

EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS EN EL MEDIO MARINO

DOCUMENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA

13



Introducción

Los derrames de hidrocarburos pueden afectar gravemente el medio marino como resultado de la asfixia y los efectos tóxicos. La intensidad del impacto depende normalmente de la cantidad y el tipo de hidrocarburos derramados, de las condiciones ambientales y de la sensibilidad de los organismos afectados y sus hábitats a los hidrocarburos.

Este documento describe los efectos de los derrames de hidrocarburos procedentes de buques y las actividades de limpieza resultantes en la fauna y flora marinas y sus hábitats. La discusión sobre las complejas interacciones entre los hidrocarburos y los sistemas biológicos ha recibido particular atención y se han realizado diversos estudios a lo largo de muchos años. Los informes técnicos de ITOPF Efectos de la contaminación por hidrocarburos en el sector pesquero y maricultura y Efectos de la contaminación por hidrocarburos en las actividades sociales y económicas tratan los efectos específicos de los hidrocarburos en la industria pesquera y maricultura y en la actividad humana en general.

Descripción general

Los derrames de hidrocarburos pueden provocar una amplia variedad de impactos en el medio marino y con frecuencia aparecen en los medios de comunicación como “desastres medioambientales”, con predicciones de fatales consecuencias para la supervivencia de la fauna y flora marinas. En un siniestro importante, el impacto medioambiental a corto plazo puede resultar grave y provocar considerables trastornos a los ecosistemas y las personas que habitan cerca de la franja costera contaminada, afectando sus medios de subsistencia y su calidad de vida (Figura 1). Las imágenes de aves contaminadas después de un derrame estimula la percepción de la existencia de daños medioambientales generalizados y permanentes que ocasionen la inevitable pérdida de recursos marinos. La reacción tensa y emocional que normalmente se asocia a los derrames de hidrocarburos puede dificultar que se mantenga una visión equilibrada sobre la realidad de los efectos del derrame y la posterior recuperación.

Los impactos de los derrames se han estudiado y documentado en la literatura científica y técnica a lo largo de varias décadas. En consecuencia, se dispone de un conocimiento detallado sobre los efectos de la contaminación por hidrocarburos que permite ofrecer indicaciones generales sobre la escala y duración de los daños para un siniestro específico. Una evaluación científica de los efectos típicos de los derrames de hidrocarburos revela que, aunque se produzcan daños y éstos puedan afectar intensamente a determinados organismos, las poblaciones son más resistentes. Con el tiempo, los procesos de recuperación naturales consiguen reparar los daños y restaurar las funciones normales del sistema. Los procesos de recuperación pueden potenciarse con la retirada de los hidrocarburos mediante operaciones de limpieza bien dirigidas, y en ocasiones podrían acelerarse con medidas de restauración gestionadas cuidadosamente. La existencia de daños a largo plazo únicamente se ha observado en casos esporádicos. No obstante, en la mayoría de las situaciones, incluso después de los derrames de hidrocarburos más importantes, puede esperarse que los hábitats afectados y la vida marina asociada se hayan recuperado en gran medida después de unas pocas estaciones.

Mecanismos del daño provocado por el derrame de hidrocarburos

Los hidrocarburos pueden afectar el medio ambiente a través de uno o más de los siguientes mecanismos:

- asfixia con efectos en las funciones fisiológicas,

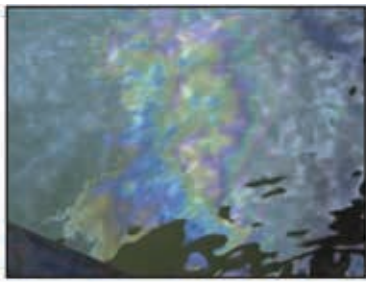


▲ Figura 1: hidrocarburos varados en la costa adyacente a una población pesquera.

- toxicidad química que genere efectos letales y subletales o provoque el deterioro de funciones celulares,
- cambios ecológicos, principalmente la pérdida de organismos clave de una comunidad y la conquista de hábitats por parte de especies oportunistas,
- efectos indirectos, como por ejemplo la pérdida de hábitat o refugio y la eliminación resultante de especies con importancia ecológica.

La naturaleza y duración de los efectos de un derrame de hidrocarburos dependen de una amplia variedad de factores. Estos factores incluyen: la cantidad y el tipo de hidrocarburos derramados, su comportamiento en el medio marino, la ubicación del derrame en cuanto a las condiciones ambientales y características físicas, y la oportunidad temporal, especialmente en relación con la estación y las condiciones meteorológicas predominantes. Otros factores clave son la composición biológica del entorno afectado, la importancia ecológica de las especies integrantes y su sensibilidad a la contaminación. La selección de técnicas de limpieza idóneas y la eficacia con la que se realicen las operaciones también pueden influir notablemente en los efectos de un derrame.

Los efectos potenciales de un derrame también dependen de la velocidad con la que el contaminante se diluya o disipe mediante procesos naturales. Esto determina el alcance geográfico de la zona afectada y si los recursos medioambientales sensibles se verán expuestos o no a concentraciones elevadas de hidrocarburos, o a sus componentes tóxicos, durante un periodo de tiempo considerable. El grado de vulnerabilidad y la sensibilidad de los



▲ *Figura 2: los efectos típicos en los organismos marinos abarcan todo el espectro desde la toxicidad (especialmente para hidrocarburos y productos de petróleo ligeros) hasta la asfixia (fueoils medios y pesados (IFO y HFO) y residuos meteorizados).*

organismos a la contaminación tienen una importancia similar. Los organismos vulnerables son aquellos que, debido a su ubicación en el medio marino, normalmente en la superficie del mar o en el borde del agua, son más propensos a entrar en contacto con hidrocarburos. Los organismos sensibles son aquellos que se verían afectados de forma más aguda por la exposición a hidrocarburos o a sus componentes químicos. Los organismos menos sensibles tienen más posibilidades de resistir la exposición a corto plazo. En diversos países, se han cartografiado las franjas costeras y asignado índices de sensibilidad a diferentes hábitats. Por ejemplo, los mapas o atlas de sensibilidad resultantes conceden a los manglares o marismas salinas un índice alto, mientras que las playas de arena presentan un índice bajo en general.

