

# RESPUESTA A SINIESTROS RELACIONADOS CON PRODUCTOS QUÍMICOS EN EL MEDIO MARINO

DOCUMENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA

17



# Introducción

El volumen de productos químicos transportados por mar continúa creciendo año a año y, como resultado de ello, existe una creciente concienciación internacional por la necesidad de desarrollar medidas de contingencia seguras y eficaces para responder a derrames químicos. No obstante, la amplia variedad de productos químicos, sus diversas propiedades físicas y diferente comportamiento una vez derramados y los posibles efectos para la salud humana y el medio marino implican que las medidas de preparación y respuesta a los derrames de productos químicos sean bastante más complejas que en el caso de los derrames de hidrocarburos.

Este documento ofrece una introducción a las cuestiones relacionadas con la respuesta a derrames de productos químicos y aborda los tipos de peligros presentes, el comportamiento de los productos químicos cuando se derraman en el mar y repasa brevemente las opciones de respuesta disponibles.

## ¿Qué son los productos químicos?

El término “producto químico” abarca todas las sustancias conocidas por el hombre. No obstante, no todos los productos químicos transportados por el mar se consideran peligrosos sino aquellos que han recibido la designación de “sustancias nocivas y potencialmente peligrosas” (SNP). Conforme al Protocolo OPRC–SNP,<sup>1</sup> por SNP se entiende “toda sustancia distinta de los hidrocarburos cuya introducción en el medio marino pueda ocasionar riesgos para la salud humana, dañar los recursos vivos y la flora y fauna marinas, menoscabar los alicientes recreativos o entorpecer otros usos legítimos del mar”. El peligro asociado con un producto químico específico viene determinado por sus propiedades inherentes y, como tal, una SNP podría mostrar una o más de las siguientes cinco propiedades: inflamable, explosivo, tóxico, corrosivo o reactivo.

El Convenio SNP proporcionó otra definición de SNP, aunque difiere sustancialmente del Protocolo OPRC-SNP<sup>2</sup>. En dicho Convenio, una sustancia se clasifica como SNP si se incluye en una o más listas de los Convenios y Códigos de la Organización Marítima Internacional (OMI) que se indican en la Tabla 1. Los Convenios y Códigos enumerados se conciben para garantizar el transporte seguro de todos los



▲ Figura 1: buque cisterna químiquero.

tipos de productos químicos. Además de la lista de diferentes tipos de SNP, también prescriben normas de proyecto y construcción para los diferentes buques relacionados con el transporte de SNP, y normativas sobre rotulación, embalaje/ envasado y estiba de productos químicos. Las sustancias radiactivas e infecciosas se encuentran fuera del alcance del Convenio SNP y de este documento.

El Protocolo OPRC-SNP se concibió para la preparación y respuesta, y el Convenio SNP para la indemnización. La diferencia entre las dos definiciones de SNP tiene importancia ya que cada una comprende cargas que no se incluyen en la otra. Por ejemplo, el Protocolo OPRC-SNP incluye cargas tales como carbón, cemento, diversos minerales metálicos y cereal. La pérdida de dichas cargas

<sup>1</sup> Protocolo sobre cooperación, preparación y lucha contra los sucesos de contaminación por sustancias nocivas y potencialmente peligrosas, 2000 (consulte [www.imo.org](http://www.imo.org)).

<sup>2</sup> Convenio internacional sobre responsabilidad e Indemnización de daños en relación con el transporte marítimo de sustancias nocivas y potencialmente peligrosas, 1996. Al mes de marzo de 2012, el Convenio SNP todavía no ha entrado en vigor (consulte [www.hnscconvention.org](http://www.hnscconvention.org)).

Material SNP	Convenios y códigos
Hidrocarburos transportados a granel	Apéndice I del Anexo del Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 (MARPOL73/78)
Líquidos a granel	Capítulo 17 del Código internacional para la construcción y el equipo de buques que transporten productos químicos peligrosos a granel (Código CIQ) y también Apéndice II del Anexo II del MARPOL 73/78
Gases	Capítulo 19 del Código Internacional para la construcción y el equipo de buques que transporten gases licuados a granel (Código CIG)
Sólidos a granel	Sección 9 del Código marítimo internacional para cargas sólidas a granel (Código IMSBC) y cubiertos también por el Código (IMDG) si se transportan envasados
Mercancías envasadas	Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (Código IMDG)

▲ Tabla 1: ejemplos de Convenios y Códigos de la OMI que proporcionan listas de SNP (consulte [www.imo.org](http://www.imo.org)).



▲ *Figura 2: hidrocarburos derramados y contenedores flotando procedentes de un portacontenedores encallado (imagen gentileza de SMIT).*

puede ocasionar daños medioambientales por asfisia y, en el caso del cereal, su descomposición también puede provocar alta demanda biológica de oxígeno localizada y la liberación de sulfuro de hidrógeno, un gas tóxico. En cambio, el Convenio SNP incluye muchos de los productos destilados no persistentes comunes del petróleo, como por ejemplo queroseno y gasolina y también, en algunos casos, hidrocarburos persistentes; el Protocolo OPRC-SNP no abarca ninguno de estos productos ya que se incluyen en el Convenio OPRC 90. El Protocolo OPRC-SNP 2000 y el Convenio SNP incluyen aceites vegetales. La respuesta a los hidrocarburos derramados se incluye en otros documentos de esta serie de Documentos de Información Técnica de ITOFF, tal y como se indica en la contraportada.

## Transporte marítimo de SNP

La creciente demanda global de productos químicos utilizados en una amplia variedad de industrias ha suscitado un rápido aumento del comercio marítimo de dichos productos. En 2010, la OMI enumeró los 20 productos químicos principales (excluido el petróleo crudo, sus productos líquidos y aceites vegetales) transportados por mar y con más probabilidades de resultar afectados en un siniestro con SNP. Esta lista se elaboró mediante la recopilación de datos sobre los volúmenes de productos químicos producidos, los productos químicos transportados más habitualmente y aquellos derramados con más frecuencia (Tabla 2).

Las cargas de SNP pueden transportarse por mar de dos maneras: a granel (líquidas y sólidas) o envasadas. Existen diversos tipos diferentes de transportes marítimos de SNP:

- **Graneleros:** transportan materiales sólidos a granel o cargas secas no envasadas, por ejemplo mineral de hierro, fosfato natural, carbón, cemento y cereal.
- **Buques cisterna de productos, de carga mixta o quimiqueros:** transportan cargas líquidas a granel. Se diferencian por el método de separación de los tanques y por el tipo de productos químicos transportados, por ejemplo benceno o estireno (*Figura 1*).
- **Buques gaseros:** transportan cargas de gas licuado a presión y/o a bajas temperaturas, concretamente gas natural licuado (principalmente metano) (GNL) y gas licuado de petróleo (propano y butano) (GLP).
- **Portacontenedores** (*Figura 2*): transportan cargas de mercancías envasadas dentro de contenedores internacionales que permiten realizar la carga y descarga de forma eficiente. El tamaño de un portacontenedores suele indicarse en TEU (unidades equivalentes a 20 pies), que es el número de contenedores de tamaño estándar



▲ *Figura 3: tanktainers varados y un contenedor amarrados juntos en una costa.*

que el buque puede transportar. Una pequeña proporción de los contenedores transportados son isotanques o “tanktainers” para el transporte de líquidos a granel (*Figura 3*).

- **Buques de carga generales:** transportan partidas más pequeñas de mercancías sueltas envasadas, por ejemplo en palés, cajones, cajas o bidones. Por lo que respecta al tipo de buque, representan la categoría más amplia en la flota mundial.
- **Buques para transporte de carga rodada (Ro-Ro):** transportan remolques de transporte por carretera o material rodante para transporte ferroviario que incluyen mercancías sueltas empaquetadas, contenedores o líquidos y sólidos a granel.

Un siniestro que afecte a un buque que transporta más de una mercancía peligrosa, por ejemplo, buques de contenedores, buques cisterna de carga mixta o buques Ro-Ro, presenta complicaciones adicionales debido a la posibilidad de que las diversas cargas puedan mezclarse entre sí, y con el agua, si los contenedores, tanques o remolques individuales sufrieran daños. En particular, la identificación de los contenidos específicos de un contenedor o remolque y la evaluación de los peligros planteados pueden resultar difíciles de realizar y, en algunos casos, el manifiesto de mercancías peligrosas (*Figura 4*) y el plano de estiba podrían proporcionar detalles insuficientes para evaluar correctamente la gravedad de un posible siniestro.

Incluso cantidades relativamente pequeñas de SNP podrían plantear un riesgo importante. Por ejemplo, el fosforo de aluminio (AIP), un fumigante transportado muy habitualmente, reacciona con el agua para generar fosfina (PH<sub>3</sub>), un gas tóxico (*Figura 5*). Un siniestro también puede suponer el derrame de combustible marino pesado u otros hidrocarburos (*Figuras 2 y 5*), lo que podría complicar aún más la respuesta. Si la SNP representa un peligro para la salud humana, puede que una operación de respuesta a un derrame de hidrocarburos en el mar o en la costa no sea viable o se vea comprometida.

