



# DESTINO DE LOS DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN EL MEDIO MARINO

DOCUMENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA

2



# Introducción

Cuando se derraman hidrocarburos al mar, estos experimentan diversos cambios físicos y químicos, algunos de los cuales dan lugar a su eliminación de la superficie del agua, mientras que otros provocan su persistencia. El destino de los hidrocarburos derramados en el entorno marino depende de factores tales como la cantidad derramada, las características físicas y químicas iniciales del tipo de hidrocarburos, las condiciones climáticas y marinas predominantes y si los hidrocarburos permanecen en el mar o son arrastrados hacia la costa.

El conocimiento de los procesos e interacciones que entran en juego para modificar la naturaleza, composición y comportamiento de los hidrocarburos con el transcurso del tiempo resulta fundamental para todos los aspectos de la respuesta a derrames de hidrocarburos. Por ejemplo, es posible prever con seguridad que los hidrocarburos no alcanzarán recursos vulnerables debido a la disipación natural y que, por lo tanto, no se requerirán operaciones de limpieza. Cuando se requiera una respuesta activa, el tipo de hidrocarburos y su posible comportamiento determinarán qué opciones de respuesta tendrán más posibilidades de resultar eficaces.

Este documento describe los efectos combinados de los diversos procesos naturales que actúan sobre los hidrocarburos derramados, conocidos en conjunto como “meteorización”. Los factores que determinan las posibilidades de persistencia de los hidrocarburos en el entorno marino se analizan junto con las consecuencias para las operaciones de respuesta. El destino de los hidrocarburos derramados en el entorno marino presenta repercusiones importantes para todos los aspectos de una respuesta y, en consecuencia, este documento debe leerse junto con otros documentos incluidos en esta serie de Documentos de Información Técnica.

## Propiedades de los hidrocarburos

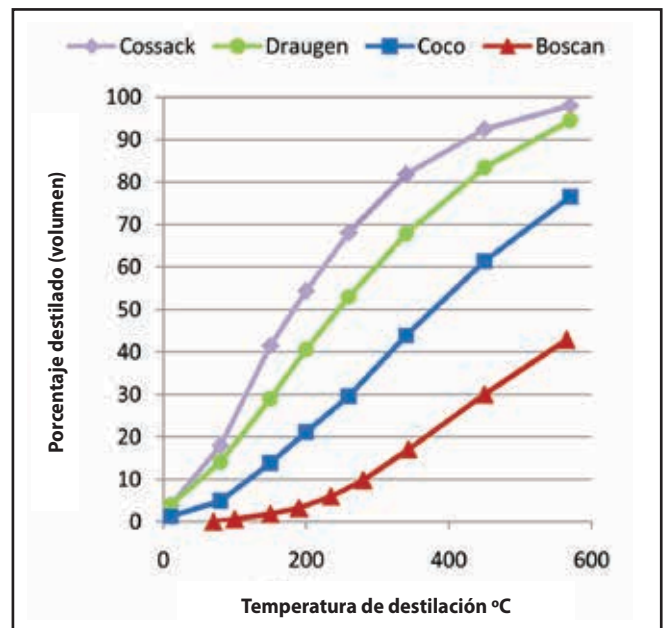
Los petróleos crudos de diferente origen pueden presentar propiedades físicas y químicas muy diversas, mientras que numerosos productos refinados suelen tener propiedades bien definidas, independientemente del petróleo crudo del que se deriven. El fueloil intermedio y el fueloil pesado, que contienen diferentes proporciones de residuos del proceso de refinado mezclados con productos refinados más ligeros, también presentan grandes diferencias en sus propiedades.

Las propiedades físicas principales que afectan al comportamiento y la persistencia de un tipo de hidrocarburos derramados en el mar son la gravedad específica, características de destilación, presión de vapor y punto de fluidez. Todas las propiedades dependen de la composición química, como por ejemplo la proporción de componentes volátiles y el contenido de asfaltenos, resinas y ceras.

La **gravedad específica o densidad relativa** de un tipo de hidrocarburos es su densidad con respecto al agua pura, que tiene una gravedad específica de 1. La mayoría de los hidrocarburos son menos densos o más ligeros que el agua del mar, que normalmente presenta una gravedad específica de 1,025. Normalmente se utiliza la escala de gravedades del American Petroleum Institute (API) para describir la gravedad específica de petróleos crudos y productos del petróleo, tal como se indica a continuación:

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{gravedad específica}} - 131,5$$

Además de determinar si un tipo de hidrocarburos flotará o no, la gravedad específica proporciona también una indicación general sobre otras de sus propiedades. Por ejemplo, los hidrocarburos con una gravedad específica baja (API alto) suelen contener una elevada proporción de componentes volátiles y viscosidad baja.

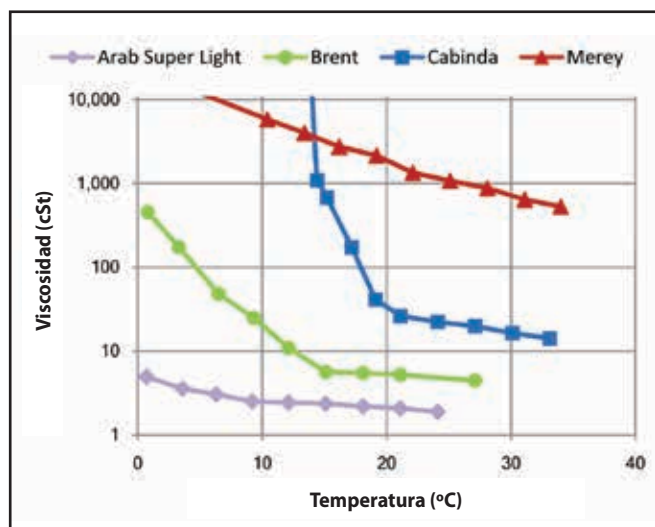


▲ *Figura 1: curvas de destilación para cuatro tipos de petróleo crudo típico. Los hidrocarburos que permanecen por encima de la temperatura máxima ilustrada son principalmente residuos. Los datos proceden de ensayos con hidrocarburos.*

Las **características de destilación** de un tipo de hidrocarburos describen su volatilidad. En el proceso de destilación, a medida que aumenta su temperatura, diferentes componentes alcanzan sucesivamente su punto de ebullición correspondiente, se evaporan y, a continuación, se enfrían y condensan. Las características de destilación se expresan como las proporciones del tipo de hidrocarburos original que se destilan dentro de rangos de temperatura específicos (*Figura 1*). Algunos hidrocarburos contienen residuos bituminosos, cerosos o asfálticos, que no se destilan inmediatamente incluso a altas temperaturas y que también es probable que persistan

|                    | Grupo 1             | Grupo 2     | Grupo 3 | Grupo 4   |
|--------------------|---------------------|-------------|---------|-----------|
|                    | Arabian Super Light | Brent       | Cabinda | Merey     |
| Origen             | Arabia Saudí        | Reino Unido | Angola  | Venezuela |
| *API               | 50,7                | 37,9        | 32,5    | 17,3      |
| GE a 15°C          | 0,79                | 0,83        | 0,86    | 0,96      |
| Contenido de ceras | 12%                 | Sin datos   | 10,4%   | 10%       |
| Asfaltenos         | 7%                  | 0,5         | 0,16    | 9%        |
| Punto de fluidez   | -39°C               | -3°C        | 12°C    | -21°C     |

▲ *Tabla 1: características físicas de cuatro tipos de petróleo crudo típicos. Los colores y agrupaciones se corresponden con las clasificaciones de la Tabla 2 (página 8).*



▲ *Figura 2: relación entre viscosidad y temperatura para los cuatro tipos de petróleo crudo de la tabla 1.*

en el entorno marino durante amplios periodos de tiempo (por ejemplo, el petróleo de Boscán en la Figura 1).

La **presión de vapor** proporciona una indicación adicional de la volatilidad de un tipo de hidrocarburos, mencionada normalmente como Presión de Vapor Reid medida a 100 °F (37,8 °C). Una presión de vapor superior a 3 kPa (23 mmHg) es el criterio para que se produzca la evaporación en la mayoría de las condiciones. Por encima de 100 kPa (760 mmHg), la sustancia se comporta como un gas. La gasolina, por ejemplo, presenta una presión de vapor entre 40–80 kPa (300–600 mmHg). El petróleo crudo de Cossack muestra una presión de vapor (método Reid) de 44 kPa y es muy volátil, con una elevada proporción de componentes que alcanzan el punto de ebullición a bajas temperaturas, mientras que el petróleo crudo de Boscán es mucho menos volátil, con una Presión de Vapor Reid de tan solo 1,7 kPa.

