que se dispersó de esta manera tuvo la capacidad de convertirse en 100.000 toneladas de hidrocarburo emulsificado. Parte de éste habría impactado realmente en la costa, habría causado daños ecológicos y habría tenido que eliminarse con un procedimiento de limpieza muy costoso. El uso de dispersantes redujo verdaderamente el costo de la respuesta y, a la larga, también redujo el impacto ambiental en general.

Resumen de 'El impacto ambiental del derrame de petróleo del Sea Empress', Informe Final del Comité de Evaluación Ambiental del Sea Empress (SEEEC).

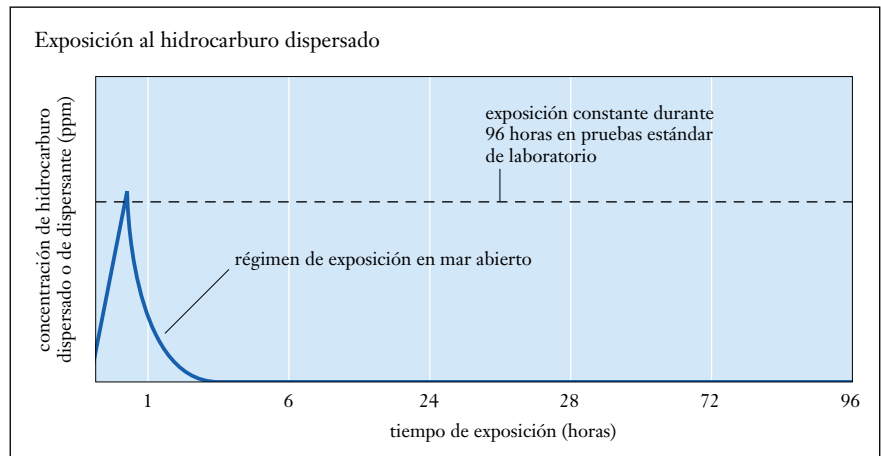
EFFECTIVIDAD Y PRUEBAS DE TOXICIDAD

A menos que el hidrocarburo muy pronto desaparezca completamente de la superficie después de la aplicación del dispersante en derrames reales, estimar el grado de efectividad puede ser un gran desafío. La efectividad del dispersante se juzga normalmente de manera visual y hay dificultades para relacionar las observaciones con las concentraciones reales de hidrocarburo dispersado en la columna de agua. Se han realizado mediciones de la concentración de hidrocarburos en el agua a través de análisis de laboratorio de muestras de agua tomadas durante muchas pruebas y derrames reales, y los datos disponibles indican que las concentraciones de hidrocarburos después de la dispersión no son elevadas. En los metros superiores de la columna de agua, raramente superan los 100–200 ppm y normalmente van de 20 a 60 ppm durante un corto período de tiempo (generalmente 1 ó 2 horas). Los niveles medidos en el derrame del *Sea Empress* estuvieron normalmente por debajo de 10 ppm. En la pasada década, se utilizaron técnicas UVF para monitorear de manera continua los niveles de hidrocarburos en la columna de agua. Sin embargo, esta técnica sólo permite estimaciones cualitativas de la efectividad. Su principal valor es confirmar que los dispersantes están teniendo un efecto positivo.

Se han obtenido balances de materia razonables en pruebas piloto a gran escala. También hay disponibles bastantes pruebas de laboratorio a pequeña escala para la evaluación de la efectividad de los dispersantes. El propósito de estas pruebas es comparar la efectividad relativa de los dispersantes. En dichos ensayos, se añaden los dispersantes al hidrocarburo en proporciones dispersante/hidrocarburo definidas y se aplica energía de mezcla mediante diferentes métodos, como flujo de aire, agitación, remolino, mezcla, etc. Los resultados de las pruebas están muy en función del nivel de la energía aplicada y de otros parámetros del ensayo. La efectividad se mide utilizando criterios como la cantidad de hidrocarburo dispersado en el agua, el tamaño de gota, y la estabilidad. Estas pruebas son útiles para clasificar diferentes productos en términos de su efectividad, pero no predicen con exactitud qué ocurrirá cuando los dispersantes se apliquen en el mar.

De manera similar, hay muchos procedimientos de laboratorio diferentes para medir la toxicidad. Los datos son útiles para discriminar entre productos o mezclas con alta y baja toxicidad, pero no se pueden utilizar confiadamente para predecir los efectos ambientales en eventos de derrame. Esto se debe en parte a las diferentes condiciones experimentales utilizadas en las pruebas de laboratorio y a las variadas formas de evaluar la exposición real de un organismo al hidrocarburo, al dispersante y al hidrocarburo dispersado. Son aún más importantes la duración de la exposición constante y extensa comunes en las pruebas de laboratorio (48–96 horas), en comparación con las exposiciones mucho más cortas y que disminuyen rápidamente experimentadas por los organismos marinos, cuando el hidrocarburo se dispersa en mar abierto. Los nuevos procedimientos de prueba desarrollados para imitar ambientalmente las exposiciones realistas y decrecientes a corto plazo, han

La exposición a una concentración constante de hidrocarburo dispersado, durante un período de tiempo prolongado en la mayoría de las pruebas estándar de toxicidad de laboratorio, es mucho más severa que la exposición pasajera experimentada por los organismos marinos en el mar.



demonstrado que el hidrocarburo dispersado es hasta 100 veces menos tóxico, en comparación con las caracterizaciones que utilizan los métodos de prueba de exposición continua y estándar.

Los estudios de campo y de laboratorio han mostrado que las preocupaciones sobre la toxicidad deben enfocarse más hacia los efectos ambientales potenciales del hidrocarburo dispersado, que hacia el efecto de los propios dispersantes. En algunos países, incluidos los EEUU, la toxicidad de los dispersantes se mide en el laboratorio pero no se utiliza como un criterio de aprobación para su utilización en derrames. Los dispersantes modernos son mucho menos tóxicos que el hidrocarburo dispersado, por lo que el balance ambiental debe sopesar la exposición de los organismos de la columna de agua al hidrocarburo dispersado, frente a los impactos potenciales de la permanencia en la superficie y/o el encallamiento en la costa del hidrocarburo derramado.

¿ROCIAR O NO ROCIAR?

Análisis del beneficio ambiental neto

Sopesar las ventajas y desventajas de la aplicación de dispersantes es de importancia primordial en el proceso de toma de decisiones. Además, aunque se perciban desventajas potenciales, es necesario sopesarlas frente al probable desarrollo del evento en caso de que no se utilicen los dispersantes. Durante el análisis del beneficio ambiental neto, es necesario tener en cuenta muchos factores, tales como:

- Las concentraciones de hidrocarburo dispersado que pueden esperarse bajo una mancha tratada con dispersante, y el potencial de dilución en diferentes tipos de aguas.
- La toxicidad de las probables concentraciones de hidrocarburo dispersado para la flora y fauna locales.
- La distribución y destino del hidrocarburo dispersado en el agua, los sedimentos y los organismos.
- La distribución, el comportamiento y los efectos biológicos del hidrocarburo si no se trata con dispersantes, como por ejemplo, si daña los hábitats y la vida salvaje costeros.
- Si se produjesen mortalidades, la capacidad esperada de las poblaciones afectadas para recuperarse.

Cuando se consideran estos aspectos, es valioso mirar las pruebas que ya existen de historias de casos de derrame y de experimentos. A continuación, se resume una serie de estas evidencias.