## Comportamiento de los productos químicos en el medio marino

### Comportamiento físico

La clasificación de sustancias, ya sean gaseosas, líquidas o sólidas, de acuerdo con el comportamiento mostrado una vez liberadas en el medio marino, es una herramienta útil en

<sup>3</sup> *Convenio internacional sobre cooperación, preparación y lucha contra la contaminación por hidrocarburos.*

Clasif.	Producto químico	Comportamiento	Peligro principal
1	Ácido sulfúrico	No flotante/disolvente	Corrosivo / reacción exotérmica con agua / vapores
2	Ácido clorhídrico	No flotante/disolvente	Corrosivo / reacción exotérmica con agua / vapores
3	Hidróxido sódico / sosa cáustica	No flotante/disolvente	Corrosivo / reacción exotérmica con agua
4	Ácido fosfórico	No flotante/disolvente	Corrosivo / reacción exotérmica con agua / vapores
5	Ácido nítrico	No flotante/disolvente	Corrosivo / reacción exotérmica con agua / vapores
6	GLP/GNL	Gas (transportado como líquido)	Inflamable / explosivo
7	Amoníaco	Gas (transportado como líquido)	Tóxico
8	Benceno	Flotante / evaporador	Inflamable / explosivo
9	Xileno	Flotante / evaporador	Inflamable / explosivo
10	Fenol	Disolvente / evaporador	Tóxico / inflamable
11	Estireno	Flotante / evaporador	Inflamable / tóxico / polimerización
12	Metanol	Flotante / disolvente	Inflamable / explosivo
13	Etilenglicol	No flotante/disolvente	Tóxico
14	Cloro	Gas (transportado como líquido)	Tóxico
15	Acetona	Flotante/evaporador/disolvente	Inflamable / explosivo
16	Nitrato de amonio	No flotante/disolvente	Oxidante / explosivo
17	Urea	No flotante/disolvente	Irritante
18	Tolueno	Flotante / evaporador	Inflamable / explosivo
19	Acrilonitrilo	Flotante/evaporador/disolvente	Inflamable / tóxico / polimerización
20	Acetato de vinilo	Flotante/evaporador/disolvente	Inflamable / tóxico / polimerización

▲ *Tabla 2: lista de la OMI de los 20 principales productos químicos con mayores posibilidades de riesgo de resultar afectados en un siniestro de SNP, excluido el petróleo crudo, productos líquidos de petróleo crudo destilado o aceites vegetales (fuente: MEPC/OPRC-SNP/TG 10/5/4, consulte [www.imo.org](http://www.imo.org)).*

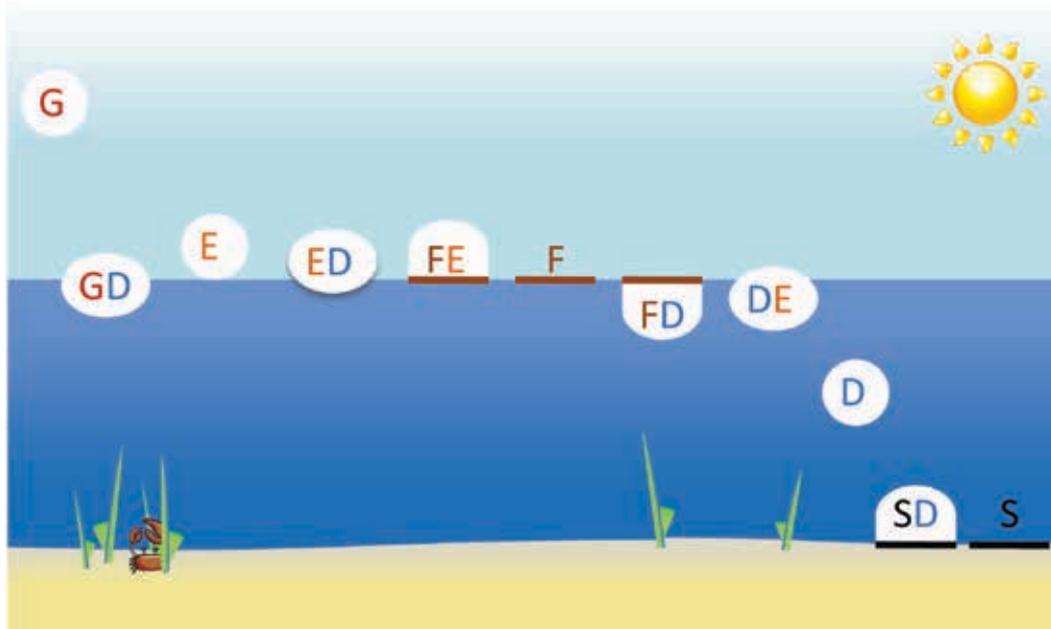
## DANGEROUS GOODS MANIFEST M/V BOXSHIP L1234567 (Inbound to Panama)

Shipper/Consignee	Pkg. No.	Shipping Description	Stowage Position	Gross Weight	Container	Port of Discharge	Shipment No.
Local Chemical Co.	25 Drums	ACROLEIN, class 6.1 UN1092, P.G. I (3), Marine Pollutant	030862	2500 Kgs	243917	NYNY	7654321
Manufacturing Co.	30 Tins	ADHESIVES (liquid), Class 3, UN1133, P.G. III Flammable Liquid	420190	19.22 Kgs	678345	NYNY	6453210
Manufacturing Co.	500 Bottles	DICHLOROMETHANE (liquid), Class 6.1, UN1593, P.G. III Toxic substance	420190	1000 Kgs	678345	NYNY	6465210



▲ *Figura 4: ejemplo de un manifiesto de carga peligrosa que proporciona detalles de dos contenedores con SNP.*

◀ *Figura 5: la presencia de una SNP puede entorpecer la respuesta a un derrame de hidrocarburos. La imagen muestra bombonas (garrafas de gas) sin identificar, cubiertas de combustible de buques, algunas de las cuales podrían contener fosforo de aluminio (recuadro) que produce gas fosfino altamente tóxico en contacto con agua. En este caso, se redactó un plan de evaluación de riesgos detallado para garantizar la seguridad del personal de limpieza de costas (imagen en el recuadro gentileza de United Phosphorous).*



▲ Figura 6: diagrama que representa la Standard European Behaviour Classification.

el desarrollo de una estrategia de respuesta. El destino de una sustancia depende de las propiedades de volatilidad, solubilidad y densidad que, a su vez, determinan los peligros que la sustancia presenta (toxicidad, inflamabilidad, reactividad, explosividad, corrosividad, etc.).

El sistema SEBC (sigla de Standard European Behaviour Classification (Clasificación europea de comportamientos estándar)) clasifica las SNP en 12 grupos según su comportamiento predominante en el agua (Figura 6 y Tabla 3). Las propiedades principales que aportan indicaciones sobre el comportamiento de un producto químico derramado en el mar se indican en la Tabla 4. No obstante, es importante tener en cuenta que este sistema solo clasifica los productos químicos según su comportamiento predominante pertinente a la respuesta al derrame y que un producto químico también

podría manifestar otras características. Por ejemplo, el benceno se clasifica según su característica predominante (evaporador), pero también es soluble hasta cierto grado. La planificación de una respuesta debe tener en cuenta todos los aspectos del comportamiento de una sustancia.

## Peligros

Según el Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos de Naciones Unidas (SGA)<sup>4</sup>, los productos químicos se clasifican de acuerdo con los tipos de peligros que representan y se ilustran mediante comunicaciones armonizadas de peligros con etiquetado y Hojas informativas sobre la seguridad coherentes. El SGA tiene como objetivo asegurar que la información sobre peligros físicos y toxicidad de los productos químicos esté disponible para mejorar la protección de la salud humana y el medio ambiente durante la manipulación, el transporte y el uso de estos productos químicos. El SGA incluye dos conjuntos de pictogramas: uno para el etiquetado de contenedores y para las advertencias de peligro en el lugar

	Grupo de propiedades	Propiedades
G	gas	se evapora inmediatamente
GD	gas/disolvente	se evapora inmediatamente, se disuelve
E	evaporador	se evapora rápidamente
ED	evaporador/disolvente	se evapora inmediatamente, se disuelve
FE	flotante/evaporador	flota, se evapora
FED	flotante/evaporador/disolvente	flota, se evapora, se disuelve
F	flotante	flota
FD	flotante/disolvente	flota, se disuelve
DE	disolvente/evaporador	se disuelve rápidamente, se evapora
D	disolvente	se disuelve rápidamente
SD	no flotante/disolvente	se hunde, se disuelve
S	no flotante	se hunde

▲ Tabla 3: sistema Standard European Behaviour Classification (SEBC) para productos químicos.

<sup>4</sup> [www.unece.org/trans/danger/danger.html](http://www.unece.org/trans/danger/danger.html)



▲ Figura 7: pictogramas del SGA para etiquetado de SNP. De izquierda a derecha: inflamable, explosivo, oxidante, toxicidad aguda, corrosivo, perjudicial/irritante, tóxico para el medio ambiente, carcinógeno/sensibilizante y gas comprimido. Estos pictogramas se han concebido para sustituir las etiquetas nacionales y regionales.