La **viscosidad** de un tipo de hidrocarburos es su resistencia al flujo. Los hidrocarburos de alta viscosidad fluyen con menos facilidad que los de viscosidad más baja. Todos los hidrocarburos se vuelven más viscosos (esto es, fluyen con menos facilidad) a medida que la temperatura desciende; algunos más que otros en función de su composición. En la Figura 2 se muestran las relaciones entre la temperatura y la viscosidad para cuatro tipos de petróleo crudo. En este documento, las unidades de viscosidad cinemática se expresan como centistokes ( $cSt = mm^2 s^{-1}$ ).

El **punto de fluidez** es la temperatura máxima a la que un tipo de hidrocarburos deja de fluir, y depende de su contenido en ceras y asfaltenos. Al enfriarse, los hidrocarburos alcanzarán una temperatura, denominada **punto de turbidez**, a la que los



▲ *Figura 3: los hidrocarburos derramados al mar a temperaturas inferiores a su punto de fluidez forman fragmentos semisólidos. Esta imagen muestra petróleo crudo Nile Blend, con un punto de fluidez de +33 °C, en agua de mar a 28 °C. Estos hidrocarburos son muy persistentes y pueden recorrer grandes distancias.*

componentes cerosos comenzarán a formar estructuras cristalinas. La formación de cristal entorpece progresivamente el flujo de los hidrocarburos hasta que, al enfriarse posteriormente, se alcanza el punto de fluidez, el flujo cesa y los hidrocarburos cambian de estado líquido a semisólido (Figura 3). En la Figura 2 se muestra un ejemplo de este comportamiento para petróleo crudo de Cabinda. A medida que estos hidrocarburos se enfrían desde 30 °C, la viscosidad aumenta lentamente, aunque una vez por debajo de su punto de turbidez de 20 °C, comienza a espesar exponencialmente. En el punto de fluidez de 12 °C, la viscosidad ha aumentado lo suficiente como para impedir el flujo.

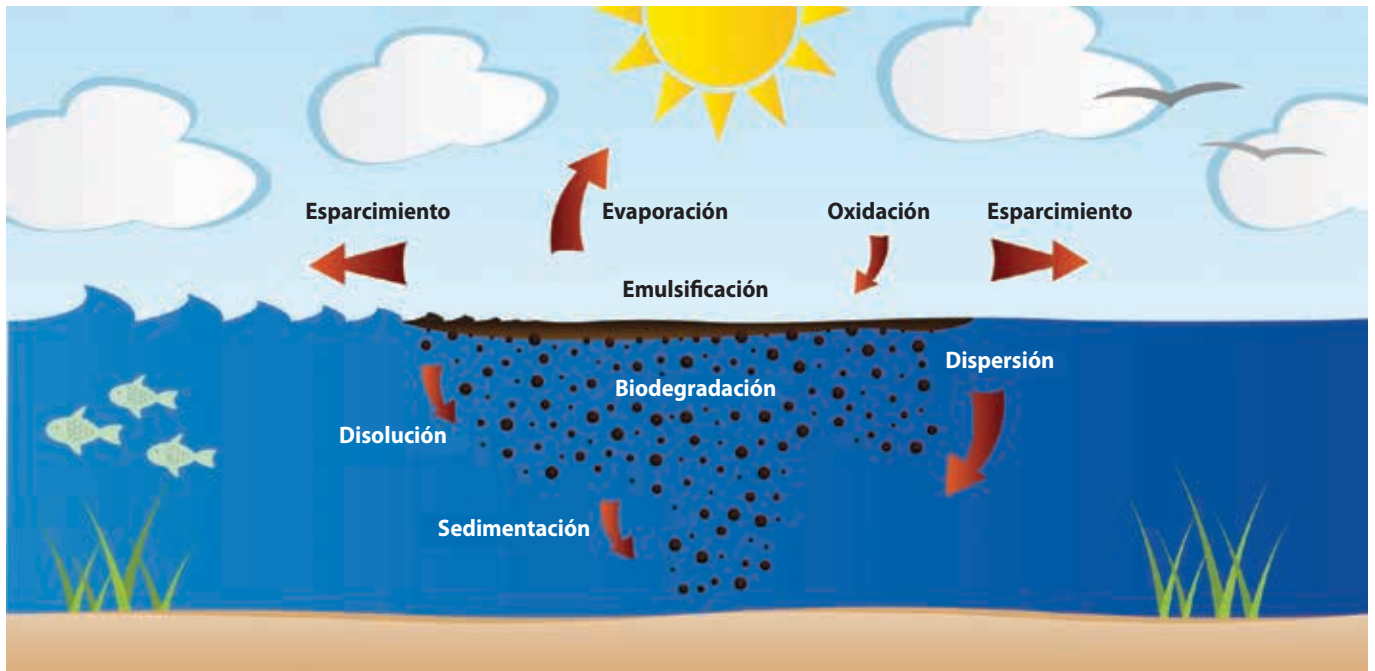
## Procesos de meteorización

Los distintos procesos que se tratan en la siguiente sección actúan juntos para provocar la meteorización de los hidrocarburos derramados (Figura 4). Sin embargo, la importancia relativa de cada proceso varía con el tiempo. Esto se muestra en la Figura 6 para el derrame de un petróleo crudo mediano típico bajo condiciones marinas moderadas. Además de estos procesos, una mancha de hidrocarburos se desplazará en función del viento y las corrientes, tal y como se describe en el documento Observación aérea de derrames de hidrocarburos en el medio marino.

## Esparcimiento

Los hidrocarburos comienzan a esparcirse sobre la superficie del mar tan pronto como se derraman. La velocidad a la que esto se produce depende en gran medida de la viscosidad de los hidrocarburos y del volumen derramado. Los hidrocarburos fluidos de baja viscosidad se esparcen con más rapidez que los de alta viscosidad. Los hidrocarburos líquidos se esparcen inicialmente como una mancha uniforme, pero comienzan a disgregarse rápidamente. A medida que los hidrocarburos se esparcen y se reduce el grosor, su aspecto cambia de la coloración negra o marrón oscura de las manchas de gruesas al brillo iridiscente y plateado en los bordes de la mancha (Figura 5). En lugar de esparcirse como capas finas, los hidrocarburos semisólidos o muy viscosos se fragmentan en manchas aisladas que se separan y, en ocasiones, pueden alcanzar varios centímetros de grosor. En aguas abiertas, los patrones de circulación del viento tienden a provocar que los hidrocarburos formen bandas estrechas o

\* *viscosidad cinemática = viscosidad dinámica ÷ densidad. La densidad dinámica se mide en centipoise (cP) o en su equivalente en el SI: miliPascales por segundo (mPa s)*



▲ *Figura 4: actuación de procesos de meteorización sobre los hidrocarburos en el mar. Algunos de estos procesos dejarán de tener lugar cuando los hidrocarburos estén varados en la costa.*

“hileras” paralelas a la dirección del viento y, con el transcurso del tiempo, las propiedades de los hidrocarburos adquieren menor importancia para determinar el movimiento de la mancha.

La velocidad a la que los hidrocarburos se esparcen o fragmentan también se ve afectada por el efecto de olas, turbulencia, energía de las mareas y corrientes; cuanto mayor sea el efecto de esta combinación de fuerzas, más rápido evolucionará el proceso. Existen numerosos ejemplos de esparcimiento de hidrocarburos sobre varios kilómetros cuadrados en pocas horas y sobre varios cientos de kilómetros cuadrados en pocos días. Con la excepción de pequeños derrames de hidrocarburos de baja viscosidad, el esparcimiento no es uniforme y pueden producirse grandes variaciones en el grosor de los hidrocarburos, desde menos de un micrómetro hasta varios milímetros, o incluso más.