Las características de los hidrocarburos derramados son importantes para determinar el alcance de cualquier daño (Figura 2). Un derrame de una gran cantidad de hidrocarburos muy persistentes, como por ejemplo un fueoíl pesado (HFO), puede llegar a causar daños generalizados en las zonas intermareales de las costas por asfixia. Sin embargo, los efectos tóxicos son menos probables en un derrame de HFO, u otros hidrocarburos muy viscosos con baja solubilidad en el agua, ya que los compuestos químicos de los hidrocarburos presentan una baja disponibilidad biológica. Los hidrocarburos incorporados en un “bloque de asfalto” (un conglomerado de hidrocarburos muy meteorizados y guijarros) también son menos biodisponibles, independientemente de su permanencia en la costa, aunque podrían producirse daños indirectos debido a la modificación del hábitat.

Por el contrario, los componentes químicos del queroseno u otros hidrocarburos ligeros presentan una mayor disponibilidad biológica y mayor probabilidad de ocasionar daños por toxicidad. No obstante, la disipación rápida, a través de evaporación y dispersión, favorece que los hidrocarburos ligeros puedan resultar menos dañinos en general, siempre que los recursos sensibles se encuentren a una distancia suficiente del lugar del derrame. Por otra parte, puede esperarse que los efectos sean más amplios y duraderos en situaciones en las que se ralentice la dilución, como por ejemplo cuando el contaminante queda atrapado en sedimentos lodosos o en áreas confinadas, como por ejemplo lagunas poco profundas con escaso intercambio de agua. A niveles de exposición inferiores a los que pueden provocar mortalidad, la presencia de componentes tóxicos podría dar lugar a efectos subletales, como por ejemplo problemas en la alimentación o reproducción.

El medio marino presenta una gran complejidad y las fluctuaciones naturales en la composición, abundancia y distribución de especies, tanto en el espacio como en el tiempo, son una característica fundamental de su funcionamiento normal. Dentro de este medio, los

animales y plantas marinos presentan diferentes grados de resistencia natural frente a los cambios en sus hábitats. Las adaptaciones naturales de los organismos a la tensión medioambiental, combinadas con sus estrategias de reproducción, proporcionan mecanismos importantes para superar las fluctuaciones diarias y estacionales en las condiciones ambientales. Esta capacidad de resistencia inherente permite que algunas plantas y animales tengan la capacidad de resistir un cierto nivel de contaminación por hidrocarburos. No obstante, los derrames no son la única presión antropogénica sobre los hábitats marinos. La sobreexplotación generalizada de los recursos naturales y la contaminación crónica de origen urbano e industrial también contribuyen de forma significativa al grado de variabilidad dentro de los ecosistemas marinos. Ante este trasfondo de alta variabilidad natural, puede resultar difícil detectar daños más sutiles provocados por un derrame de hidrocarburos, como por ejemplo un descenso en las posibilidades de reproducción, la productividad o la biodiversidad.

Recuperación del medio marino

La capacidad de recuperación del medio marino frente a perturbaciones intensas depende de su complejidad y resistencia. La recuperación de fenómenos naturales muy destructivos, como por ejemplo huracanes y tsunamis demuestra que los ecosistemas pueden restablecerse con el tiempo, incluso después de intensas perturbaciones con elevada mortalidad. Aunque existe un gran debate sobre la definición de recuperación y el momento en el que puede afirmarse que un ecosistema se ha recuperado, se acepta de forma generalizada que la variabilidad natural en los ecosistemas implica que resulte muy improbable que se restauren las condiciones exactas anteriores al derrame. La mayoría de las definiciones de recuperación se centran en el restablecimiento de una comunidad de fauna y flora que sea característica del hábitat y funcione con normalidad desde el punto de vista de la biodiversidad y la productividad.

Este principio puede ilustrarse a través de la experiencia en operaciones de limpieza inadecuadas que se realizaron después del hundimiento del buque tanque TORREY CANYON frente a la costa de Inglaterra en 1967, donde el uso de agentes de limpieza tóxicos en costas rocosas provocó considerables daños. A pesar de que la distribución detallada de las especies presentes se vio alterada y se monitorizaron los efectos de la perturbación durante más de dos décadas, el funcionamiento general, la biodiversidad y la productividad del ecosistema se restablecieron en el plazo de uno a dos años. Según la definición propuesta anteriormente, podría afirmarse que la comunidad de la costa rocosa se recuperó en el plazo de dos años. No obstante, puede admitirse que esta definición presenta

limitaciones si se tiene en cuenta la distribución por edades de los organismos constituyentes. En lugar del espectro completo de edades anterior al siniestro, desde organismos jóvenes hasta organismos maduros, las plantas y animales que recolonizaron la zona presentaban un espectro reducido de edades y, en consecuencia, la comunidad presentaba menos robustez inicialmente.

De forma similar, si un manglar sufriera daños, bien por los efectos de un derrame o por fenómenos naturales, como por ejemplo una tormenta tropical, con el tiempo las plantas jóvenes de áreas adyacentes recolonizarán el área afectada. No obstante, todas estas plantas que ocupen el lugar de las anteriores tendrán una edad similar y no proporcionarán el mismo complemento total de servicios medioambientales hasta que los árboles alcancen su madurez. Estas observaciones dan pie a una diferenciación entre efectos y daños en aquellos casos en los que aún puedan detectarse efectos menos significativos (en lo que respecta al funcionamiento de un ecosistema) después de que un ecosistema se haya recuperado de los daños de la contaminación.