Propiedad	Descripción
<b>Densidad</b>	Densidad, $\rho$ , (sustancia) = masa/volumen. Proporciona una indicación de la probabilidad de que una sustancia flote o se hunda (densidad promedio del agua de mar: $\rho = 1,025 \text{ g/cm}^3$ ). $\rho(\text{benceno}) = 0,88 \text{ g/cm}^3$ , flota. $\rho(\text{ácido fosfórico sólido}) = 1,864 \text{ g/cm}^3$ , se hunde.
<b>Gravedad específica</b>	Gravedad específica = $\rho$ (sustancia)/ $\rho$ (agua) es un parámetro no dimensional, esto es, no tiene unidades. En agua dulce también se conoce como densidad relativa.
<b>Solubilidad</b>	La capacidad de un sólido, líquido o gas de disolverse en un líquido (normalmente se indica para agua dulce). En agua de mar: s(benceno) = 0,07%, ligeramente soluble; s(ácido fosfórico) = 100%, miscible.
<b>Presión de vapor</b>	Describe la probabilidad de que una sustancia se evapore para formar un vapor. Cuanto más alta sea la presión de vapor, mayor tendencia a evaporarse tiene una sustancia (PV de evaporador lento > 300 Pa, PV de evaporador rápido > 3 kPa). PV(etilenglicol) = 500 Pa; PV(etanol) = 5 kPa; PV(propano) = 2,2 MPa.
<b>Densidad de vapor</b>	Peso relativo de un gas o vapor con respecto al aire, al que se asigna un valor arbitrario de 1. Si un gas presenta una densidad de vapor inferior a 1, normalmente ascenderá en el aire. Si la densidad de vapor es mayor que 1, el gas normalmente descenderá en el aire. La propiedad se basa en los pesos moleculares. Peso molecular del aire = 29 unidades de masa atómica (UMA). Hidrógeno = 2 UMA y, por lo tanto, tiene una densidad de vapor de $2/29 = 0,068$ , asciende. Hexano = 84 UMA: densidad de vapor = $84/29 = 2,9$ , descende.
<b>Punto de ignición</b>	El punto de ignición de un material volátil es la temperatura más baja a la que puede vaporizarse para formar una mezcla en el aire que explotará cuando se exponga a una fuente de ignición. Punto de ignición T(fenol) = 79 °C, Punto de ignición T(benceno) = -11,1 °C.
<b>Límite inferior de explosividad (LIE)</b>	La concentración (porcentual) más baja de un gas o vapor en el aire que puede entrar en ignición en presencia de una fuente de ignición. A una concentración en el aire inferior al LIE, existe una cantidad de combustible insuficiente para arder y la mezcla de aire/combustible es "demasiado pobre". También se expresa como límite inferior de inflamabilidad (LII). LIE(benceno) = 1,2% por volumen de aire (12.000 ppm). LIE(metano (CH <sub>4</sub> )) a 20 °C = 5,1%.
<b>Límite superior de explosividad (LSE)</b>	La concentración (porcentual) más alta de un gas o vapor en el aire que puede entrar en ignición en presencia de una fuente de ignición. Concentraciones superiores al LSE son "demasiado ricas" para arder; también se expresa como límite superior de inflamabilidad (LSI). LSE(benceno) = 7,8% por volumen de aire (78.000 ppm).
<b>Rango inflamable</b>	El rango de concentración entre los límites superior e inferior de inflamabilidad.
<b>Temperatura de ignición espontánea</b>	La temperatura mínima a la que un producto químico entra en ignición sin fuentes de ignición presentes. T de ignición espontánea(benceno) = 538 °C.
<b>Punto de ebullición</b>	T del punto de ebullición(propano) = -42 °C, T(amoniaco) = -33 °C, T(ácido sulfúrico) = 337 °C.

▲ Tabla 4: propiedades físicas clave para evaluar el destino y comportamiento de un producto químico.

de trabajo (Figura 7), y un segundo para uso durante el transporte de mercancías peligrosas (Figura 8). Se elige uno de ellos según el público objetivo, pero no se utilizan los dos simultáneamente. Los siguientes peligros, según se ilustran en los siete pictogramas iniciales, pueden surgir si se produce el derrame de una SNP o por reacciones entre la SNP y otros productos químicos, agua o aire.

## Inflamabilidad

La inflamabilidad es la facilidad con la que un material entra en ignición de forma natural o por la presencia de una fuente de ignición. La inflamabilidad de un líquido se rige por su presión de vapor o punto de ignición. Los líquidos inflamables se caracterizan por puntos de ebullición e ignición bajos. Otros materiales inflamables podrían incendiarse espontáneamente en contacto con el aire. Un fuego que afecte a una SNP puede dar lugar a la liberación de calor, partículas sólidas y gases tóxicos (Figura 9).

## Explosividad

Una sustancia explosiva es un producto químico o mezcla de productos químicos que se vuelve inestable bajo ciertas condiciones medioambientales, por ejemplo, por calor, fricción, impacto o electricidad estática, y libera su energía almacenada. Las sustancias se clasifican por su sensibilidad

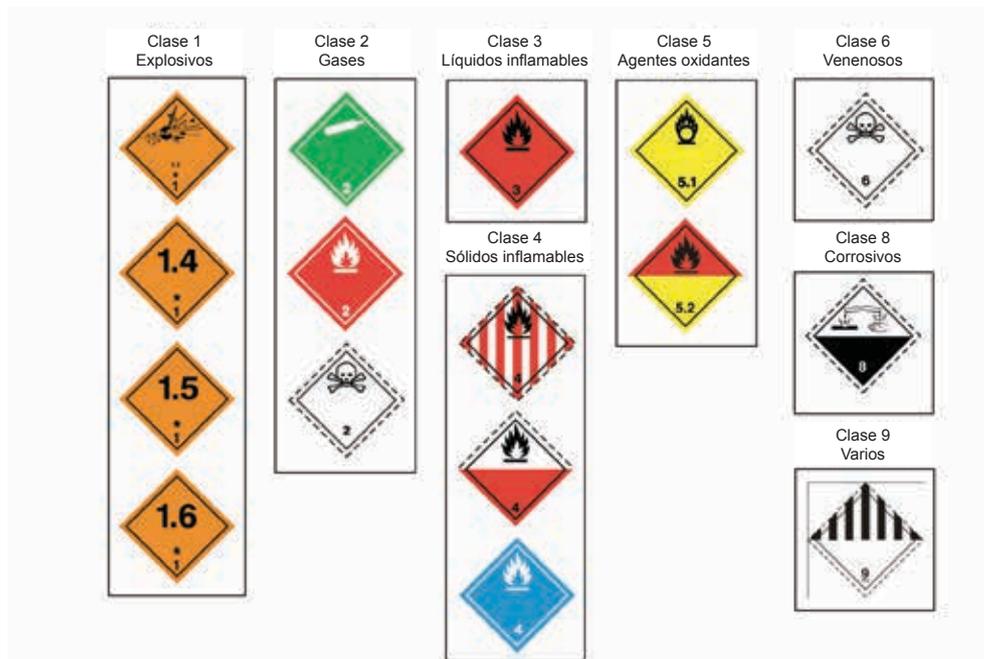
a las condiciones medioambientales, su velocidad de detonación y por su composición química. La clasificación también incluye materiales como dispositivos pirotécnicos y munición.

Las explosiones pueden ir acompañadas de ondas expansivas, fuego y calor. En particular, los daños se producen cuando la energía liberada no puede disiparse con rapidez. Un ejemplo importante de una combinación explosiva de un material volátil y condiciones medioambientales es una explosión de vapores que se expanden al hervir el líquido, o BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion); por ejemplo, el calentamiento de un gas licuado, comprimido y contenido puede provocar la ruptura del contenedor debido a la sobrepresión que se produce después de la ebullición del líquido en su interior. El resultado es una liberación instantánea, que puede evolucionar en una nube inflamable con tamaño suficiente como para generar un fogonazo, una bola de fuego o la explosión de una nube de vapor.

Los límites inferior y superior de explosividad (LIE y LSE) definen el rango en el que un gas o vapor en el aire puede explotar en presencia de una fuente de ignición.

## Peligro de oxidación

Las sustancias que no son necesariamente combustibles



▲ *Figura 8: pictogramas de Naciones Unidas para el transporte de SNP. Las Clases 1 a 6 y 8 forman parte del Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA). Los materiales de la Clase 7 (radioactivos - no mostrados) y la Clase 9 (varios) se incluyen en los símbolos del Código IMDG, pero no se incluyen en el SGA.*

por sí mismas, pero que proporcionan oxígeno que podría provocar o contribuir a la combustión de otro material, pueden presentar un peligro de oxidación. Productos oxidantes fuertes, como por ejemplo el ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), pueden reaccionar de una forma especialmente violenta con material orgánico.

## Toxicidad

Los productos químicos tóxicos incluyen aquellos productos que pueden provocar la muerte o lesiones en organismos vivos por inhalación, ingestión o absorción a través de la piel a niveles bajos. La toxicidad suele medirse y clasificarse según el grado de riesgo que una concentración particular representa para la salud humana o el medio ambiente. Normalmente se mencionan los límites de exposición aguda y crónica a la concentración. La exposición aguda se define como una única exposición a una sustancia tóxica que puede provocar daños biológicos graves o la muerte, y suele caracterizarse como una exposición inferior a un día. La exposición crónica se define como la exposición continua a una toxina durante un periodo de tiempo prolongado, normalmente medido en meses o años, que puede provocar

efectos secundarios irreversibles. El cloro es un ejemplo de gas altamente tóxico.