## Evaporación

Los componentes más volátiles de un tipo de hidrocarburos se evaporarán a la atmósfera. La velocidad de evaporación depende de la temperatura ambiente y de la velocidad del viento. En general, los componentes de hidrocarburos con un punto de ebullición

inferior a 200 °C se evaporarán en un periodo de 24 horas en condiciones moderadas. Cuanto más grande sea la proporción de componentes con puntos de ebullición bajos, como se muestra a través de las características de destilación de los hidrocarburos, mayor será el grado de evaporación. En el ejemplo de la Figura 1 para petróleo crudo de Cossack, el 55% de la composición del petróleo crudo son componentes que entran en ebullición por debajo de 200 °C, mientras que en el caso del petróleo crudo de Boscán, estos componentes solo llegan al 4%.

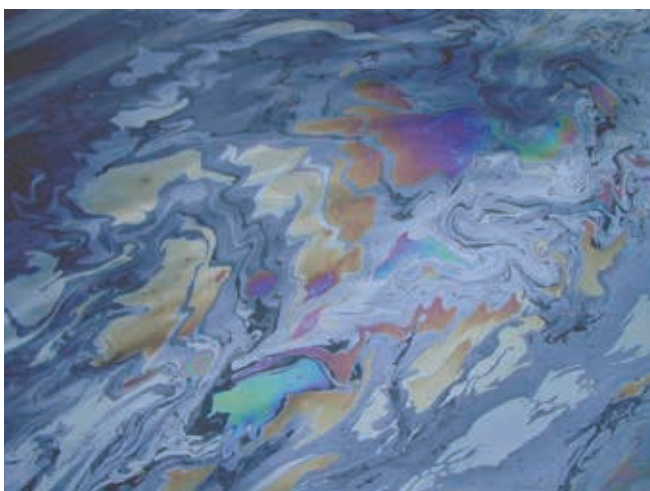
La velocidad de esparcimiento inicial de los hidrocarburos también afecta a la velocidad de evaporación, porque cuanto más aumente la superficie, más rápidamente se evaporarán los componentes ligeros. La evaporación también aumenta bajo condiciones de mar picado, velocidades del viento elevadas y temperaturas cálidas.

Los residuos de hidrocarburos que permanecen después de la evaporación presentan mayor densidad y viscosidad, lo que afecta a los procesos de meteorización posteriores y a las técnicas de limpieza.

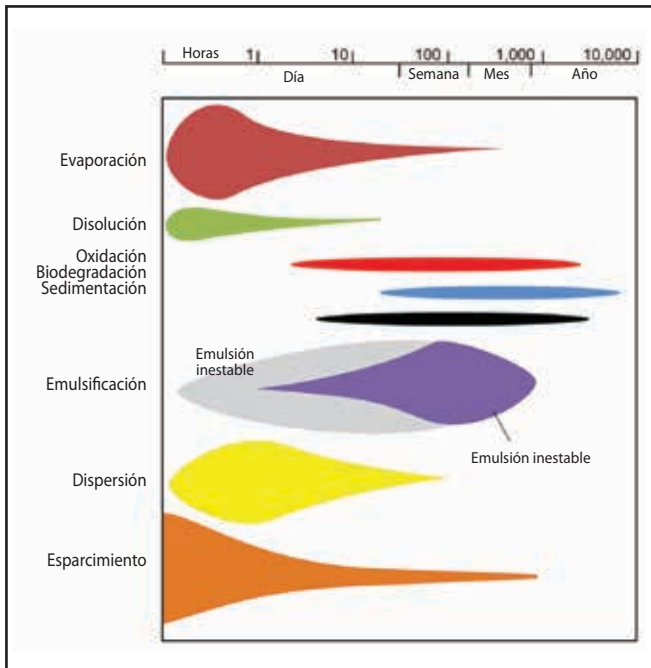
Los derrames de productos refinados, como queroseno y gasolina, pueden evaporarse completamente en el plazo de horas, y petróleos crudos ligeros, como por ejemplo Cossack, pueden perder más de un 50% de su volumen durante el primer día. Cuando estos hidrocarburos extremadamente volátiles se derraman en áreas confinadas, puede existir un riesgo de incendio y explosión o peligro para la salud humana. Por el contrario, el fueloil pesado sufre una evaporación nula o muy reducida y plantea un riesgo de explosión mínimo. No obstante, el fueloil pesado puede representar un riesgo de incendio. Si se encienden desechos en una acumulación de hidrocarburos en condiciones de calma, puede formarse una mecha suficiente como para que se produzca un incendio de hidrocarburos intenso.

## Dispersión

La velocidad de dispersión depende principalmente de la naturaleza de los hidrocarburos y del estado del mar. La dispersión se produce más rápidamente con hidrocarburos de baja viscosidad en presencia de rompientes. Las olas y la turbulencia en la superficie del mar pueden disgregar una mancha total o parcialmente en gotas que se mezclan en las capas superiores de la columna de agua. Las gotas más pequeñas se mantienen en suspensión mientras que las



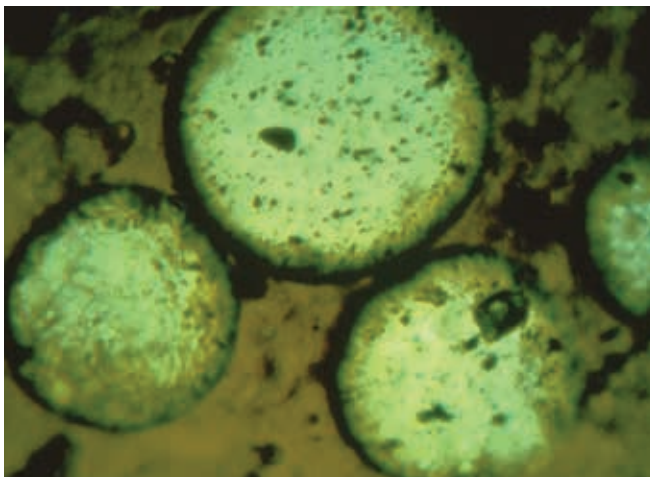
▲ *Figura 5: cuando los hidrocarburos intermedios y ligeros pueden esparcirse sin obstáculos, finalmente se forman películas muy finas. Se muestran como brillos iridiscentes (arco iris) y plateados, que se disipan rápidamente.*



▲ *Figura 6: representación esquemática del destino de un derrame de petróleo crudo del Grupo 2/3 típico, que muestra los cambios en la importancia relativa de los procesos de meteorización con el transcurso del tiempo. La anchura de cada banda indica la importancia del proceso (según un diagrama cedido por gentileza de SINTEF).*

más grandes suben de nuevo hasta la superficie, donde se fusionan con otras gotas para volver a formar una mancha o para esparcirse en una película muy fina. En el caso de las gotas con un diámetro inferior a 70 µm, la velocidad a la que suben hasta la superficie se equilibra por la turbulencia del mar de forma que se mantienen en suspensión. Estos hidrocarburos dispersos se mezclan en volúmenes cada vez mayores de agua de mar, lo que produce una reducción rápida y muy considerable de la concentración de los hidrocarburos. El aumento del área superficial que presenta los hidrocarburos dispersos también estimulan procesos como biodegradación, disolución y sedimentación.

Los hidrocarburos que permanecen fluidos y sin obstáculos para esparcirse por parte de otros procesos de meteorización, pueden dispersarse completamente en pocos días en condiciones del mar moderadas. La aplicación de dispersantes puede acelerar este proceso natural. Por otra parte, los hidrocarburos viscosos



▲ *Figura 7: imagen muy ampliada (x1.000) de una emulsión de agua en hidrocarburos que muestra gotitas de agua rodeadas de hidrocarburo.*

tienden a formar fragmentos gruesos sobre la superficie del agua que muestran poca tendencia a la dispersión, incluso con la adición de dispersantes.