Los mecanismos de recuperación han evolucionado para abordar las presiones de la depredación y otras causas de mortalidad. Por ejemplo, una de las estrategias reproductivas más importantes para los organismos marinos es la difusión del desove, que permite liberar un gran número de huevos y larvas en el plancton para que se distribuyan ampliamente a través de las corrientes. En la mayoría de los casos, solo unos pocos individuos entre un millón sobreviven hasta la edad adulta. Esta elevada fecundidad provoca una sobreproducción en las primeras etapas de desarrollo, lo que asegura una reserva considerable, no solo para la colonización de nuevas zonas y la incorporación en zonas afectadas por el derrame, sino también para la sustitución de los individuos perdidos en la población. En cambio, especies longevas que no alcancen la madurez sexual hasta pasados muchos años, y que produzcan poca descendencia, probablemente requieran más tiempo para recuperarse de los efectos de un siniestro contaminante.

En la mayoría de los casos, la recuperación normalmente tiene lugar al cabo de unos pocos ciclos estacionales, y para la mayoría de los hábitats en el plazo de uno a tres años. Los manglares representan una excepción notable a lo anteriormente expuesto, como se muestra en la Tabla 1 inferior.

Medios marinos

Las siguientes secciones consideran los diferentes tipos de daños provocados por derrames de hidrocarburos

Hábitat	Periodo de recuperación
Plancton	Semanas/meses
Playas de arena	1 – 2 años
Costas rocosas expuestas	1 – 3 años
Costas rocosas protegidas	1 – 5 años
Marisma salina	3 – 5 años
Manglares	10 años y más

▲ *Tabla 1: periodos de recuperación indicativos después de contaminación, para diversos hábitats. El periodo depende de numerosos factores, entre ellos la cantidad y el tipo de hidrocarburos derramados. La recuperación se define en este caso como el momento en el que el hábitat funciona normalmente.*

procedentes de buques en diversos medios.

Aguas marinas y costeras

La mayoría de los hidrocarburos flotan sobre la superficie del mar y se diseminan sobre amplias zonas por efecto del oleaje, los vientos y las corrientes. Algunos hidrocarburos de baja viscosidad pueden dispersarse de forma natural en los primeros metros superiores de la columna de agua, particularmente en presencia de rompientes, donde se diluyen rápidamente. Si la liberación de hidrocarburos persiste con el tiempo, las concentraciones de los hidrocarburos dispersos en los niveles superiores de la columna de agua podrán ser similares a los del punto de liberación. A pesar de esto, el impacto de los hidrocarburos derramados en las especies que habitan en los niveles inferiores de la columna de agua o sobre el lecho marino es reducido, aunque pueden derivarse daños de buques hundidos, de derrames de hidrocarburos muy pesados (o bajo °API)* o de los residuos alquitranados resultantes de la quema de hidrocarburos.

Plancton

Las zonas pelágicas de los mares y océanos mantienen una miríada de organismos planctónicos, compuestos de bacterias, plantas (fitoplancton) y animales (zooplancton). Entre estos organismos se incluyen las huevos y larvas de peces e invertebrados, así como los que finalmente se asientan en el lecho marino o en la costa. El plancton sufre de forma natural niveles de mortalidad extremadamente altos, principalmente a través de la depredación, aunque también por cambios en las condiciones medioambientales y el transporte hasta regiones en las que la supervivencia es insostenible. En cambio, las condiciones particularmente favorables, con un suministro abundante de nutrientes, pueden dar lugar a proliferaciones de plancton en las que las poblaciones aumenten en forma considerable, principalmente en la estación de primavera en climas templados. Cuando la aportación de nutrientes disminuye, o se consumen los nutrientes, las poblaciones desaparecen y los organismos muertos se biodegradan y se depositan en el lecho marino. El ecosistema ha evolucionado para responder a estos extremos mediante una producción abundante en plazos de generación breves. Como consecuencia, el plancton normalmente muestra una distribución extremadamente dispar tanto en el espacio como en el tiempo, y está clasificado entre las comunidades marinas más variables.

La sensibilidad de los organismos planctónicos a la exposición a los hidrocarburos es bien conocida y pueden producirse impactos de gran alcance. No obstante, la habitual sobreproducción masiva de las primeras etapas de vida de los organismos, que proporciona una solución reguladora para obtener recursos de áreas adyacentes no afectadas por el derrame que permiten compensar las pérdidas en las etapas de huevos y larvas, ha provocado que no se hayan observado estas disminuciones importantes en poblaciones adultas después de derrames.

Peces

A pesar de la susceptibilidad de las etapas juveniles de los peces a concentraciones relativamente bajas de hidrocarburos en la columna de agua, los peces adultos son mucho más resistentes y pocas veces se han detectado efectos en los niveles de poblaciones naturales. Se considera que los peces migratorios evitan los hidrocarburos de forma activa. En casos excepcionales, se ha observado el agotamiento de la clase anual de una especie en particular, aunque las mortandades masivas son excepcionales. Las mortandades que han ocurrido se han asociado a concentraciones muy elevadas y localizadas de hidrocarburos dispersos en la columna de agua en

* *gravedad conforme al American Petroleum Institute.*



▲ *Figura 3: confinamiento de pingüinos africanos (Spheniscus demersus) contaminados.*



▲ *Figura 4: los pingüinos responden mejor que otras especies de aves a la limpieza. En la imagen, pingüinos de penacho amarillo (Eudyptes moseleyi) en rehabilitación.*

condiciones de tormenta, con la liberación de cantidades considerables de hidrocarburos ligeros en la rompiente a lo largo de una franja costera, o con derrames en ríos. El impacto de los derrames de hidrocarburos en las poblaciones de peces en explotación y productos marinos cultivados se consideran con más detalle en el documento de ITOFF Efectos de la contaminación por hidrocarburos en la industria pesquera y maricultura.

Aves marinas

Las aves marinas son las criaturas en aguas abiertas más vulnerables y pueden perecer en grandes cantidades en siniestros importantes. Los patos marinos, alcas y otras especies que se agrupan en bandadas sobre la superficie del mar están especialmente expuestas. No obstante, una mortalidad significativa de poblaciones de aves marinas también puede derivarse de causas no relacionadas con un derrame, como por ejemplo tormentas o pérdida de una fuente de alimento o hábitat. La realización de estudios post-mortem puede resultar necesaria para identificar la causa de la muerte y determinar si puede atribuirse a un siniestro en particular.