Hidrocarburo dispersado en la columna de agua

Como se ha mencionado con anterioridad, la información sobre las concentraciones de hidrocarburos debajo de las manchas tratadas con dispersante viene principalmente de los experimentos de campo en mar abierto. Los resultados de los extensos experimentos que se han realizado en Francia, Reino Unido, Noruega, EEUU y Canadá han sido publicados en la literatura científica. Las concentraciones medidas de hidrocarburos van desde menos de 1 a más de 100 ppm. Sin embargo, la mayor parte de los datos están en el rango de menos de 60 ppm. Hay una rápida disminución de la concentración con relación al tiempo y la profundidad. Las concentraciones más elevadas se encuentran normalmente en el primer metro de agua, durante la siguiente hora después del tratamiento (ver gráficos en la siguiente página).

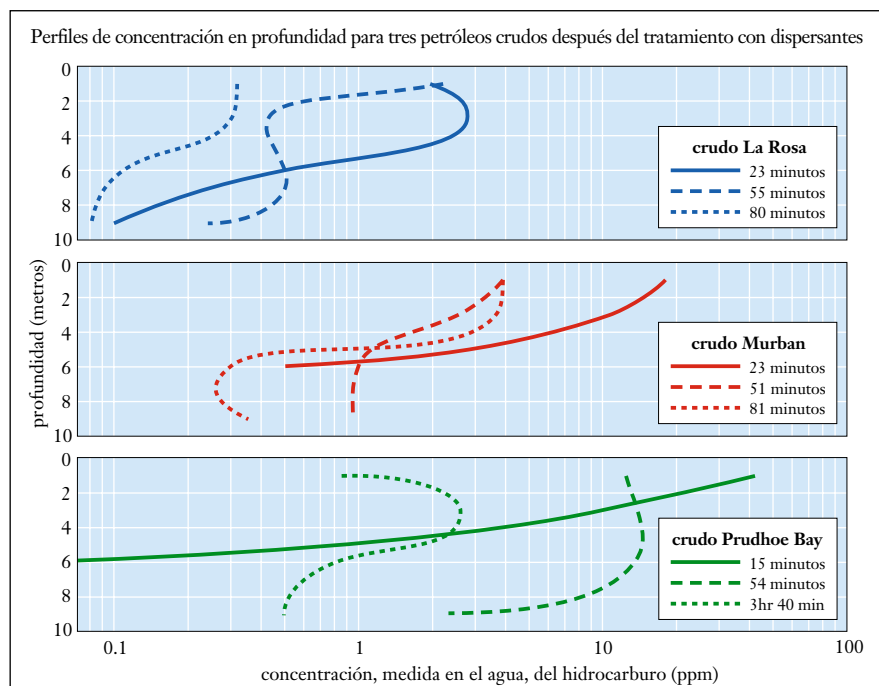
¿Qué tan dañinas son dichas exposiciones para la vida marina? Una revisión detallada del Consejo Nacional de Investigación (1989) concluyó que 'las exposiciones en la columna de agua tanto para hidrocarburos no tratados, como para los dispersados químicamente son generalmente mucho más bajas, que las exposiciones que se requieren para producir la mortalidad o efectos sobre el comportamiento de un gran

número de especies y etapas de vida'. Esta conclusión está respaldada por numerosos estudios de laboratorio. Además, dado que la cantidad de dispersante aplicado es una pequeña fracción (3–5 por ciento) del hidrocarburo presente, se acepta normalmente que la potencialidad de los efectos tóxicos podría producirse fundamentalmente a partir de la exposición a concentraciones elevadas de hidrocarburo dispersado, y no de la exposición al dispersante.

A menudo se expresa una preocupación particular sobre las áreas cercanas a la costa en las que el agua poco profunda restringe el potencial de dilución. Hay disponible información sobre áreas costeras proveniente de los experimentos de Searsport, TROPICS y BIOS (ver las páginas 22, 24 y 25 para obtener más detalles) en los que se realizaron vertimientos de hidrocarburos y dispersante pre-mezclados, liberados deliberadamente en aguas poco profundas. En el experimento de Searsport, las concentraciones para la zona de 10 cm por encima del lecho marino en aguas poco profundas (no más de 3 metros de profundidad) subieron a 20 y 40 ppm, y descendieron a niveles basales en los siguientes dos ciclos de mareas. No hubo ninguna prueba de efectos biológicos adversos.

Considerando escenarios extremos o de 'peor escenario', en el experimento de TROPICS: la profundidad media del agua fue inferior a 1 metro, y las concentraciones de hidrocarburo dispersado alcanzaron 222 ppm. Aunque los manglares se beneficiaron de la dispersión, hubo descensos en la abundancia de corales y de otros organismos de arrecife, tasas reducidas de crecimiento de coral en una especie y efectos menores o ninguno en las praderas de pastos marinos. La mayor concentración registrada en el experimento de BIOS fue de 160 ppm a 10 m de profundidad, pero en este caso, el vertimiento controlado fue sub-superficial y de hidrocarburos y dispersante pre-mezclado. Hubo efectos agudos y marcados sobre el comportamiento en alguna de la fauna intermareal, pero no hubo mortalidad a gran escala.

Los gráficos muestran perfiles de concentración profunda para tres petróleos crudos después de tratamiento con dispersantes. Estos datos se obtuvieron de pruebas realizadas costa afuera de Nueva Jersey y California y muestran que las concentraciones de petróleo dispersado disminuyen con el tiempo y la profundidad; a una profundidad cercana a los 10 metros son típicamente inferiores a 1 ppm en todo momento.



Las concentraciones sub-superficiales de hidrocarburos se monitorearon utilizando UVF en el derrame de hidrocarburos del *Sea Empress*. Las concentraciones de hidrocarburos encontradas bajo la mancha no tratada fueron de 3 ppm (partes por millón) a un metro de profundidad e inferior a 0,4 ppm a 4 metros de profundidad. Después la aplicación del dispersante, las concentraciones de hidrocarburos aumentaron a 10 ppm a un metro de profundidad, a 3 ppm a 4 metros de profundidad y a 3 ppm a 15 metros de profundidad. Las concentraciones de hidrocarburos en todas las profundidades descendieron a una ppm a los 2 días. A pesar del gran volumen de hidrocarburos que se introdujo en el agua, no hubo ninguna mortalidad obvia de peces adultos, no hubo tampoco ninguna prueba clara de algún daño a los stocks pesqueros y de mariscos y no fue posible atribuir el impacto observado sobre algunos mariscos (principalmente bivalvos) específicamente al uso de dispersantes.

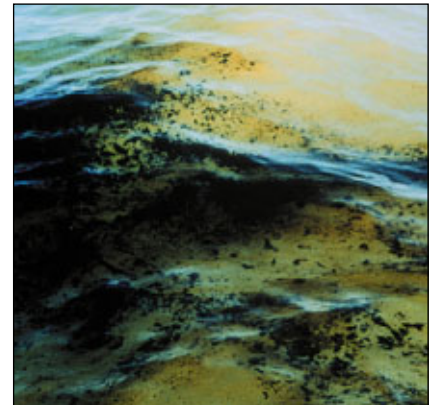
No se recomienda normalmente el uso de dispersantes en aguas dulces. Sin embargo, puede justificarse su uso si el río es grande y fluye rápidamente, especialmente en los casos en los que no usarlo daría lugar a la afectación de áreas importantes, tales como ciénagas periféricas.