## Emulsificación

Numerosos hidrocarburos absorben agua y forman emulsiones de agua en hidrocarburos. Esto puede aumentar el volumen de contaminante en un factor de hasta cinco veces. Las emulsiones se forman más fácilmente en el caso de los hidrocarburos que, cuando se derraman, presentan una concentración de níquel/vanadio combinada superior a 15 ppm o un contenido de asfaltenos superior al 0,5%. La presencia de estos componentes y de estados del mar típicamente superiores a fuerza 3 en la escala Beaufort (velocidad del viento de 3 a 5 ms<sup>-1</sup> o de 7 a 10 nudos) determinan la velocidad de formación de las emulsiones. Los hidrocarburos viscosos, como el fueloil pesado, suelen absorber agua más lentamente que los hidrocarburos más fluidos. A medida que se desarrolla la emulsión, el movimiento de los hidrocarburos en las olas provoca que las gotas de agua absorbidas por los hidrocarburos reduzcan su tamaño (*Figura 7*), lo que aumenta progresivamente la viscosidad de la emulsión. Al mismo tiempo, la estabilidad de la emulsión puede aumentar si los compuestos asfaltenos se precipitan desde el hidrocarburo para recubrir las gotas. A medida que aumenta la cantidad de agua incorporada, la densidad de la emulsión se aproxima a la densidad del agua de mar aunque, sin la adición de partículas sólidas, es improbable que la supere. Las emulsiones estables pueden contener hasta un 70% – 80% de agua, suelen ser semisólidas y presentan un color rojo/marrón, naranja o amarillo intenso (*Figura 8*). Son muy persistentes y pueden permanecer emulsionadas indefinidamente. Las emulsiones menos estables pueden separarse en hidrocarburo y agua si se calientan por la exposición solar en condiciones de calma o cuando se encuentran varadas en las costas.

La formación de emulsiones de agua en hidrocarburos reduce la velocidad de otros procesos de meteorización y es el principal motivo de persistencia de petróleos crudos ligeros e intermedios sobre la superficie del mar y en la costa. Aunque las emulsiones estables de agua en hidrocarburos se comportan de forma similar a los hidrocarburos viscosos, sus diferentes composiciones afectan las opciones de respuesta eficaces.

## Disolución

La velocidad y grado de disolución de un hidrocarburo depende de su composición, esparcimiento, temperatura del agua, turbulencia y grado de dispersión. Los componentes pesados del petróleo crudo son prácticamente insolubles en el agua de mar, mientras que compuestos más ligeros, en particular hidrocarburos aromáticos como benceno y tolueno, son ligeramente solubles. Sin embargo,



▲ *Figura 8: recolección de fueloil pesado emulsionado que muestra un color rojo/marrón típico. Los análisis demostraron que el contenido de agua de la emulsión era inferior al 50%.*

estos compuestos también son los más volátiles y se pierden muy rápidamente por evaporación, normalmente de 10 a 1.000 veces más rápido de lo que se disuelven. Como consecuencia, las concentraciones de hidrocarburos disueltos en agua de mar rara vez superan 1 ppm y la disolución no aporta una contribución importante a la eliminación del hidrocarburo de la superficie marina.

## Fotooxidación

Los hidrocarburos pueden reaccionar con oxígeno, lo que puede dar lugar a la formación de productos solubles o alquitranes persistentes. La luz solar estimula la oxidación y, aunque se produce durante la presencia completa del derrame, su efecto general sobre la disipación tiene poca importancia en comparación con otros procesos de meteorización. Incluso bajo luz solar intensa, las películas finas de hidrocarburo solo se descomponen lentamente y normalmente a un ritmo inferior al 0,1% diario. Las capas gruesas de hidrocarburos muy viscosos o emulsiones de agua en hidrocarburos tienden a oxidarse en residuos persistentes en lugar de degradarse, puesto que se forman compuestos con mayores pesos moleculares que crean una capa superficial de protección. Esto puede observarse en bolas de alquitrán varadas en costas, que normalmente están compuestas de una corteza exterior sólida de hidrocarburo oxidado y de partículas sedimentarias que rodean un interior más blando y menos meteorizado.

## Sedimentación y hundimiento

Las gotas de hidrocarburos dispersos pueden interactuar con partículas sedimentarias y materia orgánica suspendida en la columna de agua. El resultado es que las gotas adquieren la densidad necesaria para hundirse lentamente hasta el fondo marino. Las áreas costeras poco profundas y las aguas de desembocaduras de ríos y estuarios acumulan a menudo materiales sólidos suspendidos que pueden combinarse con las gotas de hidrocarburos dispersos, propiciándose de este modo las condiciones favorables para la sedimentación de partículas contaminadas por hidrocarburos. En aguas salobres, en las que el agua dulce de los ríos reduce la salinidad del agua de mar y, en consecuencia, su gravedad específica, es posible que las gotas con flotabilidad neutra se hundan. El hidrocarburo también puede ser ingerido por organismos presentes en el plancton e incorporados a gránulos fecales que posteriormente se depositan en el fondo marino. En casos aislados, el hidrocarburo puede llegar a ser arrastrado con elevados niveles de materiales sólidos suspendidos durante situaciones de tormenta, y descender hasta el fondo marino. Asimismo, la arena arrastrada por el viento puede depositarse en ocasiones sobre hidrocarburos flotantes y provocar su hundimiento.

La mayoría de los hidrocarburos presentan gravedades específicas suficientemente bajas como para mantenerse a flote, a menos que interactúen con y se adhieran a materiales más densos. Sin embargo, algunos petróleos crudos pesados, la mayoría del fueloil pesado y las emulsiones de agua en hidrocarburos presentan gravedades específicas parecidas a las del agua de mar e incluso una interacción mínima con sedimentos puede ser suficiente para provocar el hundimiento. Muy pocos hidrocarburos residuales presentan gravedades específicas superiores a la del agua de mar ( $>1,025$ ) y, por lo tanto, se hunden al producirse un derrame.

Algunos hidrocarburos pueden hundirse después de un incendio, que no solo consumirá los componentes más ligeros sino que propiciará la formación de productos pirogénicos más pesados como resultado de las altas temperaturas asociadas; debe considerarse este hecho si se contempla quemar in situ el hidrocarburo de forma deliberada como técnica de respuesta.

En mares picados, los hidrocarburos densos pueden estar cubiertos por el oleaje y pasar una cantidad de tiempo considerable justo debajo de la superficie, lo que dificulta considerablemente la observación del hidrocarburo desde el aire. Este fenómeno se confunde en ocasiones con el hundimiento del hidrocarburo aunque, cuando las condiciones



▲ *Figura 9: recolección manual de fueloil pesado hundido.*

se calman, el hidrocarburo vuelve a aparecer en la superficie. La sedimentación es uno de los procesos clave a largo plazo que dan lugar a la acumulación de hidrocarburo derramado en el entorno marino. Sin embargo, raras veces se observa un hundimiento masivo de hidrocarburo excepto en aguas poco profundas, cerca de la orilla, principalmente como resultado de la interacción con la costa (*Figura 9*).

## Interacción con la costa

La interacción del hidrocarburo varado con las costas depende principalmente de los niveles de energía a los que se ve expuesta la costa y de la naturaleza y tamaño del sustrato de la costa.

Normalmente, la interacción con sedimentos que provocan hundimiento suele ser el resultado de la presencia de hidrocarburo varado en costas arenosas. En playas arenosas expuestas, los ciclos estacionales de acumulación de sedimentos (acreción) y erosión pueden provocar el enterramiento y descubrimiento sucesivo de capas de hidrocarburo. Incluso en playas arenosas menos expuestas, el hidrocarburo varado puede quedar cubierto por arena arrastrada por el viento. Cuando el hidrocarburo se mezcla con arena, se hundirá si vuelve a ser arrastrado hasta aguas próximas a la orilla por la subida y bajada de las mareas o tormentas. Suele producirse un ciclo repetitivo en el que la mezcla de hidrocarburo y arena es arrastrada desde la playa hasta aguas próximas a la orilla y se liberan las partículas de arena más gruesas, lo que permite que el hidrocarburo vuelva a flotar en la superficie. A continuación, este hidrocarburo vuelve a estar varado para mezclarse con la arena y el ciclo vuelve a repetirse. La emanación de un brillo desde una playa arenosa puede indicar la presencia de este proceso.

La interacción del hidrocarburo con partículas de minerales (finos) muy finas ( $<4$  micras) en la costa provoca la formación de floculados de hidrocarburo y mineral o arcilla. En función de la viscosidad del hidrocarburo, un movimiento suficiente del agua puede propiciar la formación de gotas de hidrocarburo, que atraen a los finos electrostáticamente. Los finos que rodean la gotita impiden la coalescencia en gotas más grandes y la adherencia a sustratos sedimentarios mayores; por ejemplo, arena o guijarros. Los floculados estables resultantes presentan una flotabilidad prácticamente neutra y son suficientemente pequeños como para mantenerse en suspensión por la turbulencia cuando el agua barre la playa por el efecto de mareas o tormentas. Finalmente, se dispersan ampliamente en las corrientes costeras y, con el paso del tiempo, son responsables de la eliminación de gran parte del hidrocarburo presente en costas protegidas (baja energía), en las que la acción del oleaje y las corrientes es demasiado débil para que se produzcan otros procesos, por ejemplo, la abrasión de sedimentos.