La contaminación del plumaje es el efecto más evidente de los hidrocarburos en aves. El plumaje permite atrapar el aire templado contra la piel, lo que proporciona flotabilidad y aislamiento. Cuando se impregna de hidrocarburos, la delicada estructura de la capa de protección que crean las plumas y el aislamiento que proporcionan se ven afectados y el agua de mar entra en contacto directo con la piel, provocándose una pérdida de calor corporal y la posibilidad de que el ave muera de hipotermia. En climas fríos, una pequeña mancha de hidrocarburos en el plumaje de un ave podría bastar para provocar su muerte. En numerosas especies, una capa de grasa debajo de la piel del ave actúa como capa de aislamiento adicional y como reserva de energía. Esta reserva podría consumirse rápidamente cuando el ave intenta mantener su temperatura corporal. Un ave que sufra frío, cansancio y pérdida de flotabilidad podría ahogarse. Asimismo, el plumaje impregnado reduce la capacidad del ave para despegar y volar para buscar alimento o escapar de depredadores.

Una vez impregnada, el instinto natural incita al ave a limpiarse arreglándose las plumas con el pico, y podría esparcir los hidrocarburos por otras partes limpias de su cuerpo. La probabilidad de ingestión de hidrocarburos es muy elevada y puede ocasionar efectos graves, como por ejemplo congestión de los pulmones, hemorragias intestinales o pulmonares, neumonía y daños en hígado

y riñones. Al regresar al nido, los hidrocarburos pueden transferirse del plumaje de un ave al de sus crías o a los huevos en incubación. La contaminación de huevos por hidrocarburos puede provocar una reducción del grosor de la cáscara del huevo, una incubación deficiente y anomalías en el desarrollo.

No existe ningún vínculo claro entre la cantidad de hidrocarburos derramada y el posible impacto en las aves marinas. Un pequeño derrame durante la temporada de cría, o cuando se hayan congregado grandes poblaciones de aves marinas, puede provocar más perjuicios que un derrame más grande en un momento diferente del año o en otro entorno. Algunas especies responden a la disminución de población en la colonia intensificando la puesta de huevos, aumentando la frecuencia de reproducción o anticipando la incorporación de aves más jóvenes a la reproducción. Estos procesos pueden ayudar a la recuperación, aunque podría requerir varios años y dependerá también del suministro de alimento y de la disponibilidad de hábitat, entre otros factores. Aunque es habitual que se registren pérdidas a corto y medio plazo, los mecanismos de recuperación mencionados anteriormente podrían evitar de manera eficaz los impactos a largo plazo en una población. No obstante, en algunas circunstancias podría existir el riesgo de que un derrame provoque el declive permanente de una colonia marginal.

Puede realizarse un intento de limpiar y rehabilitar aves contaminadas por hidrocarburos, aunque en muchas especies normalmente solo una pequeña proporción de las aves tratadas consiguen sobrevivir al proceso de limpieza. Una proporción aún más pequeña de las aves liberadas en su medio consiguen sobrevivir y reproducirse con éxito. Los pingüinos suelen ser una excepción y son, en general, más resistentes que muchas otras especies. Si se realiza una manipulación adecuada, la mayoría de los ejemplares pueden llegar a sobrevivir a la limpieza y reincorporarse a las poblaciones reproductoras (*Figuras 3 y 4*). Incluso en el caso de los pingüinos, se ha comprobado que las posibilidades de reproducción de las aves sometidas a limpieza es inferior al del conjunto de aves que consiguió evitar la contaminación. No obstante, la elaboración y difusión de mejores prácticas de limpieza de aves contribuye a mejorar los resultados.

Mamíferos y reptiles marinos

Los hidrocarburos flotantes pueden poner en riesgo a ballenas, delfines y otros cetáceos cuando se desplazan por la superficie para respirar o lo atraviesan. Se ha afirmado que los hidrocarburos provocan daños en los tejidos nasales y oculares. No obstante, cuando se han registrado



▲ *Figura 5: Los hidrocarburos pueden perjudicar la capacidad de los mamíferos, como por ejemplo esta cría de foca (Arctocephalus australis), de mantener funciones fisiológicas vitales.*

mortalidades, generalmente las necropsias han concluido que las causas de la muerte no guardaban relación con los hidrocarburos. Aunque también podría esperarse que grandes mamíferos marinos tropicales, como por ejemplo los sirenios herbívoros (manatíes y dugongos), fueran vulnerables, los informes de daños por contaminación para estos animales son muy inusuales. No obstante, las focas, nutrias y otros mamíferos marinos que se encaraman o pasan tiempo en la costa tienen más posibilidades de encontrar y padecer los efectos de los hidrocarburos. Las especies que dependen del pelaje para regular su temperatura corporal son las más vulnerables a los hidrocarburos, ya que los animales podrían morir de hipotermia o sobrecalentamiento, según la estación, si el pelaje quedara apelmazado por los hidrocarburos (*Figura 5*).

Los hidrocarburos flotantes pueden representar una amenaza para reptiles marinos, como por ejemplo tortugas, iguanas y serpientes marinas. Las tortugas son especialmente vulnerables durante la época de nidificación. Si los hidrocarburos alcanzan las playas de arena o si los nidos se ven perturbados durante las operaciones de limpieza, podrían producirse pérdidas de huevos y crías de tortugas. Los ejemplares adultos pueden sufrir inflamación de la membrana mucosa, lo que aumenta la propensión a las infecciones. No obstante, existen muchos casos en los que se ha conseguido limpiar con éxito y devolver al mar tortugas impregnadas de hidrocarburos (*Figura 6*). Todas las especies de tortugas marinas se encuentran en peligro de extinción o amenazadas por actividades humanas, principalmente debido a la captura fortuita durante la pesca, a la pesca deliberada para obtener alimento y caparzones y a la pérdida de hábitat.