## Peligro de corrosión

Los productos químicos corrosivos pueden destruir o dañar irreversiblemente otra superficie o sustancia con la que entren en contacto, incluidos tejidos vivos (piel, ojos, pulmones) y materiales, como por ejemplo equipos de respuesta, otras cargas o embalajes. Algunos ejemplos son el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y el hidróxido sódico ( $\text{NaOH}$ ).

## Irritante/Perjudicial

Un producto químico en esta categoría puede ser perjudicial para la salud, mientras que otros con propiedades irritantes pueden provocar inflamación de la piel (dermatitis) y las membranas mucosas en un organismo vivo (por ejemplo, ojos, garganta y/o pulmones).

## Peligro medioambiental

Productos químicos que pueden presentar un peligro inmediato o retardado para uno o más componentes del medio ambiente y cuya eliminación requiere atención especial.

## Reactividad

Los productos químicos pueden reaccionar con materiales adyacentes, fueloil, agua o aire de diversas formas, que incluyen corrosión, descomposición, oxidación/reducción o reacción de polimerización. Resulta importante conocer la reactividad de la sustancia para elaborar una respuesta apropiada, ya que estas reacciones pueden generar calor y gases inflamables o tóxicos. Por ejemplo, el hierro podría reaccionar con algunos ácidos o álcalis fuertes para liberar hidrógeno que, en el aire, produce una mezcla explosiva de hidrógeno y aire. Algunos productos químicos pueden polimerizar cuando se aporta calor o agua. La polimerización suele ir acompañada de expansión volumétrica y liberación de calor (exotérmica), que pueden provocar daños potenciales en el contenedor en el que se almacena el material. El producto también podría descomponerse en productos secundarios debido a las interacciones con su entorno. Peligros particulares relacionados con la descomposición son



▲ *Figura 9: los contenedores se desplomaron y se deformaron por el calor de un incendio en la sección de proa de un buque Ro-Ro varado.*

la formación de gases, como por ejemplo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), que son intrínsecamente tóxicos y pueden provocar la presencia de niveles bajos de oxígeno, que exigen la aplicación de prácticas seguras para acceder a las bodegas u otros espacios confinados de buques. La Oficina de Respuesta y Restauración de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (US National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA)<sup>5</sup> proporciona una Hoja de trabajo sobre reactividad química (Chemical Reactivity Worksheet - CRW) que permite al usuario determinar la reactividad de una sustancia con el aire, agua y otros productos químicos.

## Evaluación de peligros

Cuando se clasifican los peligros que plantea la pérdida de una carga en particular, dos guías sencillas y de fácil acceso proporcionan un primer paso importante en la evaluación de la gravedad potencial de un siniestro: Los Anexos II y III del MARPOL 73/78 y los perfiles de peligrosidad del GESAMP.

## El Convenio MARPOL

El Convenio MARPOL es el principal convenio internacional que trata la prevención de la contaminación por los buques. Dos anexos del MARPOL guardan relación con las SNP:

### Anexo II

El Anexo II del MARPOL contiene normativas para cargas líquidas a granel que pueden provocar contaminación medioambiental si se descargan en el mar. El Anexo define cuatro categorías según el peligro que el líquido a granel presente para la salud humana, recursos marinos e instalaciones. El Apéndice II del Anexo II incluye una lista de sustancias agrupadas de acuerdo con las cuatro categorías que se indican a continuación:

- **Categoría X:** sustancias líquidas que se consideran que presentan un peligro importante para los recursos marinos o la salud humana y que, por lo tanto, justifican la prohibición de descarga en el medio marino,
- **Categoría Y:** sustancias líquidas que se consideran que presentan un peligro para los recursos marinos o la salud humana o que pueden causar perjuicios en instalaciones u otros usos del mar y que, por lo tanto, justifican una limitación sobre la calidad y cantidad de descarga en el medio marino,
- **Categoría Z:** sustancias líquidas que se consideran que presentan un peligro menor para los recursos marinos o la salud humana y que, por lo tanto, justifican limitaciones menos estrictas sobre la calidad y cantidad de descarga en el medio marino y
- **Categoría OS:** estas "otras sustancias" se consideran que quedan fuera de las categorías X, Y y Z, y que no presentan ningún perjuicio para los recursos marinos, la salud humana, instalaciones u otros usos del medio marino.

### Anexo III

El Anexo III trata sobre las provisiones para la prevención de contaminación por sustancias perjudiciales que se transportan por mar envasadas. Dentro de estas normativas se estipula que, cualquier sustancia que sea perjudicial para el medio ambiente (conocidas como contaminantes marinos) debe marcarse y etiquetarse claramente como un "contaminante marino" para distinguirlos de cargas menos perjudiciales (Figura 10).

<sup>5</sup> <http://response.restoration.noaa.gov>

<sup>6</sup> [www.gesamp.org/publications/publicationdisplaypages/rs64](http://www.gesamp.org/publications/publicationdisplaypages/rs64)

<sup>7</sup> [www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention](http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention)

## Perfiles de peligrosidad del GESAMP

El Grupo Mixto de Expertos sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino (GESAMP, en sus siglas en inglés), un organismo asesor de las Naciones Unidas creado en 1969, ha resumido los peligros que las SNP presentan para la salud humana y el medio marino. El Grupo se compone de expertos en su campo independientes que proceden de una amplia variedad de disciplinas pertinentes.

El GESAMP ha publicado una Evaluación de los peligros de las sustancias transportadas por buques, que trata sobre los peligros presentados por los productos químicos transportados más habitualmente y que llegan al medio marino por descarga operativa, derrame accidental o pérdida por la borda desde buques. Las propiedades de cada producto químico se han evaluado con respecto a numerosos efectos predefinidos en caso de derrame en el mar de alguno de los productos químicos enumerados. Esta información se recopila en un perfil de peligrosidad que identifica las características peligrosas de cada sustancia según las siguientes categorías:

- a. Bioacumulación y biodegradación,
- b. Toxicidad acuática,
- c. Toxicidad aguda en mamíferos,
- d. Irritación, corrosión y efectos a largo plazo para la salud, o
- e. Interferencia con otros usos del mar.

La definición de perfiles de peligrosidad del GESAMP es un proceso continuo y la OMI<sup>7</sup> mantiene un listado actualizado.

## Cuestiones sobre la salud humana

Además de los efectos asociados con peligros, como por ejemplo la onda expansiva de una explosión, lesiones debidas a incendios o agotamiento del oxígeno, la exposición a sustancias químicas también puede ocurrir como resultado de la absorción por contacto con la piel, inhalación o ingestión. La inhalación es una vía de entrada principal de gases y partículas. La absorción puede producirse a través de una piel sana o a través de la superficie de la piel dañada químicamente (por ejemplo, quemaduras o dermatitis). La ingestión se produce cuando se traga un producto peligroso.

Los fabricantes de SNP y otras entidades publican las Hojas informativas sobre la seguridad de los materiales (MSDS, en sus siglas en inglés) que resumen los peligros específicos asociados con cada sustancia. Con el tiempo, se sustituirán por las Hojas informativas sobre la seguridad (SDS) de acuerdo con el SGA de Naciones Unidas. Las MSDS y SDS siguen generalmente el mismo formato (Figura 11) y proporcionan la información que se incluye en la Tabla 5. No obstante, debe indicarse que, en cuanto a la fiabilidad y exhaustividad, la calidad de la información que proporcionan actualmente las MSDS puede variar en gran medida entre diferentes proveedores y es importante hacer lo posible para obtener información del fabricante de la carga específica afectada en un siniestro. Se prevé que con la implantación completa del SGA, las Hojas informativas sobre la seguridad proporcionarán información más coherente y fiable.



◀ *Figura 10: placa de identificación de contaminante marino. Esta placa de identificación no está relacionada con ninguna clase específica de peligro y se utiliza cuando se transporta cualquier contaminante marino.*

1. Identificación
2. Identificación de peligro(s)
3. Composición/ingredientes
4. Medidas de primeros auxilios
5. Medidas contra incendios
6. Medidas en caso de liberación accidental
7. Manejo y almacenamiento
8. Controles de exposición/protección personal
9. Propiedades físicas y químicas
10. Estabilidad y reactividad
11. Información toxicológica
12. Información ecológica
13. Consideraciones para la eliminación
14. Información sobre transporte
15. Información normativa
16. Información adicional

▲ *Tabla 5: información proporcionada por MSDS y SDS.*

## Límites de exposición

La industria química y los organismos gubernamentales especializados han definido límites de exposición para proteger a los trabajadores que manejan sustancias peligrosas. Los límites de exposición permisibles (PEL, en sus siglas en inglés) son límites normativos sobre la cantidad o concentración máxima de una sustancia en el aire. Un límite de exposición permisible se establece mediante una exposición promedio ponderada en el tiempo (TWA, en sus siglas en inglés); normalmente ocho horas (una jornada laboral típica). Estos límites se basan en Valores umbrales límite (VUL) que reflejan la exposición a gases y vapores en el aire que un trabajador típico puede experimentar sin riesgo grave de enfermedad o lesión. Estos límites están diseñados para considerar la exposición crónica a sustancias peligrosas, pero no se han concebido para abordar las exposiciones agudas después de un derrame.