Los sedimentos fangosos y las marismas están presentes habitualmente en costas protegidas. En la mayoría de los casos, los hidrocarburos no penetran en estos sedimentos finos y permanecen en la superficie. Sin embargo, en ocasiones la "bioturbación", la redistribución de los sedimentos por animales excavadores, permite que hidrocarburos menos viscosos penetren un poco en el sedimento a través de la migración de los hidrocarburos por los agujeros realizados por gusanos, tallos de plantas y similares. Los hidrocarburos también pueden añadirse a estos sedimentos de grano fino bajo condiciones de temporal muy duro, en las que las partículas de lodo fino están suspendidas en la columna de agua y se mezclan con el hidrocarburo. A medida que las condiciones se calman, el lodo se asienta y el hidrocarburo puede quedar atrapado en el sedimento. En estos lugares protegidos, el sedimento puede permanecer inalterado durante periodos de tiempo prolongados. Como los niveles de oxígeno en el sedimento son muy bajos, se producirá muy poca degradación.

En costas protegidas de guijarros o guijarros pequeños, los hidrocarburos muy viscosos, si no son retirados durante las operaciones de limpieza, pueden formar "bloques de asfalto", principalmente como resultado de la oxidación de la capa de hidrocarburo superficial (Figura 10). Los hidrocarburos flotantes pueden penetrar en estos sustratos abiertos con más facilidad y el propio sustrato ofrecerá protección frente a la eliminación por el efecto del mar y otros procesos de meteorización. Los bloques de asfalto pueden perdurar durante décadas si no se actúa sobre los mismos.

## Biodegradación

El agua de mar contiene una gran diversidad de microorganismos marinos capaces de metabolizar compuestos de hidrocarburos. Entre estos microorganismos se incluyen bacterias, levaduras, mohos, algas unicelulares y protozoos, que pueden emplear el hidrocarburo como fuente de carbono y energía. Estos organismos se distribuyen ampliamente por todos los océanos del mundo, aunque son más abundantes en áreas con filtraciones naturales de hidrocarburos o en aguas costeras contaminadas reiteradamente, normalmente aquellas próximas a centros urbanos que reciben desechos industriales y aguas residuales sin tratar.

Los principales factores que afectan a la velocidad y grado de biodegradación son las características del hidrocarburo, disponibilidad de oxígeno y nutrientes (principalmente compuestos de nitrógeno y fósforo) y temperatura. A medida



▲ Figura 10: como parte de un experimento después de una liberación de petróleo crudo, se dejó intacta deliberadamente un área de la costa afectada. Esta mancha aislada de hidrocarburo, de aproximadamente 1 m<sup>2</sup>, permanece después de más de 15 años como bloques de asfalto.

que los hidrocarburos se descomponen, se generan diversos compuestos intermedios, aunque los productos finales de la biodegradación son dióxido de carbono y agua.

Cada tipo de microorganismo que interviene en el proceso tiende a degradar un grupo de hidrocarburos específico y, por lo tanto, se requiere una amplia variedad de microorganismos, actuando juntos o sucesivamente, para que continúe la degradación. A medida que la degradación continúa, se desarrolla una comunidad compleja de microorganismos. Los microorganismos necesarios para la biodegradación están presentes en cantidades relativamente pequeñas en áreas de mar abierto alejadas de las costas, aunque se multiplican rápidamente cuando existen hidrocarburos disponibles y la degradación continuará hasta que el proceso se limite por la ausencia de nutrientes u oxígeno. Además, aunque los microorganismos pueden degradar muchos de los compuestos presentes en el petróleo crudo, algunas moléculas grandes y complejas son resistentes al ataque y estos residuos suelen incluir los compuestos que confieren al hidrocarburo su color negro.

Existen productos diseñados para mejorar la velocidad de biodegradación. La eficacia de estos materiales es cuestionable porque es improbable que exista un suministro escaso de nutrientes, especialmente en aguas costeras y no existe mucho margen de acción para incrementar los niveles de oxígeno o la temperatura del agua.

Los microorganismos viven en el agua, de la que obtienen oxígeno y nutrientes esenciales y, en consecuencia, la biodegradación solo puede producirse en una interfaz de hidrocarburo/agua. En el mar, la formación de gotas de hidrocarburo, bien de forma natural o por dispersión química, aumenta el área de la interfaz disponible para la actividad biológica, lo que mejora la degradación. Por el contrario, el hidrocarburo varado en capas gruesas en costas o por encima de la marca de la marea alta presentarán un área superficial limitada y un contacto muy restringido con el agua. En estas condiciones, la biodegradación se producirá de una forma extremadamente lenta, y el hidrocarburo persistirá durante muchos años si no es retirado.

Los diversos factores que influyen en la biodegradación dificultan la previsión de la velocidad a la que puede eliminarse un hidrocarburo. Aunque es evidente que la biodegradación no puede eliminar acumulaciones de hidrocarburo masivas, es uno de los principales mecanismos a largo plazo para la eliminación natural de las trazas finales de hidrocarburo que frecuentemente se ven arrastradas por la acción de las mareas o por el movimiento del mar impulsado por el viento.

## Procesos combinados

El efecto combinado de los procesos descritos anteriormente se resume en la Figura 13. Todos entran en acción tan pronto como se derrama el hidrocarburo, aunque su importancia relativa varía con el tiempo, tal y como se muestra en la Figura 6. Los procesos de esparcimiento, evaporación, dispersión, emulsificación y disolución son los más importantes durante las primeras etapas de un derrame, mientras que la fotooxidación, sedimentación y biodegradación son procesos a más largo plazo que determinan el destino final del hidrocarburo. La dispersión y emulsificación son procesos competidores, puesto que la dispersión elimina hidrocarburo de la superficie del mar, mientras que la emulsificación provoca el aumento y la persistencia del volumen del contaminante. Los factores que determinan si el hidrocarburo se dispersará o emulsionará incluyen: las condiciones de liberación (velocidad y cantidad derramada, liberación superficial o submarina, etc.), las condiciones medioambientales (temperatura, estado del mar, corrientes, etc.) y las propiedades físicas y químicas del hidrocarburo. Conocer cómo interactúan los procesos de meteorización

## Hidrocarburos del Grupo 1

**A:** °API > 45 (gravedad específica < 0,8)  
**B:** Punto de fluidez °C  
**C:** Viscosidad a 10–20 °C: menor que 3 cSt  
**D:** % ebullición por debajo de 200 °C: superior al 50%  
**E:** % ebullición por encima de 370 °C: entre el 20 y el 0%

|                          | A  | B    | C          | D   | E  |
|--------------------------|----|------|------------|-----|----|
| Aasgard                  | 49 | -28  | 2 a 10°C   | 58  | 14 |
| Arabian Super Light      | 51 | -39  | 2 a 20°C   |     |    |
| Cossack                  | 48 | -18  | 2 a 20°C   | 51  | 18 |
| Curlew                   | 47 | -13  | 2 a 20°C   | 57  | 17 |
| Condensado F3            | 54 | <-63 | 1 a 10°C   | 81  | 0  |
| Gippsland                | 52 | -13  | 1,5 a 20°C | 63  | 8  |
| Hidra                    | 52 | -62  | 2,5 a 10°C | 60  | 11 |
| Condensado de Terengganu | 73 | -36  | 0,5 a 20°C | >95 | 0  |
| Wollybutt                | 49 | -53  | 2 a 20°C   | 55  | 4  |
| Gasolina                 | 58 |      | 0,5 a 15°C | 100 | 0  |
| Queroseno                | 45 | -55  | 2 a 15°C   | 50  | 0  |
| Nafta                    | 55 |      | 0,5 a 15°C | 100 | 0  |

## Hidrocarburos del Grupo 2

**A:** °API 35–45 (gravedad específica entre 0,8-0,85)  
**B:** Punto de fluidez °C  
**C:** Viscosidad a 10–20 °C: entre 4 cSt y semisólido  
**D:** % ebullición por debajo de 200 °C: entre el 20 y el 50%  
**E:** % ebullición por encima de 370 °C: entre el 15 y el 50%