Aguas costeras poco profundas

Los daños en aguas poco profundas normalmente se producen al mezclarse hidrocarburos en la columna de agua por la acción del fuerte oleaje o por el uso incorrecto de dispersantes demasiado cerca de la costa. En muchas circunstancias, la capacidad de dilución, por ejemplo debido a irrigaciones mareales, permite mantener las concentraciones de hidrocarburos en el agua por debajo de niveles perjudiciales. Por otra parte, se ha producido mortalidad de animales que habitan en el lecho marino (bentónicos) y en los sedimentos cuando la dispersión de productos refinados ligeros o petróleos crudos ligeros en aguas poco profundas generó concentraciones altas de los componentes tóxicos de los hidrocarburos.

Hierbas marinas

En aguas templadas y tropicales prosperan diferentes



▲ *Figura 6: limpieza de un ejemplar joven de tortuga carey (Eretmochelys imbricata) (Imagen gentileza de USCG).*

especies de hierbas marinas. Esta flora sustenta un ecosistema muy diverso y productivo, que sirve de refugio para muchos otros organismos. Los lechos de hierbas marinas reducen las corrientes de agua, lo que aumenta la sedimentación, y las estructuras enraizadas estabilizan el lecho marino y protegen las zonas costeras frente a la erosión. Los hidrocarburos flotantes normalmente pasan sobre los lechos de hierbas marinas sin ocasionar efectos perjudiciales. No obstante, si los hidrocarburos o sus componentes tóxicos se mezclan en estas aguas costeras poco profundas a concentraciones suficientemente altas, las hierbas marinas y los organismos asociados podrían verse afectados. Las operaciones de limpieza cerca de hierbas marinas deben realizarse con atención, ya que las hélices de las embarcaciones y los anclajes de las barreras pueden provocar sufrir desgarrones y tirones en las plantas.

Corales

Los arrecifes de coral proporcionan un ecosistema marino extremadamente rico y diverso, son muy productivos y ofrecen protección a franjas costeras que se verían expuestas sin su presencia. Los corales son organismos muy sensibles que pueden requerir mucho tiempo de recuperación si se contaminan. Los hidrocarburos dispersos plantean el principal riesgo de daño para los arrecifes de coral. Este riesgo es más alto cuando el aumento de la turbulencia de las rompientes estimula la dispersión natural de los hidrocarburos derramados, y cuando se utilizan dispersantes. Además de los propios corales, las comunidades que este hábitat acoge también son sensibles a los hidrocarburos. Por lo tanto, se evitará el uso de dispersantes en las proximidades de arrecifes de coral. En ocasiones excepcionales, los arrecifes de coral podrían secarse durante las mareas vivas, y esto presenta un riesgo de asfixia por hidrocarburos flotantes.

Los encallamientos de embarcaciones presentan una fuente más habitual de daños para los arrecifes de coral que la contaminación. Otros impactos antropogénicos también pueden poner en peligro los corales, como por ejemplo prácticas de sobrepesca o pesca destructiva, contaminación de nutrientes y aumento de la sedimentación debido a deforestación y a proyectos de construcción en la costa.

Franjas costeras

Las franjas costeras están más expuestas a los efectos de los hidrocarburos que cualquier otra parte del medio marino. No obstante, gran parte de la fauna y flora presentes en la costa poseen una resistencia excepcional, ya que deben tener la capacidad de tolerar el ciclo mareal, así como la exposición periódica al embate de las olas, vientos resacas,

temperaturas extremas, variaciones de salinidad por la lluvia y otras agresiones intensas. Esta tolerancia también proporciona a muchos organismos de la costa la capacidad de resistir y recuperarse de los efectos del derrame.

Costas rocosas y arenosas

La exposición a los efectos abrasivos de la acción del oleaje y las corrientes mareales implica que las costas rocosas y arenosas sean las más resistentes a los efectos de un derrame (Figura 7). Este efecto abrasivo normalmente permite que la autolimpieza se realice de forma rápida y natural. Un ejemplo típico de un impacto en las costas rocosas en climas templados es la pérdida temporal de la lapa común (*Patella vulgata*), especie clave de caracolas marinas. Especies "clave" son plantas y animales que ejercen una influencia determinante, y desproporcionada con respecto a su biomasa, sobre el ecosistema, y su eliminación puede provocar un cambio drástico en ese ecosistema. Las lapas que se alimentan de microalgas sobre superficies rocosas limitan el crecimiento algal y el asentamiento de otra fauna. Su pérdida normalmente provoca un rápido crecimiento de algas verdes oportunistas (inserción de la Figura 7). Con el transcurso del tiempo, este crecimiento algal es desplazado por otras especies de algas y, a medida que el espacio vuelve a estar disponible para que las lapas recolonizen la superficies rocosas, el equilibrio ecológico se restablece gradualmente. En costas arenosas tropicales y subtropicales, los cangrejos de la arena (*Ocypode sp.*) ocupan un nicho medioambiental similar al de las lapas, y las tasas de mortalidad elevadas son una característica habitual de la contaminación de las costas. A pesar de este hecho, semanas después de la limpieza de las costas, normalmente los cangrejos vuelven a colonizar las playas en cantidades similares a las anteriores.

Costas con sedimentos blandos



▲ Figura 7: las costas rocosas normalmente están expuestas al viento y al oleaje y pueden limpiarse con rapidez. Los hidrocarburos pueden afectar la biota, incluidas las lapas. Una mortalidad considerable podría provocar la abundancia posterior de flora oportunista (algas y algas marinas) que normalmente se mantendrían controladas al servir de alimento para las especies desaparecidas. Las especies volverán a establecerse y el equilibrio se restaurará con el tiempo.

Las arenas finas y el lodo se encuentran en zonas protegidas de la acción del oleaje, incluidos los estuarios, y suelen ser muy productivos biológicamente (Figura 8). A menudo albergan grandes poblaciones de aves migratorias e invertebrados autóctonos que habitan en los sedimentos, incluidos los bivalvos, y también son zonas de cría para algunas especies.