En ocasiones, se han establecido límites de exposición a corto plazo y valores límite para considerar los efectos inmediatos. El límite de exposición a corto plazo considera la exposición a una concentración máxima durante un periodo de 15 minutos y no puede repetirse más de cuatro veces en un día. Un valor límite es aquel que no puede superarse durante ningún periodo de tiempo y se aplica a irritantes y otros materiales que tienen efectos inmediatos. A este respecto, el criterio, Concentraciones inmediatamente peligrosas para la vida o la salud (IPVS), es el límite de exposición máximo que se utiliza más frecuentemente y describe una atmósfera que es inmediatamente peligrosa para la vida o la salud de un hombre adulto típico. Los límites IPVS se crearon inicialmente para asistir en la toma de decisiones en relación con el uso de aparatos de respiración artificial. La definición de límites IPVS considera dos factores: los trabajadores deben tener la capacidad de escapar del entorno

## SIGMA-ALDRICH

sigma-aldrich.com

### SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006  
Version 4.2 Revision Date 03.12.2011  
Print Date 01.02.2012

#### 1. IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/MIXTURE AND OF THE COMPANY/UNDERTAKING

1.1	<b>Product identifiers</b>	
	Product name	: Dichloromethane
	Product Number	: 270997
	Brand	: Sigma-Aldrich
	Index-No.	: 602-004-00-3
	CAS-No.	: 75-09-2
1.2	<b>Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against</b>	
	Identified uses	: Laboratory chemicals, Manufacture of substances
1.3	<b>Details of the supplier of the safety data sheet</b>	
	Company	: Sigma-Aldrich Company Ltd. The Old Brickyard NEW ROAD, GILLINGHAM Dorset SP8 4XT UNITED KINGDOM
	Telephone	: +44 (0)1747 833000
	Fax	: +44 (0)1747 833313
	E-mail address	: eurtechserv@sial.com
1.4	<b>Emergency telephone number</b>	
	Emergency Phone #	: +44 (0)1747 833100

#### 2. HAZARDS IDENTIFICATION

2.1	<b>Classification of the substance or mixture</b>	
	Classification according to Regulation (EC) No 1272/2008 [EU-GHS/CLP]	
	Carcinogenicity (Category 2)	
	Classification according to EU Directives 67/548/EEC or 1999/45/EC	
	Limited evidence of a carcinogenic effect.	
2.2	<b>Label elements</b>	
	Labelling according Regulation (EC) No 1272/2008 [CLP]	
	Pictogram	
	Signal word	Warning
	Hazard statement(s)	
	H351	Suspected of causing cancer.
	Precautionary statement(s)	
	P281	Use personal protective equipment as required.
	Supplemental Hazard Statements	none
	According to European Directive 67/548/EEC as amended.	
	Hazard symbol(s)	

Sigma-Aldrich - 270997

Page 1 of 7

▲ *Figura 11: ejemplo de la primera página de la SDS de un fabricante para diclorometano.*

peligroso y no deben sufrir daños permanentes a su salud ni irritación grave en los ojos o tracto respiratorio u otras condiciones que pudieran entorpecer su salida del entorno.

La industria y los organismos gubernamentales, como por ejemplo la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos<sup>8</sup> (US EPA, en sus siglas en inglés), continúan desarrollando directrices más específicas para responder a liberaciones potenciales de sustancias a la atmósfera.

Las **ERPG** (Emergency Response Planning Guidelines) son directrices relativas a la concentración en el aire para exposiciones individuales a sustancias peligrosas, y se conciben para que sirvan como herramientas para evaluar la idoneidad de los planes de prevención de accidentes y de respuesta a emergencias. El Comité ERPG de la Asociación Americana de Higiene Industrial<sup>9</sup> (AIHA, en sus siglas en inglés) desarrolla las ERPG.

Los **AEGL** (Acute Exposure Guideline Levels) son niveles que se conciben para describir el riesgo para los humanos derivados de la exposición puntual, u ocasional, a productos químicos en el aire. El desarrollo de los AEGL supone un esfuerzo de colaboración de los sectores público y privado en todo el mundo. El Comité AEGL<sup>10</sup> (US National Advisory Committee for the Development of Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous Substances) de Estados Unidos trabaja en la elaboración de estas directrices para ayudar a abordar emergencias donde ocurren derrames u otras exposiciones catastróficas.

Los **TEEL** (Temporary Emergency Exposure Limits) son niveles de riesgo que representan los efectos nocivos para

<sup>8</sup> [www.epa.gov/osweroe1/docs/chem/tech.pdf](http://www.epa.gov/osweroe1/docs/chem/tech.pdf)

<sup>9</sup> [www.aiha.org](http://www.aiha.org)

la salud de una sustancia peligrosa en el público en general. El Departamento de Energía<sup>11</sup> de Estados Unidos define los TEEL para aplicarlos cuando las ERPG o los AEGL no estén disponibles.

## Efectos sobre recursos marinos

Los efectos de uno o más productos químicos sobre el medio marino dependen de numerosos factores. El más importante es la toxicidad de los productos químicos o mezcla de sustancias perdidas o de los productos de su reacción. El alcance del impacto también dependerá de las cantidades del caso y las concentraciones resultantes en la columna de agua, así como del tiempo de exposición de la biota a esa concentración y la sensibilidad de los organismos a los productos químicos específicos. Las tolerancias a las sustancias no solo varían según la especie, sino que la tolerancia de una especie puede cambiar durante las diferentes etapas de su ciclo de vida y en función de la estación. Las condiciones meteorológicas predominantes y la topografía local también ejercen una influencia considerable sobre los efectos de un derrame. Cuando el mar está en calma, el área expuesta a efectos adversos puede ser relativamente pequeña y expandirse lentamente, y la intensidad del impacto disminuirá con la distancia de la fuente del derrame. Por otra parte, en un río o vía navegable confinada, un penacho en movimiento puede desplazarse aguas abajo rápidamente, exponiendo un área cada vez más amplia a concentraciones altas o perjudiciales.

En mar abierto, el flujo y el reflujo de la marea, las corrientes oceánicas y la difusión generada por turbulencias normalmente provocan la rápida dilución de los contaminantes. No obstante, incluso si las concentraciones se encuentran por debajo de niveles que provocarían la muerte, las concentraciones subletales pueden dar lugar a otros efectos. El estrés inducido químicamente puede reducir la capacidad general del organismo a reproducirse, crecer, alimentarse o realizar otras funciones con normalidad. También es importante el potencial de los productos químicos, incluso a estos niveles subletales, de perturbar otros usos legítimos del mar, por ejemplo, a través del maculado de pescado o el cierre de playas.

Algunas sustancias pueden persistir durante periodos de tiempo prolongados en el medio marino una vez que se pierden en el agua, por ejemplo elementos como el mercurio y otros metales pesados y algunos compuestos orgánicos, como los pesticidas, que no se descomponen fácilmente. La absorción de estas sustancias por parte de organismos vivos puede provocar su "bioacumulación". Bioacumulación hace referencia a la acumulación de material persistente dentro de un organismo y, en particular, dentro de ciertos tejidos, a un ritmo que supera la velocidad de eliminación por descomposición metabólica o excreción. Los organismos marinos sésiles que filtran agua de mar para alimentarse, como por ejemplo los moluscos bivalvos (ostras y mejillones), son particularmente vulnerables a la exposición. La "biomagnificación", es decir, el aumento secuencial en la concentración de una sustancia bioacumulativa de la presa al depredador, también puede producirse a través de la cadena alimentaria. Como consecuencia de ello, las mayores concentraciones de la sustancia se encuentran normalmente dentro de los tejidos de los depredadores superiores, por ejemplo, aumentando desde cantidades ínfimas en plancton hasta concentraciones más altas en pescado y, finalmente, acumulándose cargas corporales importantes en humanos.

<sup>10</sup> [www.epa.gov/opptintr/aegl](http://www.epa.gov/opptintr/aegl)

<sup>11</sup> [www.hss.doe.gov](http://www.hss.doe.gov)

<sup>12</sup> [www.ilo.org/icsc](http://www.ilo.org/icsc)

<sup>13</sup> Gestión asistida por ordenador de operaciones de emergencia

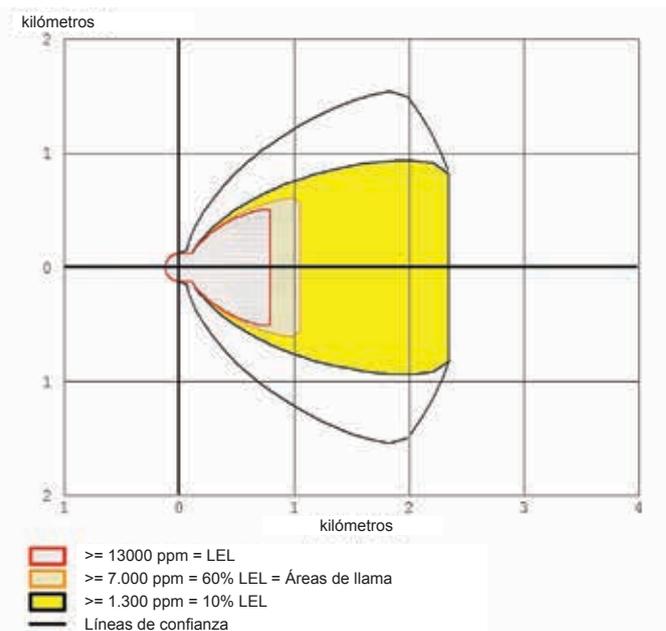
## Planificación de una respuesta a un siniestro con SNP

Las posibles consecuencias para la salud humana de un derrame relacionado con SNP son tales que resulta fundamental contar con una organización y planificación eficaces. La función de cada miembro del equipo de respuesta debe definirse claramente, y también deben identificarse sus responsabilidades y capacidades. Los requisitos de formación y ejercicios prácticos deben detallarse en un plan de contingencia y deben aplicarse para dotar al personal de respuesta de las habilidades necesarias para realizar su trabajo de forma segura.