Experimentos de campo que comparan los efectos ambientales del hidrocarburo dispersado químicamente y del hidrocarburo no tratado

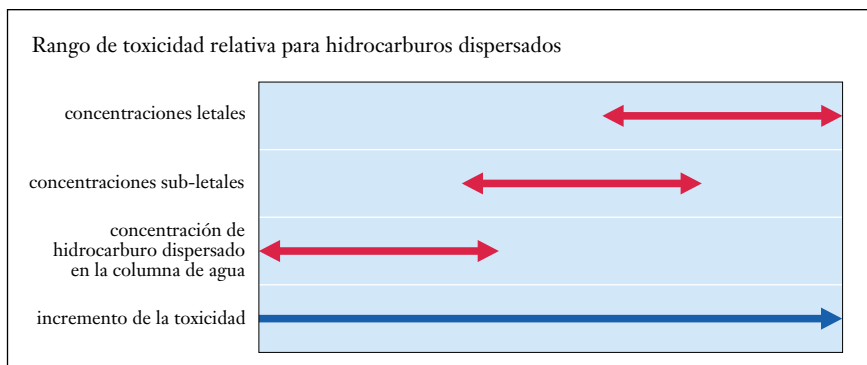
El hidrocarburo dispersado puede, en algunas circunstancias, producir efectos adversos, pero ¿cómo se comparan con los efectos del hidrocarburo sin tratar? Ha habido un número diverso de experimentos de campo que comparan el hidrocarburo dispersado químicamente y el hidrocarburo sin tratar, y los resultados de los mismos son de interés particular para los responsables de la planificación de contingencias.

Hay muy poca información comparativa para aves y mamíferos. Resulta claro que la contaminación directa de aves y de mamíferos con pelaje (como las nutrias marinas) es desastrosa para ellos, y es evidente que la dispersión de las manchas de hidrocarburos de la superficie debe ser beneficiosa porque reduce el riesgo de dicha contaminación. Además, la dispersión reduce el riesgo de que las aves ingieran hidrocarburos.

En general, a pesar del rango de sensibilidades de las diferentes especies frente al hidrocarburos dispersado, la comparación entre los resultados de las pruebas de toxicidad y la observación real en campo, muestra que las concentraciones de hidrocarburos medidas en el mar después de la aplicación de dispersantes son



Es posible la dispersión satisfactoria de hidrocarburos alterados por meteorización bajo ciertas circunstancias. La fotografía muestra la dispersión del petróleo crudo Alaskan North Slope en la prueba marina de AEA Technology de 1997, después de 55 horas de meteorización y una viscosidad de 15.000–20.000 mPa.s; la nube de hidrocarburo dispersado se puede ver con claridad.



Rango de toxicidad relativa del hidrocarburo dispersado: en condiciones de uso adecuadas, debido al proceso de 'dilución', la toxicidad real del hidrocarburo dispersado está usualmente bastante lejos de ser letal.

La tabla resume información publicada que compara los efectos de hidrocarburos dispersados químicamente frente a hidrocarburos sin tratar (experimentos de campo de importancia).

hábitat/localidad/referencia	hallazgos
Manglares, Malasia Lai & Feng (1985)	El petróleo crudo sin dispersar fue más tóxico para los árboles jóvenes del manglar que el petróleo crudo dispersado. El petróleo sin tratar depositado en los sedimentos superiores necesitó más tiempo para alterarse por meteorización y para depurarse que el petróleo dispersado químicamente.
Manglares/arrecifes de coral/patos marinos, experimento TROPICS, Panamá. Ballou <i>et al</i> (1989)	El hidrocarburo fresco sin tratar tuvo efectos severos a largo plazo en la supervivencia de los manglares y de su fauna asociada. El hidrocarburo que se dispersó químicamente costa afuera tuvo menores efectos sobre los manglares pero afectó a los corales y a los pastos marinos. (Este experimento se describe con más detalle en el informe <i>Impactos biológicos de la contaminación por hidrocarburos: Arrecifes de coral</i> de IPIECA).
Arrecifes de coral, Isla Juayrd, Arabia Saudí. LeGore <i>et al</i> (1989)	Durante un período de observación de un año, no hubo efectos visibles sobre los corales expuestos al petróleo crudo flotante (0,25 mm de espesor) o al dispersante solo (al 5 por ciento del volumen del petróleo). Con el petróleo dispersado no hubo ningún efecto después de una exposición de 24 horas, y hubo efectos menores después de una exposición de 5 días. Estos efectos incluyeron blanqueamiento y dificultad para sobrevivir a la temporada fría de invierno en no más del 5 por ciento del total de corales.
Sedimentos intermareales, Searsport, Maine, EEUU. Page <i>et al</i> (1983), Gilfillan <i>et al</i> (1983, 1984)	Se realizó un vertimiento de crudo tratado con dispersante y sin tratar cerca de la costa. No hubo pruebas de ningún efecto adverso de la exposición de los sedimentos intermareales sobre la fauna. El petróleo sin tratar tuvo efectos claros incluida alguna mortalidad de una especie de bivalvo comercialmente importante. Para obtener más detalles de este experimento, ver las características en las páginas 24–25.
Áreas árticas intermareales y cercanas a la costa, Isla Baffin, experimento BIOS, Canadá. Sergy y Blackall (1987)	El hidrocarburo sin tratar se liberó en un área de prueba confinada con barreras y se permitió que derivara hacia la playa. La nube de hidrocarburo dispersado se creó vertiendo una mezcla de agua marina/dispersante/hidrocarburo mediante un difusor de sub-marea cerca de la costa. 'A pesar de las condiciones anormalmente severas de la exposición al hidrocarburo dispersado químicamente, el impacto sobre un hábitat bentónico típico de aguas poco profundas no tuvo consecuencias ecológicas de importancia.' Los organismos de la zona sub-mareal acumularon el hidrocarburo dispersado rápidamente, pero la mayor parte del mismo se degradó o depuró en un año. Los residuos de hidrocarburos sin tratar permanecieron en la playa después de dos años, con algún transporte a sedimentos adyacentes de la zona sub-mareal.
Rocas intermareales, costas sedimentarias, marismas, Reino Unido. Baker <i>et al</i> (1984)	Se trataron parcelas de hidrocarburos con dispersante para simular la limpieza de playas. En términos generales, el dispersante no aumentó el daño biológico producido por el hidrocarburo, pero la efectividad de la limpieza fue limitada. En algunos sedimentos, el hidrocarburo tratado con dispersante fue retenido en concentraciones superiores a las del hidrocarburo sin tratar.
Ensayo de mesocosmos COSS (Sistema de Simulación de Derrames de Hidrocarburos en Costas), Tejas, Fuller <i>et al</i> (1999)	Se llevaron a cabo grandes experimentos de mesocosmos con el fin de evaluar los efectos letales y sub-letales de hidrocarburos dispersados y sin tratar en la fauna marina costera. Los resultados muestran que la dispersión de hidrocarburos no ejerce mayor toxicidad que la que tendrían los hidrocarburos solos sin tratar, pero acelera la salida de hidrocarburos de las áreas costeras.

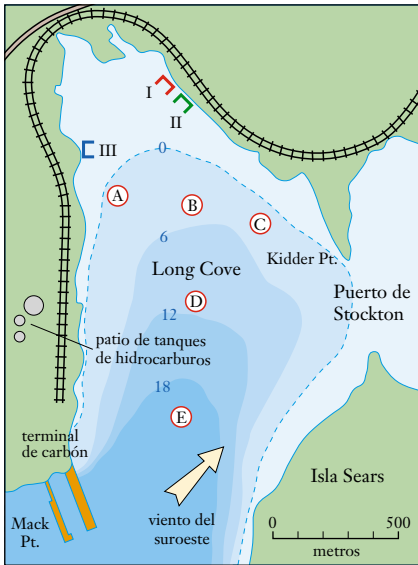
generalmente más bajas que las concentraciones letales registradas en los estudios de laboratorio.

Los trabajos resumidos por el Consejo Nacional de Investigación de los EEUU (1989) muestran que el uso de dispersantes como 'champús' en experimentos de limpieza aumenta la penetración del agua en la piel y en las plumas, lo que lleva a la muerte por hipotermia. Esto sugiere que el rociado accidental directo de la vida silvestre con dispersantes no diluidos puede ser dañino. La conclusión es que deben realizarse todos los esfuerzos necesarios para mantener la aplicación de dispersantes lo más lejos posible de las aves y de los mamíferos.