A pesar de que los sedimentos finos no se ven afectados inmediatamente como otros sustratos, los hidrocarburos pueden incorporarse a través de floculación con sedimento removido por la actividad de temporales, o al penetrar a través de madrigueras de lombrices y tallos de plantas abiertos. Los contaminantes que penetran en sedimentos finos pueden persistir durante muchos años, lo que aumenta la probabilidad de efectos a más largo plazo.

Marismas salinas

La franja superior de las costas de sedimentos blandos suele estar dominada por vegetación de marismas salinas, que se componen de plantas leñosas perennes, suculentas anuales y gramíneas. Las marismas salinas normalmente se asocian a climas templados aunque están presentes en todo el mundo, desde las regiones subpolares hasta los trópicos. En costas tropicales, las marismas salinas suelen estar asociadas a manglares, ocupando las zonas intermareal superior e inferior, respectivamente. La composición de especies depende en gran medida de la salinidad. Por ejemplo, en aguas con baja salinidad o aguas salobres presentes en los tramos superiores de estuarios, la vegetación palustre cede su lugar a los cañaverales. Los residuos vegetales arrastrados de las marismas también contribuyen a las redes tróficas en estuarios y aguas cerca de la costa. Numerosas marismas salinas han recibido una consideración de conservación especial en virtud de la Convención de Ramsar relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de



▲ *Figura 8: Los sedimentos blandos suelen encontrarse a lo largo de franjas costeras protegidas y menos dinámicas, y normalmente son muy productivas biológicamente. Debe considerarse no actuar y permitir la limpieza natural de una marisma contaminada, ya que las operaciones de limpieza podrían ampliar y agravar el daño. Los hidrocarburos que penetren en el sustrato, tal y como se ilustra en la muestra transversal, pueden permanecer allí durante años.*

aves acuáticas.

El impacto de un derrame de hidrocarburos en las marismas salinas depende del momento del año en relación con los periodos de crecimiento vegetal. Las marismas de regiones templadas o frías están inactivas durante los meses de invierno, mientras que el crecimiento en el Mediterráneo es lento durante las altas temperaturas estivales. Un solo evento posiblemente no provoque más que efectos temporales, aunque la contaminación crónica y repetitiva o la actividad de limpieza agresiva, como por ejemplo pisadas, el uso de equipos pesados o la retirada de sustrato contaminado, pueden provocar daños a más largo plazo, posiblemente durante varios años. La limpieza de una marisma salina plantea dificultades si se desea evitar el riesgo de provocar daños adicionales y, por lo tanto, a menudo se recomienda permitir la limpieza natural de las marismas. No obstante, si se contempla la opción de quemar o podar vegetación, resulta preferible realizar esta actividad cuando la vegetación esté marchita. En general, mientras las raíces o bulbos de las plantas no se vean dañados por contaminación intensa o compactación excesiva durante la limpieza, puede esperarse que vuelvan a crecer en la estación correspondiente.

Manglares

Los manglares son árboles y matorrales tolerantes a la salinidad que crecen en los márgenes de aguas tropicales y subtropicales protegidas. Los manglares proporcionan un hábitat valioso para cangrejos, ostras y otros invertebrados, así como zonas de cría importantes para peces y camarones. Además, la intrincada estructura de las raíces retiene y estabiliza los sedimentos, lo que reduce la erosión de franjas costeras y minimiza la deposición de sedimentos terrestres en lechos de hierbas marinas y arrecifes de coral adyacentes.

Su ubicación implica que los manglares sean muy vulnerables a los derrames de hidrocarburos. Los manglares también son extremadamente sensibles a la contaminación por hidrocarburos,

dependiendo en gran medida del sustrato en el que crezcan. Normalmente proliferan en sedimentos anaeróbicos lodosos y densos, y dependen del oxígeno obtenido a través de pequeños poros (lenticelas) en raíces aéreas (Figura 9). La inundación de hidrocarburos pesados en los sistemas radiculares podría bloquear este suministro de oxígeno y provocar la muerte de los manglares. No obstante, en sedimentos abiertos y oxigenados que permiten un intercambio relativamente libre de agua, los sistemas radiculares obtienen oxígeno del agua de mar y presentan una mayor tolerancia a la asfixia por presencia de hidrocarburos. En el segundo mecanismo, los componentes tóxicos de los hidrocarburos, especialmente en productos refinados ligeros, interfieren con los sistemas vegetales que permiten mantener el equilibrio de salinidad, lo que afecta su capacidad de tolerancia al agua salada. La experiencia ha demostrado que la pérdida de manglares debido a asfixia intensa por hidrocarburos parece ser menos probable que la mortalidad provocada por la inundación con productos más ligeros, incluidos algunos agentes de limpieza, que pueden provocar una pérdida localizada de la cubierta arbórea. Los organismos que viven dentro del ecosistema del manglar pueden verse afectados por los efectos directos de los hidrocarburos y también por la pérdida de hábitat a más largo plazo. La recuperación natural del complejo ecosistema del manglar puede requerir mucho tiempo, y las medidas de restauración podrían posibilitar la agilización del proceso de recuperación en estos hábitats.

Daños a largo plazo

Una operación de limpieza eficaz suele incluir la retirada de la mayor parte de la contaminación para reducir el alcance geográfico del daño provocado por la misma y permitir el inicio de la recuperación natural. No obstante, los métodos de limpieza agresivos pueden provocar daños adicionales y podría resultar preferible permitir que actúen los procesos de limpieza naturales. Con el tiempo, varios factores reducen la toxicidad de los hidrocarburos para que el



▲ *Figura 9: los manglares son muy vulnerables a los hidrocarburos. El recubrimiento de raíces fúlcreas o neumatóforas (estructuras respiratorias que crecen verticalmente a través del sustrato) pueden bloquear las lenticelas (poros), lo que impide el intercambio de gases y provoca la asfixia.*

sustrato contaminado pueda sustentar nuevos crecimientos (Figura 10). Por ejemplo, la lluvia y las mareas pueden retirar hidrocarburos y a medida que estos se meteorizan, las partículas volátiles se evaporan y permanecen hidrocarburos residuales con menor toxicidad.