### Punto de fluidez

#### bajo < 6 °C

|                      | A  | B   | C         | D  | E  |
|----------------------|----|-----|-----------|----|----|
| Arabian Extra Light  | 38 | -30 | 3 a 15°C  | 26 | 39 |
| Azerí                | 37 | -3  | 8 a 20°C  | 29 | 46 |
| Brent                | 38 | -3  | 7 a 10°C  | 37 | 33 |
| Draugen              | 40 | -15 | 4 a 20°C  | 37 | 32 |
| Dukhan               | 41 | -49 | 9 a 15°C  | 36 | 33 |
| Liverpool Bay        | 45 | -21 | 4 a 20°C  | 42 | 28 |
| Sokol (Sakhalin)     | 37 | -27 | 4 a 20°C  | 45 | 21 |
| Río Negro            | 35 | -5  | 23 a 10°C | 29 | 41 |
| Umm Shaif            | 37 | -24 | 10 a 10°C | 34 | 31 |
| Zakum                | 40 | -24 | 6 a 10°C  | 36 | 33 |
| Gasóleo marino (MGO) | 37 | -3  | 5 a 15°C  |    |    |

#### Punto de fluidez alto > 5 °C

|           | A  | B  | C          | D  | E  |
|-----------|----|----|------------|----|----|
| Amna      | 36 | 19 | Semisólido | 25 | 30 |
| Beatrice  | 38 | 18 | 32 a 15°C  | 25 | 35 |
| Bintulu   | 37 | 19 | Semisólido | 24 | 34 |
| Escravos  | 34 | 10 | 9 a 10°C   | 35 | 15 |
| Sarir     | 38 | 24 | Semisólido | 24 | 39 |
| Statfjord | 40 | 6  | 7 a 10°C   | 38 | 32 |

Nota: los hidrocarburos con punto de fluidez alto se comportan como el Grupo 2 a temperaturas ambiente superiores a su punto de fluidez. Por debajo de esto se tratan como hidrocarburos del Grupo 4.

## Hidrocarburos del Grupo 3

**A:** °API 17,5–35 (gravedad específica entre 0,85 — 0,95)  
**B:** Punto de fluidez °C  
**C:** Viscosidad a 10–20 °C: entre 8 cSt y semisólido  
**D:** % ebullición por debajo de 200 °C: entre el 10 y el 35%  
**E:** % ebullición por encima de 370 °C: entre el 30 y el 65%

### Punto de fluidez bajo < 6 °C

|                    | A     | B     | C                  | D  | E  |
|--------------------|-------|-------|--------------------|----|----|
| Alaska North Slope | 28    | -18   | 32 a 15°C          | 32 | 41 |
| Arabian Heavy      | 28    | -40   | 55 a 15°C          | 21 | 56 |
| Arabian Medium     | 30    | -21   | 25 a 15°C          | 22 | 51 |
| Arabian Light      | 33    | -40   | 14 a 15°C          | 25 | 45 |
| Bonny Light        | 35    | -11   | 25 a 15°C          | 26 | 30 |
| Iranian Heavy      | 31    | -36   | 25 a 15°C          | 24 | 48 |
| Iranian Light      | 34    | -32   | 15 a 15°C          | 26 | 43 |
| Khafji             | 28    | -57   | 80 a 15°C          | 21 | 55 |
| Sirri              | 33    | -12   | 18 a 10°C          | 32 | 38 |
| Thunder Horse      | 35    | -27   | 10 a 10°C          | 32 | 39 |
| Tia Juana Light    | 32    | -42   | 500 a 15°C         | 24 | 45 |
| Troll              | 33    | -9    | 14 a 10°C          | 24 | 35 |
| IFO 180            | 18-20 | 10-30 | 1.500-3.000 a 15°C |    | -  |

### Punto de fluidez alto > 5 °C

|         | A  | B  | C          | D  | E  |
|---------|----|----|------------|----|----|
| Cabinda | 33 | 12 | Semisólido | 18 | 56 |
| Coco    | 32 | 21 | Semisólido | 21 | 46 |
| Gamba   | 31 | 23 | Semisólido | 11 | 54 |
| Mandji  | 30 | 9  | 70 a 15°C  | 21 | 53 |
| Minas   | 35 | 18 | Semisólido | 15 | 58 |

Nota: los hidrocarburos con punto de fluidez alto se comportan como el Grupo 3 a temperaturas ambiente superiores a su punto de fluidez. Por debajo de esto se tratan como hidrocarburos del Grupo 4.

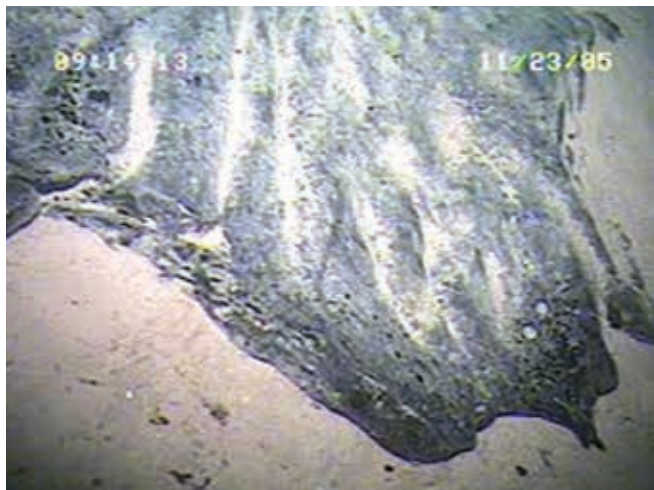
## Hidrocarburos del Grupo 4

**A:** °API <17,5 (gravedad específica >0,95) o  
**B:** Punto de fluidez >30°C:  
**C:** Viscosidad a 10 — 20°C: entre 1.500 cSt y semisólido  
**D:** % ebullición por debajo de 200 °C: inferior al 25%  
**E:** % ebullición por encima de 370 °C: superior al 30%

|                  | A       | B       | C                   | D  | E  |
|------------------|---------|---------|---------------------|----|----|
| Bachaquero 17    | 16      | -29     | 5.000 a 15°C        | 10 | 60 |
| Boscán           | 10      | 15      | Semisólido          | 4  | 80 |
| Cinta            | 33      | 43      | Semisólido          | 10 | 54 |
| Handil           | 33      | 35      | Semisólido          | 23 | 33 |
| Merey            | 17      | -21     | 7.000 a 15°C        | 7  | 70 |
| Nile Blend       | 34      | 33      | Semisólido          | 13 | 59 |
| Pilón            | 14      | -3      | Semisólido          | 2  | 92 |
| Shengli          | 24      | 21      | Semisólido          | 9  | 70 |
| Taching          | 31      | 35      | Semisólido          | 12 | 49 |
| Tía Juana Pesado | 12      | -1      | Semisólido          | 3  | 78 |
| Widuri           | 33      | 46      | Semisólido          | 7  | 70 |
| IFO 380          | 11 - 15 | 10 - 30 | 5.000-30.000 a 15°C |    |    |

▲ *Tabla 2: los hidrocarburos de ejemplo se clasifican según su API (gravedad conforme al American Petroleum Institute). Los colores de cada grupo guardan relación con la Tabla 1 y las Figuras 1, 2, 12 y 13. En general, cuando se produce un derrame la persistencia aumenta con el número de grupo.*





▲ *Figura 11: fueloil muy pesado sobre el lecho marino después de su liberación desde una barcaza dañada. El hidrocarburo presentaba un °API de 4, que se traduce en una gravedad específica de 1,04, frente a la gravedad específica del agua de mar de 1,025 (imagen cortesía de NOAA).*

resultará importante para intentar prever la evolución de las características de un hidrocarburo durante la presencia completa de una mancha en el mar. Anticipar los posibles cambios en las características del hidrocarburo con el transcurso del tiempo permitirá evaluar la probabilidad de persistencia del hidrocarburo derramado y, en consecuencia, la acción de respuesta más adecuada. En relación con este último aspecto, habitualmente se realiza una distinción entre hidrocarburos no persistentes, que debido a su naturaleza volátil y baja viscosidad suelen desaparecer rápidamente de la superficie del mar, e hidrocarburos persistentes, que se disipan con más lentitud y normalmente requieren una operación de limpieza. Algunos ejemplos de estos últimos son gasolina, nafta y queroseno, mientras que la mayoría de petróleos crudos, fueloil intermedio y pesado y asfalto de petróleo se clasifican como persistentes.\*

Una clasificación alternativa asigna los hidrocarburos transportados habitualmente en cuatro grupos según su °API (Tabla 2). El objetivo consiste en agrupar hidrocarburos que probablemente presentarán un comportamiento similar en caso de derrame al mar. Como norma general, cuanto mayor es el API del hidrocarburo (y menor valor tiene la gravedad específica), menor persistencia mostrará. Sin embargo, es importante tener en cuenta que algunos hidrocarburos aparentemente ligeros presentan un comportamiento más parecido al de los hidrocarburos pesados debido a la presencia de ceras. Los hidrocarburos con contenidos cerosos superiores a aproximadamente un 10% suelen presentar puntos de fluidez elevados y si la temperatura ambiente es baja, el hidrocarburo será un líquido semisólido o muy viscoso y los procesos de meteorización naturales serán lentos.