Consideraciones económicas

Los factores económicos desempeñan inevitablemente un importante papel en la decisión de aplicar o no dispersantes. Por ejemplo, una playa turística o una marina pueden generar ingresos considerables para la economía local (al menos en temporada) y por lo tanto constituirse en áreas prioritarias de protección, aplicando dispersantes costa afuera, si es apropiado. Otras áreas pueden estar industrializadas, con tomas de agua para sistemas de enfriamiento, plantas de desalinización o acuarios. En dichos casos, la respuesta debe minimizar los efectos dañinos sobre las operaciones industriales, y el uso de dispersantes cerca de las tomas de agua puede no ser la mejor opción. Las consideraciones económicas y biológicas pueden coincidir; por ejemplo, un bosque de manglar puede ser importante tanto ecológica como económicamente y requerir por tanto una protección prioritaria, que podría implicar el uso de dispersantes fuera de la costa en algunos casos. Las consideraciones económicas se incluyen en algunos de los escenarios hipotéticos que se plantean en 'Dispersantes y Planificación de Contingencias' de la página 26.

EL EXPERIMENTO SEARSPORT



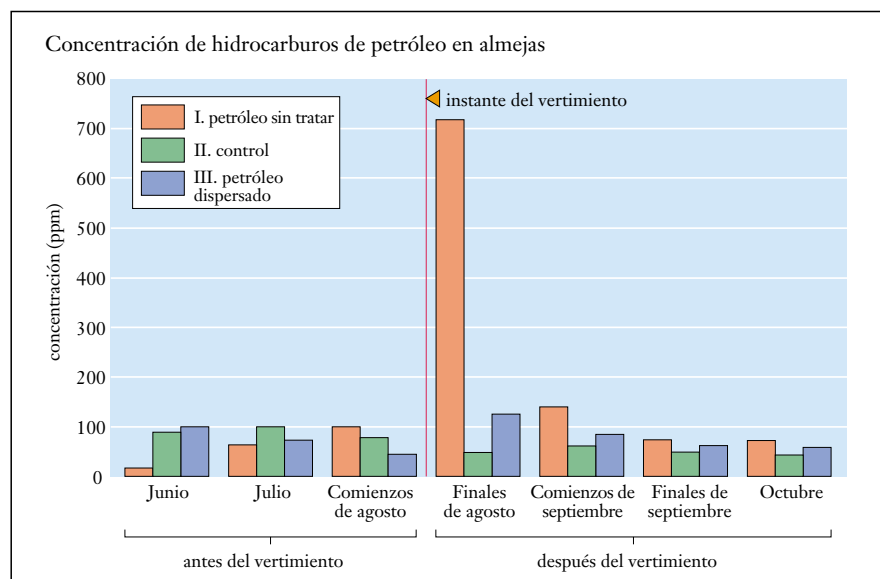
Mapa del experimento de Searsport, mostrando la ubicación de las parcelas de prueba intermareales (I-III) y las estaciones de muestreo sub-mareales (A-E). La Parcela I se expuso a hidrocarburo sin tratar, la Parcela II fue la parcela de referencia sin hidrocarburos y la Parcela III fue expuesta a hidrocarburos más dispersante.

El objetivo de este experimento de campo era obtener información cuantitativa sobre el destino y los efectos de hidrocarburos dispersados químicamente y de hidrocarburos sin tratar en un área cercana a la costa. Se realizaron dos vertimientos controlados de 250 galones de crudo Murban, uno sin tratar y otro dispersado químicamente, en aguas poco profundas (menos de 4 m de profundidad) dentro de parcelas de prueba ubicadas en la localidad de Searsport, Maine, en agosto de 1981. Se tomaron muestras del agua, de los sedimentos y de organismos marinos durante un estudio de línea base de un año de duración antes de que se realizasen los vertimientos y durante el período de estudio posterior al derrame.

Los importantes hallazgos de este experimento incluyeron lo siguiente:

- El hidrocarburo dispersado químicamente perdió hidrocarburos volátiles conforme las gotas se difundieron hacia abajo en la columna de agua.
- Hubo poca incorporación de hidrocarburos en los sedimentos expuestos a la nube de hidrocarburo dispersado.
- Se presentó una importante incorporación de hidrocarburos en los sedimentos expuestos a hidrocarburos sin tratar, con más cantidad hallada en la costa superior que en la inferior.
- Se comprobó que la fauna propia de los sedimentos no sufrió ningún efecto adverso por su exposición al hidrocarburo dispersado.
- Hubo pruebas claras de que la exposición al hidrocarburo sin tratar afectó a la fauna que habita los sedimentos.

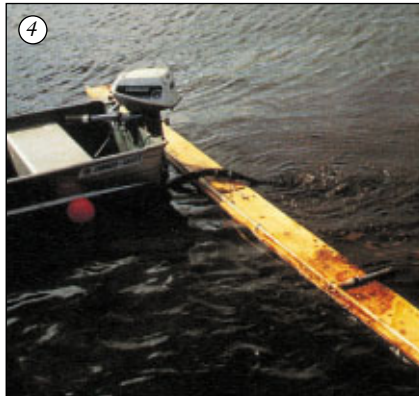
Concentración de hidrocarburos petrogénicos (aromáticos) en almejas, experimento Searsport. Las almejas de la Parcela I de la zona intermareal (hidrocarburos sin tratar) incorporaron en sus tejidos grandes cantidades de crudo; las almejas de la Parcela III (hidrocarburos dispersados) incorporaron muy poco hidrocarburos. Resultados similares se obtuvieron en el caso de hidrocarburos alifáticos en mejillones.





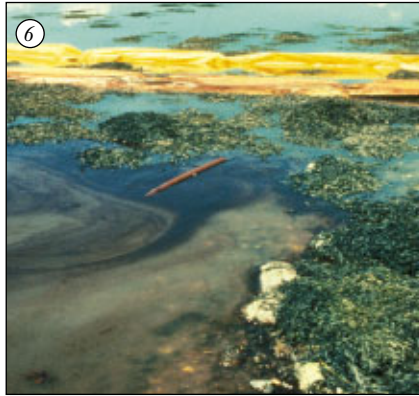
1. Descarga de petróleo dispersado.

2. Mezcla de petróleo dispersado en la columna de agua.



3. Vista aérea del petróleo dispersado químicamente.

4. Descarga de petróleo sin tratar.



5. Vista aérea del petróleo sin tratar en contacto con la orilla.

6. Petróleo sin tratar en la ribera.



7. Bote de muestreo de agua.

8. Muestreo de almejas.

DISPERSANTES Y PLANIFICACIÓN DE CONTINGENCIAS

Aprobación previa para aplicación de dispersantes

La 'ventana de oportunidad' para una efectiva aplicación de dispersantes posterior a un derrame comienza inmediatamente después que el hidrocarburo se ha derramado en el mar. En muchos derrames grandes de hidrocarburos, ha habido secuencias de emisiones de hidrocarburos en la medida que se rompe la embarcación o conforme se libera el hidrocarburo con cada marea. La 'ventana de oportunidad' se relacionará con cada uno de los derrames de hidrocarburos secuenciales y su duración depende de varios factores. Para los hidrocarburos livianos, la 'ventana de oportunidad' puede durar una semana o más. Para los hidrocarburos pesados, la 'ventana de oportunidad' puede ser demasiado corta como para que sea utilizable a nivel práctico. Generalmente no dura más de dos a tres días, por lo que es crucial empezar el rociado lo antes posible. Para que esto se produzca, es esencial que se haya aprobado previamente la opción de aplicación del dispersante.