El impacto de un derrame de hidrocarburos normalmente es localizado y temporal y existen muy pocos ejemplos documentados de daño a largo plazo, ya que el medio marino se caracteriza por una gran capacidad para la recuperación natural. No obstante, bajo determinadas circunstancias específicas, el daño puede ser persistente y el deterioro de un ecosistema podría ser más duradero de lo previsto. Las circunstancias que suelen provocar daños intensos a largo plazo están relacionadas con la persistencia de los hidrocarburos, especialmente cuando estos quedan atrapados dentro del sedimento y se encuentran protegidos de los procesos de meteorización normales. Algunos ejemplos incluyen hábitats protegidos, como marismas, costas de guijarros y aguas cercanas a la costa, especialmente cuando un derrame de hidrocarburos coincide con temporales. Una marea tormentosa que inunde una marisma, con las condiciones turbulentas características, puede provocar que los sedimentos finos se encuentren en suspensión y en contacto con hidrocarburos dispersos de forma natural. Cuando el temporal remita, los hidrocarburos incorporados en los sedimentos se depositarán en el lecho de la marisma. Circunstancias similares provocan la incorporación de hidrocarburos en sedimentos finos y el asentamiento en aguas cercanas a la costa. En ambas situaciones, las condiciones anaeróbicas ralentizan la degradación de los hidrocarburos. En costas de guijarros, la meteorización de la mezcla de hidrocarburos y guijarros puede provocar la formación de bloques de asfalto, que podrían perdurar bastante tiempo. Los productos de hidrocarburos que son más densos que el agua de mar, como por ejemplo los hidrocarburos muy pesados o los residuos de una quema de hidrocarburos, van a parar al al lecho marino, donde pueden permanecer intactos durante

periodos de tiempo indeterminados y podrían provocar la asfixia localizada de organismos bentónicos.

Estudios posteriores a los derrames

La investigación de los efectos de la contaminación por hidrocarburos se ha realizado después de prácticamente cada siniestro importante desde la pérdida del TORREY CANYON. Este esfuerzo ha permitido que exista un considerable corpus de conocimientos sobre los posibles efectos medioambientales de un derrame. Ante este nivel de conocimientos, no resulta necesario ni apropiado realizar estudios posteriores después de cada derrame. No obstante, la realización de estudios posteriores al derrame podría estar justificada en ocasiones para determinar el alcance específico, las características y la duración del impacto provocado por las circunstancias particulares de un siniestro. Los estudios deben centrarse en la cuantificación de los daños más visibles, en lugar de tratar de investigar una amplia variedad de posibles impactos, ya que los efectos de la contaminación son, en su mayor parte, bien conocidos y predecibles. La diversidad del medio marino implica que, muy posiblemente, el estudio de una amplia gama de posibles impactos proporcione resultados poco concluyentes.

Las técnicas disponibles para el análisis químico de contaminantes evolucionan continuamente. Las concentraciones de los componentes potencialmente tóxicos de los hidrocarburos pueden medirse actualmente hasta el nivel de partes por billón (ppb, ng/kg, 1×10^{-12}). Uno de los objetivos más importantes de los estudios de evaluación de daños consiste en establecer un itinerario para el daño observado, e identificar cualitativamente el contaminante específico de los hidrocarburos responsable, especialmente en entornos contaminados crónicamente. Esto se realiza normalmente mediante análisis de cromatografía de gases vinculada con la espectrometría de masas (GC/MS).

Habitualmente, se utilizan marcadores biológicos para



Figura 10a: la limpieza invasiva de la marisma ha causado daños adicionales que superan los ocasionados por los hidrocarburos.



Figura 10b: después de siete semanas de haberla limpiado, la marisma presenta señales de rebrote de la vegetación.



Figura 10c: después de 22 meses, la marisma está completamente cubierta, aunque con especies oportunistas.



Figura 10d: después de tres años, la marisma ha recuperado el total de la diversidad de especies.

▲ Figura 10: recuperación natural de una marisma dañada.

detectar los animales expuestos a hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) contenidos en petróleo crudo y productos derivados del petróleo. Por ejemplo, la medición de actividad EROD (etoxiresorufina-O-deetilasa) detecta niveles de enzimas en tejido hepático, implicadas en el metabolismo y la eliminación de toxinas, así como en el desarrollo de tumores cancerosos. Esta técnica ofrece la sensibilidad necesaria para indicar la exposición a HAP sin carga corporal detectable y puede proporcionar una alerta temprana de posibles daños. No obstante, los cambios en los niveles de actividad de esta enzima también son indicadores de otras causas de estrés, como por ejemplo la presencia de otros materiales tóxicos no relacionados con los hidrocarburos. Los niveles de actividad también reflejan la edad y situación reproductiva del animal, así como cambios de temperatura. Por lo tanto, es importante que estos estudios tengan en cuenta estos factores que podrían resultar confusos.

Los estudios pueden priorizarse de acuerdo con numerosos factores. En primer lugar, la referencia con respecto a la que deben establecerse los efectos: si se realiza por referencia a datos anteriores al derrame, si existen; por comparación con especies, comunidades o ecosistemas equivalentes en lugares de referencia fuera de la zona afectada; o mediante la monitorización de la recuperación de una característica de daño visible, como por ejemplo la mortalidad de aves marinas o crustáceos. El plancton proporciona un sujeto de investigación poco idóneo. A pesar de que los estudios de laboratorio y de campo han demostrado la presencia de mortalidad y efectos subletales después de la exposición a hidrocarburos, la variabilidad del plancton es tan elevada que, probablemente, las comparaciones entre las situaciones anterior y posterior al derrame no sean fiables. Otros factores a tener en cuenta son el alcance geográfico de la zona afectada, el grado de contaminación y los niveles de exposición relacionados (concentración y duración), así como la importancia del recurso afectado, por ejemplo su peculiaridad o función ecológica. Finalmente, debe considerarse la viabilidad técnica de la realización de los estudios. La viabilidad puede depender del respaldo financiero o simplemente de la facilidad de acceso a los emplazamientos que se van a estudiar o del riesgo de alteración del emplazamiento durante el periodo de estudio. El documento de ITOPE Muestreo y monitorización de derrames de hidrocarburos en el medio marino ofrece información adicional sobre la elaboración y realización de estudios posteriores al derrame.