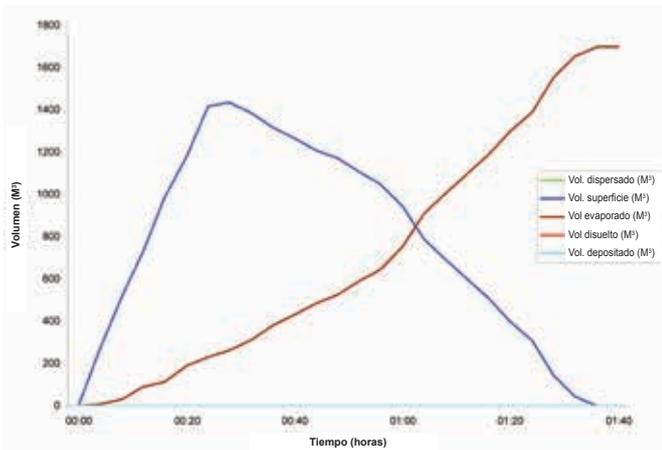
### Evaluación de riesgos

Cuando se responde a accidentes relacionados con SNP, los primeros pasos que deben adoptarse son prácticamente similares, independientemente de las sustancias del caso, de las circunstancias del siniestro y de su ubicación. Resulta fundamental no responder in situ a un siniestro con productos químicos hasta que se haya realizado una evaluación minuciosa de la situación, centrada especialmente en los aspectos relacionados con la seguridad y la salud. Es importante identificar todos los productos químicos del caso, advertir su modo de transporte (a granel, en contenedor, mercancías paletizadas, bidones, etc.) y las características del derrame o descarga (por ejemplo, escape de productos químicos, pérdida de mercancías peligrosas envasadas).

El riesgo de incendio y explosión, así como los riesgos para la salud y los riesgos para las áreas adyacentes, deben evaluarse con rapidez y, para ese propósito, puede resultar útil la información obtenida de diversas fuentes, como por ejemplo las Directrices de respuestas a emergencias (ERG, en sus siglas en inglés) del Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG, en sus siglas en inglés), las MSDS individuales, las Fichas internacionales de seguridad química (FISQ)<sup>12</sup> y las bases de datos de información química, por ejemplo la gestión asistida por ordenador de operaciones de emergencia (Computer-Aided Management of Emergency Operations - CAMEO)<sup>13</sup> de la Administración de Océanos y Atmósfera de Estados Unidos (NOAA, en sus siglas en inglés).



▲ **Figura 12: ejemplo de la salida del modelo ALOHA (NOAA) que muestra diversos niveles de riesgo (explosividad) para ciclohexano en relación con la distancia desde la fuente. ALOHA = Area Locations of Hazardous Atmospheres (Localizaciones de áreas de atmósferas peligrosas).**



◀ **Figura 13:** ejemplo de modelación del comportamiento de un volumen finito de ciclohexano (C6H12) con el transcurso del tiempo, mientras se libera desde un naufragio hundido. El gráfico indica que el ciclohexano ascendería hasta la superficie del agua y se evaporaría constantemente a la atmósfera. La superficie máxima de la mancha se alcanzaría 20 horas después de la liberación inicial. Ya que el ciclohexano es inmisible y presenta una densidad de 0,78 g/cm<sup>3</sup>, los volúmenes disueltos y depositados (esto es, hundidos hasta el lecho marino), así como el volumen dispersado, son despreciables o nulos (fuente: Chemsys – National Chemical Emergency Centre (NCEC), <http://the-ncec.com>).

Puede realizarse una primera estimación relativamente sencilla del destino y comportamiento probables de los productos químicos basándose en las propiedades físicas de los productos químicos y las condiciones medioambientales (como por ejemplo la temperatura del aire y del agua, el movimiento del agua y la intensidad y dirección predominantes del viento). La identificación de estos riesgos y el establecimiento de cualquier riesgo de fuga adicional son primordiales para concluir una evaluación de riesgos inicial y considerar la estrategia de respuesta.

## Elaboración de modelos

Existen diversos modelos informáticos, algunos de los cuales proporcionan predicciones sobre la posible propagación de productos químicos (Figuras 12 y 13) en dos dimensiones, por ejemplo, sobre la superficie del agua; mientras que otros tienen en cuenta la dispersión en tres dimensiones en el aire y en la columna de agua. No obstante, los modelos informáticos

presentan diversas limitaciones, como por ejemplo las suposiciones generales realizadas para desarrollar los algoritmos y el código fuente del modelo, y muy pocos han sido validados con respecto a los derrames reales. Además, cuando se revisa la salida del modelo también es necesario considerar factores como la fiabilidad de los datos de entrada y el nivel de formación y habilidades de interpretación del operario. No obstante, proporcionan una herramienta útil para la planificación de contingencias y, de forma limitada, en operaciones de respuesta, especialmente cuando se combinan con monitorización en tiempo real y, en especial, cuando la SNP es incolora.

## Monitorización

La monitorización es una parte fundamental de la respuesta a un derrame químico y, para gases y sustancias que se evaporan con rapidez, puede representar la única forma de respuesta. Durante la fase de respuesta pueden realizarse dos tipos de monitorización: monitorización de la dispersión

Detector	Método de detección	Ventajas	Desventajas
<b>Papel de detección química</b>	Cambia de color cuando se expone a una SNP, según el tipo de SNP.	Uno de los métodos menos sofisticados y más económicos.	Carece de especificidad y es propenso a falsos positivos en las lecturas.
<b>Tubos colorimétricos, por ejemplo tubos de Draeger y RAE</b>	Se introduce una muestra de gas en un tubo específico para realizar una lectura de la concentración. Existen 160 tubos de reactivos específicos de la sustancia para identificar diferentes SNP.	Alternativa sencilla y económica para detectar e identificar una SNP.	Debe emplearse un tubo diferente para cada SNP. Se requiere conocer las SNP que probablemente estén presentes para evitar falsos negativos. Un solo uso.
<b>Detector de fotoionización (PID, en sus siglas en inglés)</b>	Se ioniza el gas sospechoso mediante luz ultravioleta con rangos específicos de moléculas de ionización UV en ciertas SNP. Un detector de iones registra las moléculas ionizadas.	Altamente sensible. Relativamente económico. Puede proporcionar lecturas instantáneas y funciona de forma continua.	El usuario debe conocer con gran certeza la identidad del gas o vapor que desea detectar.
<b>Espectroscopia de movilidad iónica (IMS, en sus siglas en inglés)</b>	Se ioniza una muestra gaseosa mediante emisores radioactivos y se compara con una muestra de aire limpio. La detección de una SNP, identificada de acuerdo con parámetros predeterminados, provoca que se emita una alarma acústica.	Es menos sensible a contaminantes porque depende de una muestra de aire limpio para calibración. Lecturas instantáneas. Se ofrecen numerosas variantes comerciales.	Relativamente económico. Limitado generalmente a uso militar o industrial.
<b>Espectroscopia por infrarrojos</b>	Se utiliza luz IR intermedia (frecuencia de 4.000 cm <sup>-1</sup> a 200 cm <sup>-1</sup> ) para excitar moléculas gaseosas. Cada gas presenta una característica infrarroja específica. La detección provoca la emisión de una alarma acústica.	Técnica muy selectiva. Existen diversos tipos de detectores disponibles: dispositivos portátiles o autónomos remotos.	Coste relativamente alto.

▲ **Tabla 6:** ventajas e inconvenientes de diversos tipos de detectores de SNP disponibles para monitorización en tiempo real.

en el aire y monitorización de la propagación de productos químicos en agua (en la superficie, en la columna de agua o sobre el lecho marino). La monitorización se realiza para cumplir diversos fines:

- identificar los productos químicos específicos derramados,
- detectar la presencia o ausencia de sustancias,
- medir la concentración de sustancias,
- establecer un perímetro de seguridad y
- validar modelos.

## Monitorización del aire

La monitorización en tiempo real puede servir para evaluar peligros tóxicos, de incendio y de explosión, para ayudar a identificar áreas de trabajo seguras o posibles zonas de evacuación y para ayudar a tomar decisiones sobre el nivel apropiado de equipos de protección individual (EPI). Por ejemplo, la monitorización mediante medidores de oxígeno con células químicas puede servir para comprobar entornos carentes de oxígeno y, si se detectara que la atmósfera contiene menos de un 19,5% de oxígeno, deberían emplearse equipos de respiración autónomos.

Se ofrecen equipos con diversos niveles de sofisticación para monitorizar SNP (Tabla 6). Uno de los factores clave que se debe considerar cuando se seleccionan equipos, es la rapidez de obtención de resultados ya que la información, para que sea de utilidad, debe proporcionarse en "tiempo real". Otra consideración importante adicional es si el equipo de monitorización es autónomo y puede desplegarse de forma remota. Si requiere intervención humana, por ejemplo un dispositivo portátil (Figura 14), es evidente que los operarios deben contar con la protección apropiada suministrada por los equipos de protección individual adecuados. También es necesario reconocer que todos los equipos requerirán que se imparta formación sobre su uso y que algunos diseños deberán calibrarse.