En ocasiones, se reconoce un quinto grupo para los hidrocarburos con una gravedad específica mayor que 1 y °API inferior a 10. Estos hidrocarburos son propensos a hundirse, especialmente en aguas salobres y en ocasiones se denominan LAPIOs (hidrocarburos de API bajo). Esta categoría se compone de fueloil

\*El régimen internacional de responsabilidad e indemnización para derrames de buques tanque diferencia entre hidrocarburos persistentes y no persistentes, definiéndose estos últimos como los compuestos de fracciones de hidrocarburo, (a) al menos un 50% de las cuales, por volumen, se destilan a una temperatura de 340 °C y, (b) al menos un 95% de las cuales se destilan a una temperatura de 370 °C, cuando se realizan pruebas mediante el Método ASTM D 86/78 o cualquier revisión posterior del mismo.

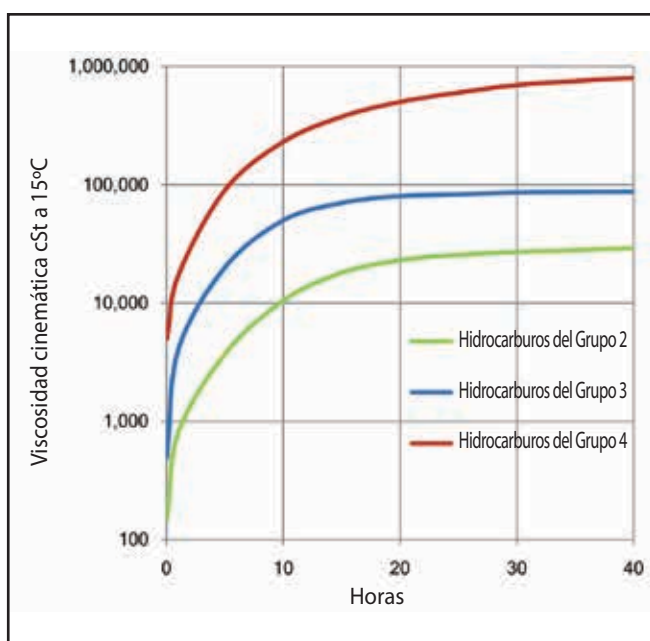
muy pesado y lodos de hidrocarburos residuales (Figura 11).

La Figura 12 muestra los aumentos de viscosidad típicos con el transcurso del tiempo después del derrame para los Grupos 2–4, como resultado de la evaporación y emulsificación, que demuestran que la emulsificación presenta el efecto más importante sobre el aumento de viscosidad.

La Figura 13 muestra un esquema simplificado de la velocidad de eliminación natural de los cuatro grupos de hidrocarburos y también considera el efecto de la formación de emulsiones de agua en hidrocarburos sobre el volumen del contaminante con el transcurso del tiempo. El esquema se ha elaborado en base a las observaciones realizadas en campo y se indican para ofrecer una idea general sobre la variación de la persistencia en función de las propiedades físicas del hidrocarburo. El comportamiento preciso de un petróleo crudo dependerá exclusivamente de sus propiedades y circunstancias en el momento del derrame. Las condiciones meteorológicas y climáticas influirán particularmente en la persistencia de una mancha. Por ejemplo, bajo condiciones meteorológicas muy adversas, un hidrocarburo del Grupo 3 puede disiparse en un plazo de tiempo más habitual en un hidrocarburo del Grupo 2. Por el contrario, en condiciones de calma o de frío, puede aproximarse a la persistencia de los hidrocarburos del Grupo 4. Los hidrocarburos del Grupo 4, incluido el fueloil que se transporta como combustible líquido en numerosos buques, son normalmente muy viscosos y altamente persistentes, y se encuentran entre los más difíciles de limpiar. Su persistencia hace muy probable que recorran distancias considerables en el mar y provoquen una contaminación muy extensa.

## Modelos informáticos

Existen varios modelos informáticos que realizan una previsión del movimiento o la trayectoria de un derrame de hidrocarburos. Algunos incluyen previsiones de meteorización que muestran los posibles cambios del hidrocarburo con el transcurso del tiempo bajo conjuntos de condiciones específicas. A menudo se apoyan en bases de datos de las características físicas y químicas de diferentes hidrocarburos, así como en los resultados de la investigación científica y las observaciones del comportamiento de los hidrocarburos. Sin embargo, debido a la complejidad de los



▲ *Figura 12: tasas típicas de aumento de la viscosidad en mares moderados a picados. La viscosidad de los hidrocarburos del Grupo 1 nunca supera 100 cSt en el entorno marino y no se muestran.*

procesos de meteorización y a la incertidumbre relacionada con el movimiento de las manchas, aún resulta muy difícil obtener previsiones precisas sobre el destino general.

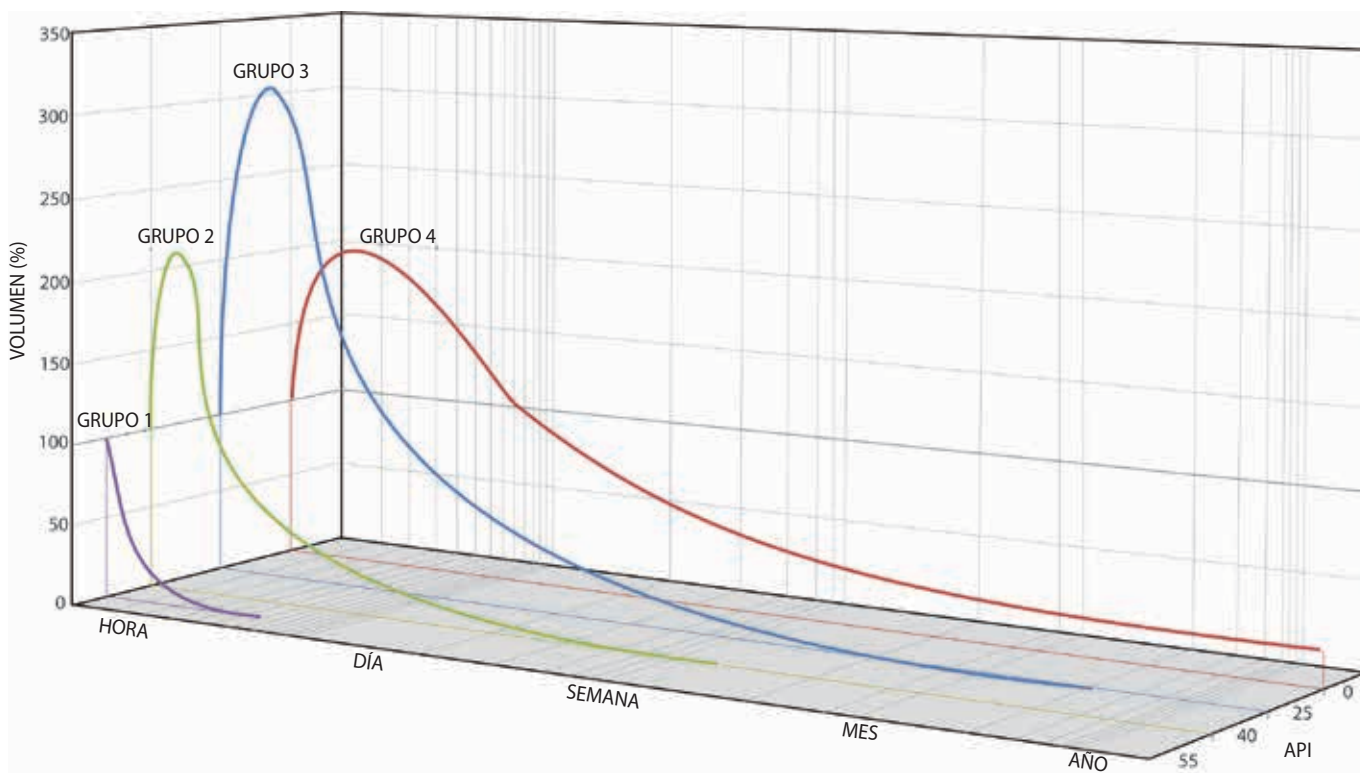
Por lo tanto, es fundamental comprender las suposiciones en las que se basan los modelos de meteorización y trayectoria y tenerlas en cuenta al utilizar los resultados. Por ejemplo, en las operaciones de respuesta deben verificarse las previsiones del modelo mediante observaciones de la distribución y el comportamiento reales del hidrocarburo. Por otra parte, estos modelos proporcionan una indicación útil de los lugares en los que deben centrarse los reconocimientos y el posible destino y comportamiento de un hidrocarburo en particular. También representan una herramienta valiosa para evaluar las técnicas de limpieza óptimas, para la formación y en el proceso de planificación de contingencias.