En primer lugar, tiene que existir en principio la aprobación para aplicar dispersantes en ubicaciones especificadas y en condiciones definidas. Esto requerirá la consideración de factores como la importancia relativa de los recursos en riesgo, las profundidades del agua, las corrientes, las características de las olas y la energía de mezcla, así como la distancia del derrame con relación a los recursos sensibles. Para cualquier área cubierta por un plan de contingencia ante derrames de hidrocarburos, es esencial tener información ambiental, presentada preferiblemente en mapas de sensibilidad. Dicha información se puede utilizar en conjunción con las pruebas experimentales y la historia de casos previos (como se resume en este informe), para ayudar a identificar dónde son una opción válida los dispersantes.

En segundo lugar, los productos nominados tienen que aprobarse y almacenarse para su uso en áreas específicas. La aprobación de productos generalmente implica probar su efectividad y toxicidad. Deben considerarse las condiciones locales (como son la salinidad, las especies claves de la flora y fauna local, entre otras).

En tercer lugar, hay requisitos logísticos, como la aprobación previa para que puedan operar aeronaves en determinadas áreas, con el respaldo necesario para el control del tráfico aéreo y la disponibilidad de instalaciones para carga y abastecimiento de combustible.

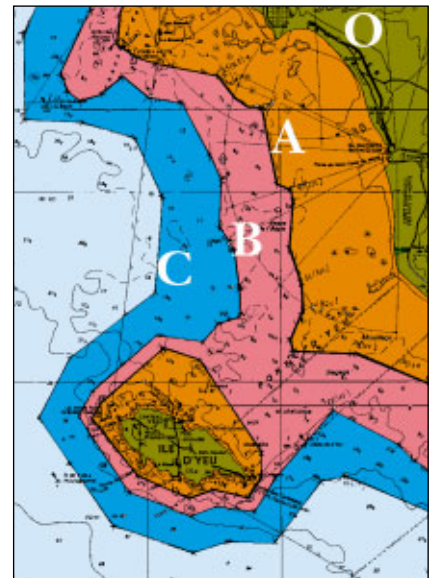
Los potenciales responsables de la operación deben gestionar el proceso de aprobación previa, mediante debates con todas las organizaciones relevantes (tales como departamentos del gobierno, organizaciones conservacionistas, instituciones de investigación), lo cual implica:

- La definición de los tipos de hidrocarburos, los escenarios y los lugares

geográficos en los que los dispersantes son una opción viable desde el punto de vista logístico.

- El análisis del beneficio ambiental neto, entendido como la consideración de las ventajas y desventajas del uso de dispersantes en comparación con las ventajas y desventajas de otras opciones de respuesta.
- A la luz de lo arriba mencionado, la identificación de los lugares y las situaciones en las que se puede o no aprobar previamente el uso de dispersantes. Cualquier restricción debe indicarse claramente en mapas de sensibilidad.

Algunos países han definido zonas a lo largo de su ribera en la que el uso de dispersantes puede ser restringido. Estas restricciones pueden estar basadas en la profundidad del agua o en la distancia de la costa o en una combinación de ambos. Fuera de estas zonas, se pueden utilizar dispersantes con un mínimo impacto para el ambiente. La aplicación de dispersantes dentro de estas zonas de restricción puede estar prohibida o requerir un permiso específico previo de una autoridad nacional.



Ejemplo de Francia de zonas con restricción en el uso de dispersante.

O: ribera

A: límite para dispersar hasta 10 toneladas de hidrocarburos.

B: límite para dispersar hasta 100 toneladas

C: límite para dispersar hasta 1.000 toneladas

La figura ilustra los límites geográficos descritos en la tabla de la izquierda.

Definición de límites geográficos para el uso de dispersantes a lo largo de la costa de Francia

<i>Volumen de contaminación a dispersar</i>	<i>Profundidad mínima requerida</i>	<i>Distancia mínima a la costa</i>
Hasta 10 toneladas de hidrocarburos	5 m	0,5 millas náuticas
Hasta 100 toneladas de hidrocarburos	10 m	1 milla náutica
Hasta 1.000 toneladas de hidrocarburos	15 m	2,5 millas náuticas

Estas zonas pueden ampliarse si hay cerca recursos particularmente sensibles como maricultivos, reservas marinas, estanques de peces o estuarios, o por la presencia estacional de especies migratorias y actividades de anidamiento y desove. La existencia de corrientes que lleven el hidrocarburo dispersado a recursos sensibles también puede dar lugar a que se modifiquen las zonas.

Preguntas clave en relación con el uso de dispersantes:

<i>Preguntas que es necesario contestar</i>	<i>Información necesaria para contesta a la pregunta</i>
¿Es posible la dispersión?	Tipo de hidrocarburo Viscosidad del hidrocarburo Características de la meteorización del hidrocarburo
¿Es aceptable la dispersión?	Lugar Recursos sensibles Límites geográficos
¿Es factible la dispersión?	Cantidad de hidrocarburo Dispersante disponible Sistemas de aplicación disponibles

EJEMPLOS DE ESCENARIOS

A continuación se discute la opción de aplicación de dispersantes para varios escenarios hipotéticos con respecto a las consideraciones ambientales. En cada caso, se asume que el hidrocarburo es de un tipo que se puede dispersar y que es factible logísticamente aplicar dispersantes.



Escenario: el mar abierto, mancha moviéndose rápidamente hacia zonas de pesca costera e islas con importantes colonias de aves

La evidencia muestra que el hidrocarburo dispersado se diluirá rápidamente en mar abierto a concentraciones que improbablemente puedan causar daño a los peces; además, el viento no empujará el hidrocarburo dispersado hacia la ribera. Los huevos y las larvas son más susceptibles que los peces adultos, pero se encuentran principalmente en aguas costeras y es probable que las poblaciones de peces se recuperen a corto plazo de la exposición localizada al hidrocarburo dispersado. La dispersión química es una buena técnica para proteger las áreas de pesca y la ribera mediante la reducción de la cantidad de hidrocarburo que se dirige a la deriva hacia estas áreas sensibles.

El hidrocarburo sin tratar probablemente matará a muchas aves. Si no es posible una contención física eficaz, la opción preferible sería aplicar dispersantes lo más lejos posible de las islas para evitar cualquier contacto directo entre el dispersante rociado y las aves. Sin embargo, puede haber variación estacional, con grandes conglomerados de aves durante la estación de cría y aves muy dispersas en otros períodos del año. Si es así, el uso de dispersantes durante la temporada de cría tendría un mayor beneficio ambiental neto.



Escenario: río grande

La contención física es difícil en condiciones de corrientes fuertes. El uso de dispersante se puede justificar si el río es grande y fluye con rapidez, y si el no uso de dispersantes aumenta las posibilidades de que el hidrocarburo penetre en ciénagas sensibles presentes en su vecindad. Por supuesto, antes de cualquier aplicación en un río, será necesario comprobar si no hay recursos sensibles (como cultivos de peces, tomas de agua, etc.) río abajo. El dispersante utilizado debe escogerse para un buen rendimiento en agua dulce. Debido a la falta de energía de las olas en el río, será necesaria la adición de energía mezcladora (generalmente con chorros de agua) para iniciar la dispersión, mientras que la corriente debe ser lo suficientemente turbulenta como para mantener el hidrocarburo dispersado en la columna de agua (normalmente > 0,4 m/s).

Escenario: cerca de la costa, mancha que se mueve en un área de aguas poco profundas con arrecifes de coral, hacia un área de manglares.