## Monitorización del agua

Algunas técnicas de análisis podrían resultar útiles para determinar las concentraciones de SNP en la columna de agua. Por ejemplo, ciertas sustancias orgánicas pueden monitorizarse mediante el uso de cromatografía de gases (CG) portátil, cromatografía de gases vinculada con espectrometría de masas (CGEM portátil), métodos de valoración o espectroscopia de luz ultravioleta (UV) o infrarrojos (IR). Existen sondas basadas en sensores que miden parámetros inorgánicos, como por ejemplo la demanda biológica de oxígeno (DBO), turbiedad, conductividad, pH, iones de amonio, bromuro, cloro y cobre, mientras que métodos



▲ Figura 14: demostración de un monitor portátil de gas fosfínico fuera de un área peligrosa.

sencillos, como por ejemplo papeles indicadores, pueden servir para indicar acidez y alcalinidad. En otros casos, impactos biológicos tales como blanqueado o mortalidad de organismos marinos, podrían permitir que se realice el seguimiento de la dispersión de un contaminante. Los productos químicos no flotantes son más difíciles de monitorizar, aunque el uso de sonar, videocámaras submarinas instaladas en un vehículo teledirigido (ROV) o una matriz de adsorbentes con lastres, podrían permitir la identificación de la propagación del contaminante sobre el lecho marino.

## Equipos de protección individual (EPI)

Una vez realizada una evaluación inicial de riesgos, un equipo de evaluación suele movilizarse hasta las proximidades del naufragio para evaluar la situación y determinar la posibilidad de tomar alguna medida de mitigación en el buque. Evidentemente, resulta fundamental que el equipo de evaluación y el personal de respuesta utilicen los EPI adecuados.

EPI hace referencia a las prendas y equipos de respiración necesarios para proteger a una persona de las propiedades peligrosas de los productos químicos. Su selección debe corresponderse con los peligros particulares asociados con los productos químicos derramados. Lamentablemente, no se puede utilizar ningún material individual que sirva para protegerse frente a todos los productos químicos, ya que la capacidad del material para actuar como barrera depende del tiempo de exposición al producto químico, de la concentración del mismo y de la temperatura externa. Si no se ha identificado el producto químico derramado, el personal de respuesta debe dar por supuesto el peor de los casos hipotéticos y utilizar el nivel más elevado de protección. Cuando se disponga de más información, podrá tomarse una decisión fundamentada con respecto a la reducción del nivel de EPI. Además de la resistencia del material de los EPI a los productos químicos derramados, se considerarán otros factores para elegir los EPI apropiados, como por ejemplo el nivel de protección respiratoria requerido, la durabilidad del material de los EPI y el efecto que los EPI podrían presentar sobre el estrés térmico y la capacidad del personal de respuesta para desempeñar tareas de trabajo específicas.

Diversos organismos gubernamentales, incluida la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional de Estados Unidos (OSHA<sup>14</sup>, en su siglas en inglés), han establecido cuatro categorías de EPI en función del nivel de protección proporcionado (Niveles A, B, C y D). La mayoría de las organizaciones de respuesta reconocen estos cuatro niveles. El nivel A ofrece el nivel más alto de protección (Figura 15), mientras que el nivel D de protección puede considerarse como un uniforme de trabajo que solo debe llevarse puesto cuando se conozca con certeza que el personal no estará expuesto a niveles perjudiciales de SNP. La Tabla 7 muestra los elementos que integran los EPI para cada uno de los niveles, de A a D, aunque también podrían incluirse elementos adicionales, como por ejemplo cascos rígidos y gafas de seguridad dentro de cada nivel. Es importante que el personal de respuesta esté completamente adiestrado en el uso de los EPI para minimizar el riesgo de sufrir daños por su propio uso o por el uso en circunstancias inadecuadas.

## Opciones de respuesta a derrames de SNP

La respuesta a un derrame debe ser proporcional a la amenaza planteada por el volumen y los riesgos que presentan los productos químicos específicos derramados en el mar. El volumen y la contención de un producto afectará

<sup>14</sup> [www.osha.gov](http://www.osha.gov)

Equipos de protección individual (EPI)	Nivel A	Nivel B	Nivel C	Nivel D
Equipos de respiración autónomos (SCBA, en sus siglas en inglés)	x	x		
Aparato de respiración artificial con máscara completa o media máscara			x	
Traje de protección química totalmente hermético (TECPS, en sus siglas en inglés)	x			
Ropa protectora resistente a productos químicos, con capucha		x	x	
Guantes externos resistentes a productos químicos	x	x	x	
Guantes internos resistentes a productos químicos	x	x	x	
Botas resistentes a productos químicos	x	x		
Traje de protección desechable	x			
Monos de trabajo				x

▲ *Tabla 7: elementos de equipos requeridos para cada nivel de protección de acuerdo con la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional de Estados Unidos.*

la respuesta; por ejemplo, la liberación de un depósito completo de ácido desde un buque cisterna químico podría presentar un efecto mucho más rápido y perjudicial que un contenedor dañado, en el que se rompa un número reducido de botellas de ácido. Además, algunos productos químicos, como aluminio y cianuros, se vuelven mucho más tóxicos en condiciones ácidas (pH bajo) y debe prestarse atención a las reacciones secundarias con otras sustancias con las que puedan entrar en contacto y a los riesgos que podrían derivarse. En cada caso, el personal de respuesta debe utilizar los EPI apropiados y los equipos de respuesta y monitorización deben diseñarse correctamente para acceder a atmósferas peligrosas, por ejemplo con equipos de filtración de aire adecuados o motores a prueba de chispas.

A continuación, se incluye un breve resumen de las posibles técnicas de respuesta para los diferentes grupos de productos químicos.

## Gases y evaporadores

La liberación de un SNP gaseoso o líquido que se evapora puede generar nubes de vapor que podrían resultar tóxicas o formar una mezcla explosiva con el aire. Esto puede tener consecuencias para la seguridad y salud de la tripulación del naufragio, personal de respuesta y centros de población cercanos. Cuando se producen siniestros de este tipo cerca de centros de población, el cuerpo de bomberos local suele tener la función de mando en la respuesta.



▲ *Figura 15: personal de respuesta equipado con equipos de protección individual de Nivel A.*

Para planificar una respuesta, es importante conocer cuál será el comportamiento del gas o vapor y la posible trayectoria de la nube peligrosa. La modelización informática de los contaminantes en el aire puede ayudar a prever el movimiento, la propagación y el destino del penacho cuando se disperse. A continuación, pueden establecerse zonas de seguridad e informar al público según corresponda.

Podría plantearse la opción de maniobrar el naufragio para alejar los vapores tóxicos, corrosivos o inflamables de las áreas pobladas. Si esta alternativa no fuera viable, las autoridades podrían verse obligadas a recomendar al público que permanezca en espacios interiores y cierre puertas y ventanas o, en casos graves, emitir una orden de evacuación de las ubicaciones amenazadas. La evacuación conlleva riesgos asociados, por ejemplo riesgo de pánico, especialmente en grandes centros de población, que deben ponderarse con respecto a las posibles consecuencias si la población permanece en el lugar.

Las técnicas de respuesta, como por ejemplo disolver una nube de vapor, o tratar de detenerla o desviarla con agua rociada o espuma, son medidas que el personal de respuesta puede tener a su disposición aunque, no obstante, deberán considerarse las posibles reacciones con el agua y ponderarse cualquier consecuencia con respecto a los riesgos. También deben considerarse las consecuencias que ocasionará la generación de grandes volúmenes de agua contaminada y la estabilidad del naufragio en caso de inundación. Estos métodos pueden aplicarse con cualquier



▲ *Figura 16: ejercicio que simula una respuesta a un derrame de SNP con buques contra incendios (fuente de la imagen desconocida).*



▲ *Figura 17: escape de un penacho de fosfato natural de un naufragio.*

gas soluble en agua, como por ejemplo amoníaco y anhídrido sulfuroso. El riesgo de incendio y explosión de los gases no solubles en agua puede reducirse mediante el enfriamiento de las superficies calientes y la supresión de chispas y llamas (*Figura 16*) con agua rociada y espuma.

En un entorno abierto, el vapor tóxico se dispersará normalmente por el efecto del movimiento natural del aire y las turbulencias. En ocasiones, la única medida de respuesta viable será monitorizar la nube y su dispersión.

## Disolventes

Una parte considerable de los productos químicos transportados por mar son sustancias solubles. Un producto químico en disolución que se derrama en el agua generará un penacho que aumentará de tamaño y disminuirá de concentración a medida que se aleje de la fuente (*Figura 17*). Muchos disolventes no son visibles y se dispersan con rapidez, lo que dificulta la monitorización de las concentraciones en la columna de agua. No obstante, los modelos informáticos pueden proporcionar indicaciones útiles sobre la distribución y destino probables de la sustancia y predecir posibles riesgos para el medio marino y otros recursos, como por ejemplo pesquerías, tomas de agua y áreas de recreo. Cuando se prevean concentraciones elevadas, la monitorización será fundamental para verificar las previsiones generadas con medios informáticos.