## Consecuencias para la limpieza y los planes de contingencia

La tendencia de los hidrocarburos a esparcirse y fragmentarse con rapidez, especialmente en condiciones de mar picado, siempre planteará limitaciones sobre cualquier técnica de respuesta y no debe subestimarse. Por ejemplo, los sistemas de recolección de hidrocarburos a bordo de embarcaciones, normalmente con anchuras de banda de pocos metros, no tendrán capacidad para encontrar ninguna cantidad importante de hidrocarburos una vez que se hayan esparcido y diseminado en extensiones de varios kilómetros. Esto puede ocurrir en tan solo unas pocas horas en el caso de los hidrocarburos de baja viscosidad. Esta es una de las principales razones por las que las operaciones de recolección de hidrocarburos en el mar rara vez consiguen eliminar más que una parte de una mancha extensa.

El movimiento de las manchas y el cambio de la naturaleza de los hidrocarburos que provoca la meteorización pueden determinar la necesidad de cualquier respuesta adicional a la monitorización de la disipación de la mancha. Cuando se requiere una respuesta activa, los procesos de meteorización requerirán la reevaluación de la idoneidad de las técnicas de limpieza seleccionadas y su modificación a medida que la respuesta avance y las condiciones cambien. Por ejemplo, la eficiencia de los dispersantes aplicados en el mar se reduce a medida que los hidrocarburos se esparcen y la viscosidad de los hidrocarburos aumentan. En función de las características particulares de los hidrocarburos, numerosos dispersantes pierden eficacia considerablemente cuando la viscosidad se aproxima a 10.000 cSt, y la mayoría son prácticamente ineficaces cuando la viscosidad aumenta muy por encima de este valor. La viscosidad de los hidrocarburos puede aumentar muy rápidamente, lo que implica que el tiempo disponible para el uso de dispersantes puede ser muy breve. En consecuencia, debe monitorizarse periódicamente la aplicación de dispersante e interrumpir las operaciones de rociado si resultan ineficaces (Figura 14).

De manera similar, si se despliegan sistemas de recolección mecánicos, cabe la posibilidad de que sea necesario cambiar el tipo de skimmers y bombas a medida que el hidrocarburo se meteorice, su viscosidad aumente y se formen emulsiones. Por ejemplo, los skimmers de discos oleofílicos (con capacidad para atraer hidrocarburos) dependen de la adherencia de los hidrocarburos al disco para realizar la recolección (Figura 15). Sin embargo, una emulsión actúa como un fluido "pseudoplástico", de forma que cuando se aplica un movimiento de torsión, por ejemplo mediante un disco giratorio, todas las gotas de agua presentes en la emulsión se alinean en una dirección, lo que reduce la viscosidad y provoca que la emulsión se fragmente en lugar de adherirse al disco. El mismo efecto se produce con las bombas centrífugas, en las que el impulsor de la bomba puede girar sin mover eficientemente la emulsión a través de la bomba. Por este motivo, se recomienda utilizar bombas de desplazamiento positivas para la transferencia de emulsiones.



▲ Figura 13: volumen de hidrocarburos y emulsión de agua en hidrocarburos que permanecen en la superficie del mar mostrados como un porcentaje del volumen del derrame original (100%), para un hidrocarburo típico de cada uno de los grupos que se muestran en las Tablas 1 y 2. Las curvas representan un comportamiento "promedio" estimado para cada grupo. Sin embargo, el comportamiento de un petróleo crudo específico puede diferir del patrón general en función de sus propiedades y de las condiciones medioambientales en el momento del derrame.



▲ *Figura 14: la elevada viscosidad de los hidrocarburos ha provocado una aplicación insatisfactoria del dispersante, que se indica por el típico penacho blanco del dispersante alrededor de los hidrocarburos.*

Conocer el destino y comportamiento probable de diferentes hidrocarburos y las limitaciones que imponen sobre las operaciones de limpieza resulta fundamental en la preparación de planes de contingencia eficaces. Además, la información sobre los vientos y las corrientes predominantes durante todo el año indicará el movimiento más probable de los hidrocarburos y los recursos sensibles que pueden verse afectados en una ubicación específica. Los datos sobre los tipos de hidrocarburos manipulados y transportados pueden permitir realizar previsiones sobre la posible duración de las manchas y la cantidad y naturaleza de los hidrocarburos restantes que puede requerir una operación de limpieza. También contribuirá a determinar la selección de las técnicas y equipos de limpieza adecuados.



▲ *Figura 15: skimmer de discos trabajando correctamente en un derrame reciente de petróleo crudo ligero. Sin embargo, si los hidrocarburos emulsionaran considerablemente, la eficacia de la operación de recolección se reduciría debido a la incapacidad de la emulsión de adherirse a los discos.*

Para instalaciones fijas, como por ejemplo terminales petroleras y boyas para carga y descarga en alta mar, en las que hay un número limitado de tipos de hidrocarburos y se conocen bien las condiciones climatológicas y marinas, pueden realizarse previsiones razonablemente precisas. Esto simplifica la elaboración de un plan de contingencia eficaz y permite poner en práctica las medidas de respuesta adecuadas. En áreas de intenso tráfico marítimo, con numerosos buques en tránsito, o cuando se manipule una amplia gama de tipos de hidrocarburos, los planes no pueden cubrir todas las eventualidades. Por lo tanto, es aún más importante conocer el tipo de hidrocarburo derramado y su comportamiento con la mayor prontitud para que, si se necesita una respuesta, se puedan emplear las técnicas más adecuadas.

## Puntos clave

- Una vez derramados, los hidrocarburos comienzan a sufrir procesos de meteorización y sus características físicas y químicas cambian con el transcurso del tiempo.
- Los procesos de esparcimiento, evaporación, dispersión y emulsificación son importantes en las primeras etapas del derrame, mientras que la fotooxidación, sedimentación y biodegradación son procesos a largo plazo que determinan el destino final de los hidrocarburos.
- La velocidad a la que se producen estos procesos depende de las condiciones meteorológicas y de características de los hidrocarburos como gravedad específica, volatilidad, viscosidad y punto de fluidez.
- La evaporación y dispersión contribuyen a la eliminación de los hidrocarburos de la superficie del mar, mientras que la emulsificación provoca su persistencia y un aumento del volumen de contaminante.
- La interacción con las costas puede dar lugar a la eliminación de los hidrocarburos a través de la formación de floculados de hidrocarburo y arcilla o a su persistencia en lugares protegidos mediante la incorporación en sedimentos finos o la formación de bloques de asfalto cuando se mezcla en playas de guijarros o guijarros pequeños.
- Un número reducido de hidrocarburos residuales son suficientemente densos como para hundirse al derramarse. Sin embargo, la mayoría de los hidrocarburos flotarán y solo podrán hundirse si se mezclan con sedimentos más densos.
- Conocer el destino y comportamiento probable de un tipo de hidrocarburos permite optimizar las opciones de respuesta.

# DOCUMENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA

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

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



## ITOPF Ltd

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

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

E-mail: [central@itopf.org](mailto:central@itopf.org)  
Web: [www.itopf.org](http://www.itopf.org)