Rehabilitación, restauración y reparación

La rehabilitación, también denominada restauración o reparación, es el proceso por el cual se toman medidas para restablecer el entorno dañado a las condiciones de normalidad con más rapidez de lo que pudiera esperarse de los procesos de recuperación naturales exclusivamente. Con frecuencia los términos se utilizan indistintamente en el contexto de los daños medioambientales. No obstante, si se compara la legislación medioambiental de los Estados Unidos y la Unión Europea con el régimen internacional de los Convenios de Responsabilidad Civil y del Fondo de 1992 (CRC y CF), la interpretación de los términos puede diferir. La orientación del Manual de reclamaciones del Fondo de 1992** indica que, en el ámbito del régimen internacional, las medidas de restauración deben tener una oportunidad realista de acelerar la recuperación natural sin provocar consecuencias perjudiciales para otros recursos naturales o económicos. Las medidas también deben ser proporcionales al alcance y la duración de los daños y a los posibles beneficios a conseguir. Se define como daño el deterioro del medio marino. En este contexto, deterioro puede describirse como el funcionamiento anómalo o la

** <http://www.iopcfund.org/publications.htm>

ausencia de organismos dentro de una comunidad biológica, como resultado del derrame.

Las normativas de los Estados Unidos promulgadas en virtud de la Oil Pollution Act de 1990 (OPA '90) también reconocen la recuperación natural como un mecanismo esencial para la **rehabilitación**, aunque introducen dos conceptos: rehabilitación primaria y compensatoria. La rehabilitación compensatoria se concibe para indemnizar por los servicios medioambientales “perdidos” durante el periodo en el que el medio se encuentre en proceso de recuperación, mientras que rehabilitación primaria hace referencia a las acciones adoptadas para rehabilitar o acelerar la recuperación, y es equivalente al término restauración con arreglo al régimen internacional. La Directiva sobre responsabilidad medioambiental de 2004 (ELD) de la UE también incluye estos conceptos en el término reparación. No obstante, el régimen internacional no reconoce el concepto de rehabilitación o reparación compensatoria.

Después de una operación de limpieza, la rehabilitación de los recursos dañados y el estímulo de la recuperación natural pueden justificar la adopción de medidas adicionales, especialmente en circunstancias en las que la recuperación resultaría relativamente lenta en su ausencia. Un ejemplo de este enfoque después de un derrame de hidrocarburos sería replantar las marismas o manglares (*Figura 11*). Una vez que se consolida el nuevo crecimiento, se produce el retorno de otras formas de vida biológica y la posibilidad de erosión de la zona se reduce al mínimo.

El diseño de estrategias de restauración coherentes para la fauna plantea un desafío mucho más complejo. Puede decidirse la protección de los hábitats dañados y podría mejorarse la recuperación de los ecosistemas, por ejemplo, mediante la limitación del acceso y la actividad humana, el establecimiento de controles a la pesca para reducir la competencia por una fuente de alimento limitada, como en el caso de anguilas y frailecillos comunes, o el cierre de playas utilizadas por tortugas durante la época de nidificación. En



▲ *Figura 11: una zona de manglar, creada a partir de la plantación de plántulas individuales en un patrón reticular.*

algunos casos, puede garantizarse la protección de una población reproductora natural en un lugar cercano no contaminado con algunas medidas, por ejemplo, mediante el control de los depredadores, para establecer una reserva desde la que se realice la recolonización de las zonas dañadas. No obstante, la capacidad de las poblaciones adyacentes de recolonizar una zona contaminada depende de numerosos y complejos factores biológicos, ecológicos y medioambientales.

En la práctica, la complejidad del medio marino limita el alcance de la recuperación de los daños ecológicos con medios artificiales. En la mayoría de los casos, la recuperación natural probablemente se produzca relativamente rápido y únicamente en situaciones excepcionales las medidas de restauración mejoran los resultados.

Puntos clave

- El medio marino abarca una amplia variedad de ecosistemas extremadamente complejos, y la existencia de considerables fluctuaciones tanto en abundancia como en diversidad son una característica de su funcionamiento normal.
- El medio marino tiene una gran capacidad de recuperación natural frente a perturbaciones intensas provocadas por fenómenos naturales, así como por derrames de hidrocarburos.
- Los mecanismos clave del daño medioambiental derivado de derrames de hidrocarburos son la asfixia y la toxicidad, aunque la intensidad del daño depende en gran medida del tipo de derrame y de la rapidez de disipación en relación con la ubicación de los recursos sensibles a la contaminación.
- Los organismos más vulnerables son aquellos presentes en la superficie del mar o en la costa.
- Las marismas salinas y los manglares son los hábitats costeros más sensibles.
- Las aves marinas se encuentran particularmente en riesgo. La limpieza de algunas especies, y de los pingüinos en particular, ofrece buenos resultados. Por el contrario, puede que otras especies no sobrevivan mucho tiempo después de volver a su hábitat después de la limpieza, o podrían encontrar dificultades para reproducirse de forma satisfactoria.
- A pesar de que las repercusiones a corto plazo pueden resultar intensas, los daños únicamente perdurarán en casos inusuales, incluso después de los siniestros más importantes. Cuando se han observado daños a largo plazo, su localización geográfica se ha limitado a zonas discretas en las que las condiciones permitieron la persistencia de acumulaciones de hidrocarburos.
- La planificación y ejecución eficaz de operaciones de respuesta mitigan los daños y ofrecen el primer paso de recuperación mediante la retirada de los hidrocarburos.
- Las medidas de restauración bien diseñadas pueden mejorar en ocasiones los procesos de recuperación naturales.

DOCUMENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA

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



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



ITOPF Ltd

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

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

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