El hidrocarburo dispersado es probable que dañe a algunos de los organismos del arrecife de coral, pero el hidrocarburo sin tratar puede ser devastador para los manglares. Además, el hidrocarburo sin tratar atrapado en los manglares puede lixiviar a las aguas cerca de la costa después de un período de tiempo, constituyendo una contaminación crónica que afecta a los arrecifes de coral. Si fuese imposible recoger el hidrocarburo de la superficie del agua, o proteger a los manglares con una barrera física, entonces sería justificable utilizar dispersantes, lo más rápidamente que sea factible y en el agua más profunda posible. (Para obtener más información sobre este tipo de escenario, ver el informe de IPIECA *‘Impactos biológicos de la contaminación por hidrocarburos: arrecifes de coral’*.)



Escenario: cerca de la costa, mancha de hidrocarburos que se mueve en un área de aguas poco profundas con arrecifes de coral, hacia una costa arenosa.

Es probable que el hidrocarburo dispersado dañe a algunos de los organismos del arrecife de coral. La costa arenosa posiblemente es relativamente improductiva desde el punto de vista biológico y fácil de limpiar. Por consiguiente, sería mejor no usar dispersantes y limpiar el hidrocarburo de la playa utilizando métodos manuales.



Escenario: cerca de la costa, mancha de hidrocarburos que se mueve hacia tomas de agua industriales o puertos.

Si se dispersa el hidrocarburo, puede ir por debajo de las barreras protectoras, introducirse en las tomas de agua y dañar los procesos industriales, si las tomas de agua no pueden cerrarse durante el tiempo que necesita la pluma del hidrocarburo dispersado para atravesar el área. Es preferible no utilizar dispersantes, con el fin de que el hidrocarburo se pueda desviar, encerrar y recuperar físicamente. La recuperación física del hidrocarburo es relativamente fácil en las aguas tranquilas de los puertos.



Escenario: cerca de la costa, mancha de hidrocarburos que se mueve a través de un área de aguas poco profundas con mariscos sub-mareales, hacia un centro turístico.

El uso de dispersantes en las aguas poco profundas aumentará la probabilidad de que los mariscos sub-mareales acumulen el hidrocarburo. No es probable una mortalidad a gran escala, y los mariscos pueden limpiarse eventualmente a sí mismos; sin embargo, no se podrán comercializar por algún tiempo. El recubrimiento con hidrocarburos de las instalaciones turísticas se minimizará mediante el uso de dispersantes. Si no se utilizan dispersantes, los mariscos se verán menos afectados y el hidrocarburo que llegue al centro turístico se puede limpiar, pero habrá pérdidas por los ingresos turísticos dejados de percibir durante algún tiempo. En este caso, el uso de dispersantes es fundamentalmente una decisión económica. La pregunta a responder es ¿qué recurso tiene mayor trascendencia económica? Las variaciones estacionales pueden tener relevancia en la respuesta a esta pregunta.



Escenario: costa rocosa, con recursos de mariscos sub-mareales (por ejemplo, langostas) cerca de la costa

La limpieza de la costa con dispersantes es probable que lleve hidrocarburos a las aguas cerca de la costa y aumente la probabilidad de que los mariscos acumulen hidrocarburos. Si el hidrocarburo se deja en tierra, puede en cualquier caso lixiviar gradualmente a las aguas cerca de la costa. La opción preferida en este caso es el retiro físico del hidrocarburo de la costa o utilizar agentes de limpieza en la ribera que permitan retirar el hidrocarburo del agua. Sin embargo, cualquier limpieza agresiva de la ribera es probable que lleve hidrocarburos a las aguas cerca de la costa con los efectos consiguientes.



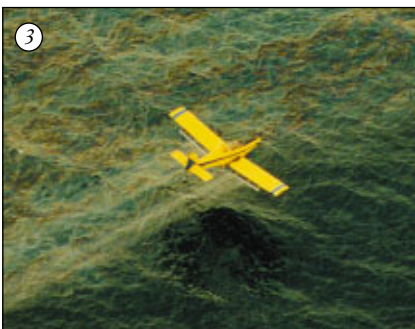
OPCIONES DE APLICACIÓN



Los sistemas de rociado ideales aplican el dispersante de manera uniforme sobre la mancha de hidrocarburos, de forma que maximizan la mezcla dispersante-hidrocarburos y minimizan los desvíos producidos por el viento. El tamaño de la gota de rociado es una variable clave que influye en la eficacia del dispersante, ya que las gotitas muy pequeñas se ven afectadas por el desvío excesivo del viento. Todos los diferentes sistemas de aplicación de dispersantes tienen sus propias ventajas y desventajas que se resumen a continuación.



- Los sistemas que se acoplan a botes son relativamente baratos y pueden utilizarse con muchos tipos de embarcaciones, pero la tasa de encuentro es muy baja. Estudios durante la década pasada han mostrado que la tasa de encuentro de los botes puede aumentarse utilizando el sistema contra incendio de las embarcaciones para aplicar el dispersante, si no se tiene disponible un equipo de rociado de dispersantes adecuado. En este caso, sin embargo, el dispersante se aplica diluido en agua y de este modo es menos eficaz, que los sistemas diseñados para aplicarlo puro sin diluir. Dado que las manchas de hidrocarburos no tienen un espesor uniforme, es necesario dirigir los botes hacia las áreas más gruesas de hidrocarburos mediante aeronaves de observación. Los sistemas más antiguos están diseñados para rociar dispersante convencional o concentrado pre-diluido en el agua de mar, mientras que los sistemas recientes pueden aplicar concentrados puros y algunas veces con una tasa de dosificación de la aplicación ajustable.



- Los sistemas basados en aviones de ala fija permiten una rápida respuesta y una tasa de tratamiento alta. La carga útil inferior de estas aeronaves pequeñas, como los aviones de fumigación, puede contrarrestarse con su flexibilidad, ya que tienen unos requisitos logísticos sencillos y pueden operar desde pistas de aterrizaje rudimentarias. Sin embargo, estos aviones pueden no estar disponibles fácilmente. Los aviones más grandes, dedicados o que utilizan tanques grandes en el espacio de la carga, pueden aplicar grandes cantidades de dispersante, pero son costosos y requieren un considerable apoyo operativo.



- Los sistemas basados en helicópteros pueden operar desde una base cerca del derrame y es posible utilizarlos en lugares confinados o inaccesibles. Los helicópteros a menudo están disponibles fácilmente y aplican el dispersante desde contenedores que pueden sujetar con facilidad. Sin embargo, la tasa de tratamiento es generalmente más baja que la de los sistemas de ala fija.

1. Los sistemas de rociado montados en proa, mostrados aquí en los buques de la Marina Francesa, pueden proporcionar un medio eficaz para aplicar dispersantes.
2. El ADDSPACK (Sistema de Entrega de Dispersante Transportado por Aire), es un sistema de aplicación que no requiere instalación permanente de brazos de rociado montados en el ala.
3. Avión de fumigación adaptado para aplicar dispersantes en la respuesta de emergencia ante derrames de hidrocarburos.
4. Helicóptero que muestra el contenedor de rociado de dispersantes.

USO DE DISPERSANTES EN LA RIBERA

El uso de dispersantes en la ribera requiere una cuidadosa consideración de los riesgos y de los beneficios.

En general, el uso de dispersantes no debe considerarse como un método rutinario de limpieza de la ribera. La recuperación mecánica o manual, quizás coadyuvada por agentes de limpieza y lavado de agua puede ser una alternativa mejor.

En contraste con el uso de dispersantes en el mar, existe el riesgo de que los organismos marinos que viven cerca de la costa y en la costa se expongan a altas concentraciones de dispersante o de hidrocarburo dispersado. Se han producido efectos serios, pero localizados, en organismos marinos cuando se han aplicado dispersantes en las charcas que se forman entre las rocas. Sin dilución, los organismos marinos se ven expuestos a concentraciones elevadas de dispersante y de hidrocarburo dispersado por períodos prolongados.