La capacidad de contener y recolectar productos químicos disueltos es extremadamente limitada. La provisión de medios para acelerar los procesos naturales de dispersión y dilución podría ser la única alternativa de respuesta a estos productos químicos. En teoría, podría resultar factible neutralizar, flocular, oxidar o reducir algunos penachos neutralización y los subproductos químicos disueltos mediante la aplicación de otros productos químicos. En tierra y en masas de agua confinadas, y con la aprobación de las autoridades pertinentes, los productos neutralizadores pueden resultar herramientas útiles si se aplican correctamente. Los productos que podrían emplearse para el tratamiento de productos químicos en agua, como por ejemplo productos de floculación, productos gelificantes, carbón activo, productos complejantes (productos químicos que atrapan contaminantes dentro de su estructura molecular) e intercambiadores de iones, deben presentar los siguientes atributos:

- no deben ser tóxicos
- el proceso de neutralización y los subproductos generados no deben ser tóxicos
- deben presentar una demanda biológica de oxígeno (DBO) baja
- su uso debe resultar seguro para el personal capacitado

- deben ser fáciles de manejar y almacenar, y
- deben estar habitualmente disponibles a un coste razonable.

No obstante, en mar abierto, el lapso de tiempo entre un derrame y la respuesta, junto con el enorme volumen de agua afectado, provocan inevitablemente que el tratamiento químico pueda resultar inviable o no genere beneficios y, normalmente, no sería recomendable.

## Flotantes

Los productos químicos flotantes pueden ser líquidos de viscosidad baja o alta, o pueden ser incluso sólidos. Si el producto químico derramado presenta una presión de vapor alta, podría evaporarse rápidamente y formar una nube de vapor sobre la mancha. Numerosos productos químicos flotantes se propagarán por la superficie del agua para formar una mancha, de forma similar a los hidrocarburos. No obstante, a diferencia de los hidrocarburos, puede que no sean visibles en el agua. Para derrames relacionados con productos químicos flotantes relativamente persistentes, en ciertos casos puede realizarse la detección y monitorización de materiales flotantes con tecnologías, como por ejemplo reconocimientos aéreos (con sistemas SLAR, IR y UV) y posiblemente con imágenes de satélite, aunque existe una experiencia práctica limitada en el uso de estas técnicas para derrames de SNP.

Si resultara seguro, podría plantearse el despliegue de barreras para contener y controlar el movimiento de las sustancias sobre la superficie del agua. También podrían emplearse skimmers y otros equipos de respuesta a derrames para recolectar el material de la superficie del agua. No obstante, antes del uso es importante verificar que el producto químico derramado no reaccionará desfavorablemente con los equipos ni explotará si se produce una chispa. La contención y recolección pueden resultar desaconsejables cuando se aborden SNP muy tóxicos o inflamables, ya que la contención podría provocar mayores concentraciones que creen entornos muy peligrosos para el personal de respuesta y la población local. En tales casos, suele resultar preferible permitir la disipación natural para que las concentraciones se reduzcan hasta niveles inferiores a los perjudiciales. El personal de respuesta a emergencias puede aplicar espumas contra incendios o extintoras cuando exista riesgo de incendio y explosión, y la legislación lo permita.

En determinadas circunstancias, puede realizarse el despliegue de materiales adsorbentes para recolectar y concentrar un derrame de SNP. Debe establecerse una distinción importante entre adsorbentes, que incorporan el producto químico derramado en la estructura del material, y adsorbentes, en los que el producto químico recubre la superficie del material adsorbente. Los adsorbentes encapsulan un producto químico derramado, lo que impide su liberación y reduce su volatilidad. Por el contrario, el uso de adsorbentes puede aumentar el área superficial del producto químico derramado y provocar el aumento correspondiente de la velocidad de liberación de vapor. Además, un adsorbente puede mostrar una capacidad de retención deficiente del producto químico recolectado cuando se retire el material del agua. Aunque se utilizan de forma intensiva en derrames en tierra, el despliegue y recolección de adsorbentes en el medio marino resulta menos eficaz. El uso de barreras o esterillas adsorbentes ofrece una mejor alternativa a los polvos o fibras sueltas, ya que la recolección de estos últimos suele resultar inviable. Las principales desventajas de los productos adsorbentes consisten en que pueden tener un coste elevado y producen una mayor cantidad de material contaminado, que resulta voluminoso de transportar y debe eliminarse de acuerdo con las normativas locales.

En algunos casos, una posible alternativa puede ser realizar la quema de un producto químico flotante, aunque debe considerarse debidamente la posibilidad de que se formen gases tóxicos que pongan en cuestión la seguridad y salud del personal de respuesta, así como la propagación descontrolada de fuego y humo.

## No flotantes

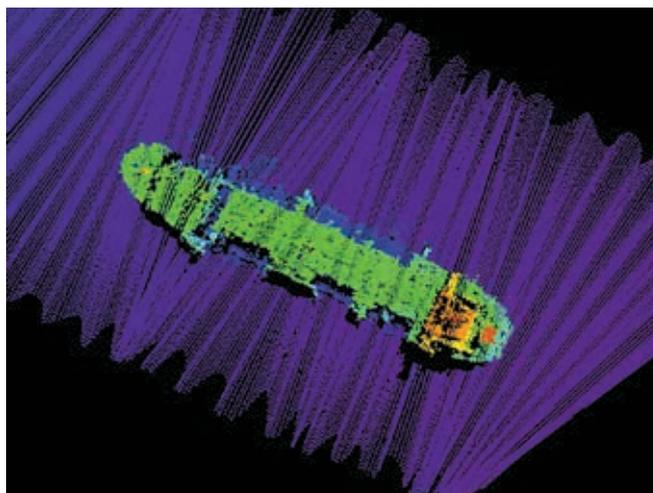
Los productos químicos que se hunden pueden contaminar el lecho marino y, en ocasiones, podrían persistir en el sedimento. Por lo tanto, la respuesta a productos químicos hundidos puede requerir la recolección del producto químico y cualquier sedimento que presente contaminación intensa. En aguas poco profundas, dragas mecánicas y dispositivos de bombeo/aspiración pueden servir para recolectar sustancias hundidas. También deberá prestarse la debida atención al tratamiento y eliminación de los productos químicos y sedimentos contaminados recolectados.

## Naufragios hundidos

La carga restante de SNP dentro de un naufragio hundido (Figura 18) probablemente despierte interés en relación con el riesgo potencial que puede provocar su futura liberación, bien de forma repentina y catastrófica o continua durante un periodo de tiempo prolongado. En estos casos, debe realizarse una evaluación de riesgos para determinar cuál de los tres métodos principales siguientes, considerados habitualmente por el personal de respuesta, debe elegirse:

- **Liberación pasiva** a través de conductos de ventilación y/o después de la corrosión a largo plazo del casco del buque. Este método se adopta cuando la evaluación de riesgos muestra que resulta improbable que una liberación provoque daños importantes para el medio ambiente o cuando no existe ninguna otra alternativa viable.

- **Liberación controlada** de la carga. Este método se considera normalmente para sustancias, como por ejemplo disolventes, que pueden provocar ciertos impactos localizados, pero que probablemente no provoquen daños generalizados si se liberan de una forma relativamente lenta en la columna de agua, aunque una liberación súbita podría suscitar preocupación.
- **La retirada de la carga** se considera para sustancias que generan los niveles de preocupación más altos en relación con el daño potencial para la salud humana, el medio ambiente y las actividades humanas en áreas próximas.



▲ Figura 18: imágenes de sonar del naufragio de un buque cisterna químico hundido (imagen gentileza de NOAA).

## Puntos clave

- Si un producto químico fuera inflamable, explosivo, oxidante, corrosivo, irritante o representara un peligro para el medio ambiente, es probable que se considere sustancia nociva y potencialmente peligrosa (SNP).
- Las propiedades físicas de las SNP rigen su comportamiento cuando se derraman en el mar y determinan si una sustancia se comporta como un gas, se evapora, se disuelve o se hunde.
- Los efectos de una SNP sobre el medio marino dependen de la toxicidad, exposición y sensibilidad de los organismos marinos al producto químico del caso.
- Es importante prever la posible reacción de ciertas SNP con el agua, cuando se exponen al aire o, si se derraman varios productos químicos, entre sí para generar calor o productos tóxicos.
- El GESAMP ha evaluado los peligros para la salud humana y el medio marino, y los límites de exposición para los humanos se indican como IPVS, ERPG, AEGL y TEEL para ayudar a realizar una respuesta segura a siniestros con SNP. Las Hojas informativas sobre la seguridad aportan datos pertinentes.
- Antes de responder a un siniestro con SNP, resulta fundamental realizar una evaluación de riesgos que se base en la elaboración de modelos y la monitorización de los niveles de contaminación de SNP.
- Las opciones de respuesta dependen principalmente de que la sustancia sea gaseosa, evaporable, disolvente o no flotante. En el caso de los gases y sustancias que se evaporan o se disuelven rápidamente, la monitorización puede representar la única alternativa de respuesta, mientras que puede plantearse la recolección para algunas sustancias flotantes y no flotantes.
- Se han reconocido ampliamente cuatro niveles de EPI: A, B, C y D; el nivel A ofrece el nivel más alto de protección. Deben seleccionarse los EPI apropiados para el peligro aunque, cuando se requieran niveles altos de protección, resulta fundamental considerar las condiciones medioambientales al establecer la duración de los periodos de trabajo.

# 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)