También existe el peligro de que, en algunos tipos de costas, el uso de dispersantes permite que el hidrocarburo empape la ribera. Esto ocurrirá cuando el hidrocarburo emulsificado haya derivado hasta tierra. Gruesas alfombras de emulsión con una elevada viscosidad no penetrarán la mayoría de las riberas. El rociado con dispersante puede 'romper' la emulsión y el hidrocarburo liberado, conteniendo ahora dispersante y con una viscosidad mucho menor, empapará la costa.

Por consiguiente, es esencial retirar la mayor cantidad del hidrocarburo derramado antes de considerar el uso de dispersantes. En algunas circunstancias, puede resultar entonces justificable rociar dispersantes sobre el hidrocarburo en el área entre mareas, justo antes de que la marea entrante lo disperse. Éste podría ser el caso si la ribera es una playa turística que necesita aparecer limpia por razones comerciales y estéticas. Si hay que utilizar dispersantes para limpiar las rocas o estructuras hechas por el hombre impregnadas de hidrocarburos dentro de un área de servicio, entonces hay que mezclar el dispersante con el hidrocarburo utilizando cepillos para fregar. Esto es con el fin de garantizar una buena mezcla del hidrocarburo y del dispersante antes de lavar la mezcla con agua de mar. Sin embargo, deben considerarse las consecuencias de dispersar el hidrocarburo en aguas poco profundas. La concentración de hidrocarburo dispersado puede ser por corto tiempo lo suficientemente alta como para afectar a los organismos marinos sensibles y los mariscos que se alimentan por filtración pueden ingerirlo, aunque lo más probable es que ya se hayan visto afectados por el derrame original.

Ahora hay disponibles agentes de limpieza especializados para las riberas. Éstos se han formulado de manera especial para aflojar y liberar el hidrocarburo de las superficies de las riberas, sin dispersarlo. El hidrocarburo liberado puede entonces contenerse en barreras y recuperarse. Estos agentes de limpieza deben preferirse a los dispersantes.



El uso de dispersantes no debe considerarse como un método rutinario de limpieza de la línea costera.

CONCLUSIONES

A lo largo de este informe se han mencionado diferentes ventajas y desventajas de los dispersantes y se pueden resumir de la siguiente manera. En el lado positivo, los dispersantes permiten una rápida respuesta que se puede utilizar en una amplia gama de condiciones ambientales y marinas y ésta es la ventaja más significativa sobre otras opciones de respuesta. La dispersión puede reducir el daño que se puede causar sobre aquellos organismos que son sensibles a la sofocación y al recubrimiento por hidrocarburos (por ejemplo, aves, nutrias marinas y manglares). Se pueden reducir la formación de 'mousse' y la contaminación de la ribera y se aumenta la biodegradación.

En el lado negativo, incluso teniendo en cuenta los avances en el desarrollo de productos mejores, los dispersantes no funcionan con todos los hidrocarburos y en todas las condiciones. La 'ventana de oportunidad' de la aplicación, aunque más larga que con los primeros dispersantes, puede ser todavía relativamente corta en algunos casos debido a los procesos de alteración por agentes atmosféricos naturales que hacen progresivamente menos dispersable al hidrocarburo. Puede no ser logísticamente posible tratar todo el hidrocarburo derramado antes de que la 'ventana de oportunidad' se cierre. Una dispersión satisfactoria redistribuye el hidrocarburo en la columna de agua, donde, en algunos casos con dilución insuficiente, puede afectar a los organismos marinos, como por ejemplo, organismos de los arrecifes de coral, o acumularse temporalmente en los mariscos sub-mareales.

Es necesario considerar estas ventajas y desventajas en referencia a las condiciones locales durante el proceso de planeación de contingencias. La toma de decisiones no es un proceso puramente científico, sino que implica equilibrar una variedad de intereses. En la mayoría de las regiones, es probable que la opción del dispersante pueda ofrecer un beneficio ambiental neto para algunos escenarios de derrame de hidrocarburos.

AGRADECIMIENTOS, LECTURAS ADICIONALES Y REFERENCIAS

Agradecimientos

La Dra. Jennifer Baker llevó a cabo la preparación de la primera edición de este informe publicado en 1993. H. Aston, S. Horn, A. Ladousse, D. Lessard y P. Shirt proporcionaron valiosos aportes. Se agradece la ayuda de E. Gilfillan, P. Taylor y de International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF) por sus comentarios constructivos y por algunas de las fotografías. El material para las figuras de las páginas, 6, 20 y 24 viene respectivamente de Canevari/NRC (1989), NRC (1989), McAuliffe *et al.* (1980, 81) y Gilfillan *et al.* (1984). Se agradecen las fotografías suministradas para la segunda edición por AEA Technology, Australian Marine Oil Spill Centre (AMOSC), Centre de Documentation de Recherche et d'Experimentation sur les pollutions accidentelles des eaux (CEDRE), Oil Spill Response Limited (OSRL) y UK Maritime and Coastguard Agency (MCA).

F. Merlin (CEDRE) y A. Lewis (consultor sobre derrames de hidrocarburos) llevaron a cabo las revisiones de esta segunda edición (2001). El equipo de revisión del Grupo de Trabajo sobre Derrames de Hidrocarburos de IPIECA formado por M. Al-Zayer (Saudi Aramco), D. Lessard (ExxonMobil), D. O'Donovan (Marine Spill Response Corporation), A. Saeed (Kuwait Petroleum Corporation-Kuwait Oil Company), P. Taylor (OSRL), J. Thornborough (BP) y S. Seddon-Brown (IPIECA) proporcionaron comentarios y consejos útiles. Se recibió también valiosa retroalimentación de parte de H. Parker (ITOPF), T. Bracher (ChevronTexaco), R. Holten (ChevronTexaco), A. Mearns (US National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), T. Lunel (AEA Technology) y D. Blackmore (AMOSC).

Lecturas y referencias adicionales

Directrices publicadas

Hay disponibles otras directrices sobre el uso de dispersantes:

CEDRE y French Petroleum Institute: *Use of Dispersants for Controlling Offshore Oil Slicks: Field Guide for the treatment of slicks by boat.*

Publicaciones de DEFRA (Department of the Environment, Fisheries and Rural Affairs), anteriormente MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food), Londres (Reino Unido): *The approval and use of oil dispersants in the UK*

Exxon Mobil Research & Engineering Company (2000), *ExxonMobil Dispersant Guidelines*, Fairfax, NJ.

IMO/UNEP *Guidelines on Oil Spill Dispersant Application, including Environmental Considerations*, edición de 1995, International Maritime Organisation, Londres (Reino Unido).

Institute of Petroleum (2001), *Planning for the Use of Oil Spill Dispersants*, Londres (Reino Unido).

Documentos científicos

Se han publicado un gran número de documentos científicos sobre dispersantes en diferentes revistas profesionales. Se pueden encontrar documentos sobre temas específicos descritos en este informe en las siguientes referencias:

Aurand, D. *et al.* (2001) Ten years of research by the US Oil Industry to evaluate the ecological issues of dispersant use: an overview of the past decade, *Proceedings of the 2001 International Oil Spill Conference*, API, Washington, DC.

Aurand, D. *et al.* (2001) Goals, Objectives and the Sponsors' Perspective on the Accomplishments of the Chemical Response to oil Spills: Ecological Effects Research Forum (CROSERF), *Proceedings of the 2001 International Oil Spill Conference*, API, Washington, DC.

Aurand, D. *et al.* (2001) Ecological risk assessment principles applied to oil spill response planning, *Proceedings of the 2001 International Oil Spill Conference*, API, Washington, DC.

Baker, J. M. *et al.* (1984) Comparison of the fate and ecological effects of dispersed and non-dispersed oil in a variety of inter-tidal habitats. In *Oil Spill Chemical Dispersants: Research, Experience and Recommendations*, STP 840. T. E. Allen, ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, p 239–279.

Ballou, T. G. *et al.* (1989) Effects of untreated and chemically dispersed oil on tropical marine communities: a long-term field experiment. *Proceedings 1989 Oil Spill Conference*, API Publication Number 4479, American Petroleum Institute, Washington, DC, p 447–454.

Bonn Agreement (1988) *Position Paper on Dispersants* (Acuerdo de Bonn (1988) Bonn Agreement, New Court, 48 Carey Street, Londres WC2A 2JE.

Etkin, D.S. (1999) *Oil Spill Dispersants: From Technology to Policy*, Cutter Information Corp., Arlington, MA.

Fuller, C. and Bonner, J. S. (2001) Comparative toxicity of oil, dispersant and dispersed oil to Texas marine species, *Proceedings of the 2001 International Oil Spill Conference*, API, Washington, DC.

Fuller, C. *et al.* (1999) Comparative toxicity of simulated beach sediments impacted with both whole and chemical dispersions of weathered Arabian medium crude oil, *Proceedings of the 22nd Arctic and Marine Oil Spill Programme Technical Seminar*, Calgary, Alberta, Canadá, p 659–670.

- Gilfillan, E. S. *et al.* (1983) Effect of spills of dispersed and non-dispersed oil on inter-tidal infaunal community structure, *Proceedings 1983 Oil Spill Conference*, API Publication Number 4356, American Petroleum Institute, Washington, DC, p 457–463.
- Gilfillan, E. S. *et al.* (1984) Effects of test spills of chemically dispersed and non-dispersed oil on the activity of aspartate amino-transferase and glucose-6-phosphate dehydrogenase in two inter-tidal bivalves, *Mya arenaria* and *Mytilus edulis*. In *Oil Spill Chemical Dispersants: Research, Experience and Recommendations*, STP 840. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, p 299–313.
- IPIECA (1992) *Impactos biológicos de la contaminación por hidrocarburos: arrecifes de coral*. Serie Informes de IPIECA, Volumen 3. International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, Londres.
- IPIECA (2000) *Selección de Opciones de Respuesta para Minimizar los Daños a Derrames de Hidrocarburos: Análisis del Beneficio Ambiental Neto*. Serie Informes de IPIECA, Volumen 10. International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, Londres.
- ITOPF (1987) *Response to Marine Oil Spills*. International Tanker Owners Pollution Federation Ltd., Londres. Pub. Witherby and Co., London (ISBN 0 948691 51 4).
- Lai, H. C. and Feng, M. C. (1985) Field and laboratory studies on the toxicity of oils to mangroves. *Proceedings 1985 Oil Spill Conference*, API Publication Number 4385, American Petroleum Institute, Washington, DC, p 539–546.
- LeGore, S. *et al.* (1989) Effect of chemically dispersed oil on Arabian Gulf corals: a field experiment. *Proceedings 1989 Oil Spill Conference*, API Publication Number 4479, American Petroleum Institute, Washington, DC, p 375–380.
- Lessard, R.R. and DeMarco, G. (2000) The Significance of Oil Spill Dispersants, *Spill Science and Technology Bulletin*, Vol. 6, No.1, pp 59–68, Elsevier Science Ltd., Reino Unido.
- Lewis, A. and Aurand, D. (1997) *Putting Dispersants to Work: Overcoming Obstacles*, API Publication Number, Washington, DC.
- Lunel, T. *et al.* (1997) The net environmental benefit of a successful dispersant operation at the Sea Empress incident, *Proceedings of the 1997 International Oil Spill Conference*, API, Washington, DC.
- Lunel T. y Lewis A. Optimisation of Oil Spill Dispersant Use. *Proceedings of the 1999 International Oil Spill Conference*, Seattle, 187–193, 1999.
- Merlin, F. *et al.* (1989) Optimisation of dispersant application especially by ship. *Proceedings of the 1989 International Oil Spill Conference*, API, Washington, DC.
- Merlin, F. *et al.* (1991) Towards a French Approval Procedure for the Use of Dispersants in Inland Waters. *Proceedings of the 1991 International Oil Spill Conference*, API, Washington, DC.
- McAuliffe, C. D. *et al.* (1980) Dispersion and weathering of chemically treated crude oils on the ocean. *Environ. Sci. Technol.*, 14, p 1509–1518.

McAuliffe, C. D. *et al.* (1981) The 1979 southern California dispersant treated research oil spills. *Proceedings 1981 Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute, Washington DC, p 269–282.

National Research Council (1989) *Using Oil Spill Dispersants on the Sea*. National Academy Press, Washington, DC.

Page, D. S. *et al.* (1983) Long-term fate of dispersed and undispersed crude oil in two nearshore test spills. *Proceedings 1983 Oil Spill Conference*, API Publication No. 4356, American Petroleum Institute, Washington DC, p 465–471.

Singer, M. M. *et al.* (2001) Acute effects of fresh versus weathered oil to marine organisms: Californian findings, *Proceedings of the 2001 International Oil Spill Conference*, API, Washington, DC.

SEEEC (1998) *The Environmental Impact of the Sea Empress Oil Spill*. The Stationery Office, London

Sergy, G. A. and Blackall, P. J. (1987) Design and conclusions of the Baffin Island oil spill project. *Arctic* Vol. 40, Supplement 1, p 1–9.

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association) está compuesta por compañías y asociaciones petroleras de todo el mundo. Fundada en 1974 después del establecimiento del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), IPIECA proporciona el canal principal de comunicación de la industria de hidrocarburos con las Naciones Unidas. IPIECA es la única asociación global que representa a la industria del hidrocarburo en temas ambientales claves entre los cuales se incluyen: preparación y respuesta a los derrames de hidrocarburos; cambio climático global; aspectos operativos y biodiversidad.

A través de un Foro de Evaluación de Temas Estratégicos, IPIECA también ayuda a sus miembros a identificar nuevos temas ambientales globales y evalúa su impacto potencial en la industria de hidrocarburos. El programa de IPIECA toma en consideración los avances internacionales en estos temas globales, sirviendo como foro para el debate y la cooperación e involucrando a la industria y a las organizaciones internacionales.

Compañías miembros

Amerada Hess
 BG Group
 BHP Billiton
 Bitor
 BP
 ChevronTexaco
 Encana
 ENI SpA
 ExxonMobil
 Hunt Oil
 Hydro
 Kuwait Petroleum Corporation
 Mærsk Olie og Gas
 Marathon Oil
 Metasource Pty Ltd (Woodside)
 Nexen
 NOC Libya
 Petroleum Development of Oman
 PETRONAS
 Repsol YPF
 Saudi Aramco
 Shell
 Statoil
 Total
 Unocal

Asociaciones miembros

American Petroleum Institute (API)
 Australian Institute of Petroleum (AIP)
 Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP)
 Canadian Petroleum Products Institute (CPPI)
 CONCAWE
 European Petroleum Industry Association (EUROPIA)
 Institut Français du Pétrole (IFP)
 International Association of Oil & Gas Producers (OGP)
 Petroleum Association of Japan (PAJ)
 Regional Association of Oil and Natural Gas Companies in Latin America and the Caribbean (ARPEL)
 Regional Clean Sea Organisation (RECSO)
 South African Petroleum Industry Association (SAPIA)
 World Petroleum Congress (WPC)



International Petroleum Industry Environmental Conservation Association
5th Floor, 209-215 Blackfriars Road, Londres SE1 8NL, Reino Unido
Teléfono: +44 (0)20 7633 2388 Facsímile: +44 (0)20 7633 2389
Correo electrónico: info@ipieca.org Internet: www.ipieca.org