

Bases para una valoración de riesgo ambiental del derrame del Prestige

A. de la Torre
Dr. en Ciencias Biológicas

M. Carballo
Dr. en Ciencias Biológicas

M. J. Muñoz
Dr. en Ciencias Biológicas

CISA-INIA

Esta valoración implica conocer los efectos o alteraciones, a corto, medio y largo plazo, que va a ocasionar ese vertido, sobre los organismos vivos y sus hábitats.

Al valorar el riesgo ambiental del derrame, tratamos de valorar el grado de implicación que tiene una agresión como ésta, sobre los seres vivos que conforman el medio donde el derrame se ha producido. Además, el resultado debería de poder utilizarse como mecanismo de gestión ambiental. Usando este procedimiento intentamos, mediante un planteamiento científico, ofrecer una información técnica que puede utilizarse como punto de partida para actuaciones diversas que tengan como objetivo paliar los efectos de la agresión.

This assessment implies to know the effects of the oil spill on the organisms and their habitat in short to long periods. When assessing the environmental risk of the spill, we try to evaluate the degree of implication of an aggression like this on the alive beings that conform the environment where the spill took place. Likewise, the result should be able to be used as a mechanism of environmental management. Using this procedure we attempt, by means of a scientific position, to offer technical information that can be used as a starting point for diverse performances which objective is to palliate the effects of the aggression.

Consideraciones principales

El riesgo medioambiental implica la consideración de tres factores que condicionan que exista riesgo y que son:

1. las características del agente que se introduce en el medioambiente,
2. su capacidad por alcanzar un receptor biológico y
3. el daño que sea capaz de ejercer en él.

Traducido al caso que nos ocupa, la consideración de estos tres factores supone, que para poder valorar el riesgo de un vertido que se ha producido en el mar, deberemos conocer: La toxicidad de ese vertido, la migración que experimenta según las características del medio, la exposición a la que van a verse sometidos los organismos y, como consecuencia, el efecto que produce en cada uno de ellos.

El riesgo medioambiental asume que no puede producirse daño en el medioambiente si no existe algún agente con capacidad de producirlo, si dicho agente no tiene posibilidad de exponerse a un receptor biológico y, por último, si considerando que existe dicha exposición, ésta no se traduce en un efecto.

En nuestro caso, y siguiendo este esquema básico, si queremos conocer el riesgo ambiental del derrame de petróleo en el medio donde se ha vertido, tenemos que conocer:



Labores de limpieza en Cabo Touriñán, dificultadas por el fuerte viento, las condiciones del mar y la dispersión del fuel.

- La composición del vertido, para lo cual deberá hacerse una caracterización química de la mezcla.
- Las características del vertido, fundamentalmente la toxicidad del vertido, para lo cual se aconseja, en principio, realizar una valoración mediante una búsqueda e interpretación de información toxicológica procedente de los bancos de datos actualmente disponibles.
- La migración o transporte que experimentan los componentes del petróleo, de acuerdo no sólo a sus propiedades físico-químicas sino también a las condiciones del medio. Para ello, buscaremos entre las propiedades físico-químicas de los compuestos, aquellas que van a condicionar su biodisponibilidad como son: el coeficiente de solubilidad, el de lipofilia, su peso molecular, etc. Necesitaremos saber cuales son las condiciones del medio que van a aumentar o disminuir esa biodisponibilidad como p.e.: presencia de materia particulada, en suspensión o sedimentable, la intensidad lumínica, la temperatura en la columna de agua, etc.
- El daño que va a producir la mezcla o sus componentes, en los niveles de organización del ecosistema. Esto se debe de traducir en la valoración de los efectos sobre los individuos, las poblaciones, comunidades, sus relaciones y sobre la estructura y función del ecosistema.

A la vista de la información que se necesita para valorar adecuadamente el riesgo de este derrame, está claro que este trabajo puede llegar a ser tan exhaustivo que requiera más tiempo del que se dispone para una toma de decisiones sobre aspectos tan importantes como por ejemplo: conocer la gravedad del problema, conocer las impli-



Aguíño
Un grupo de mariscadores de Aguíño recogen fuel en la zona de Sagres.

caciones sanitario-ambientales, las implicaciones ecológicas y el futuro de los recursos pesqueros, entre otros. Por tanto, un abordaje coherente con la gravedad de una situación como ésta, que requiere tomar conciencia cuanto antes, debe de considerar un abordaje que, teniendo en cuenta todo lo que hemos comentado, seleccione aspectos que puedan suministrar una información del daño a corto plazo, medio plazo y largo plazo. Veamos que es lo que se debería hacer inicialmente, asumiendo desde el principio los factores que condicionan cualquier situación de riesgo. Estos son:

1. Estado del medio ambiente.
2. Receptores biológicos potenciales.
3. Características del vertido.
4. Dinámica del vertido: Comportamiento y transporte .
5. Vías de exposición de los receptores a los agentes tóxicos.
6. Mecanismos de toxicidad de los agentes tóxicos en el receptor.
7. Parámetros de expresión del efecto adverso en el receptor.

Resaltamos a continuación algunos de estos factores:

Sobre las características del vertido

La caracterización química de la muestra obtenida mediante homogenización de los tanques del buque y procesada por el **CSIC (Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales de Barcelona)**, puede servir de punto de partida para conocer los componentes del fuel. A este respecto destacamos que los porcentajes de aparición de compuestos son los siguientes:

- Hidrocarburos saturados: 19 %
- Hidrocarburos aromáticos: 46,4 %
- Resinas y asfaltenos: 34,7 %

De la caracterización analítica del vertido del **Prestige**, se observa que la fracción de hidrocarburos aromáticos es la fracción mayoritaria. En este grupo destacan los denominados hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), muchos de los cuales son relevantes desde el punto de vista ambiental ya que sus características de toxicidad, persistencia y bioacumulación, hacen que representen un riesgo biológico para los organismos que puedan verse expuestos.

Este grupo comprende una gran cantidad de compuestos cuya molécula está constituida por anillos de benceno y su variabilidad estructural se refiere al número de anillos y a su disposición. Desde el punto de vista ecotoxicológico parece ser que los que resultan relevantes son aquellos que presentan entre dos a cinco anillos, estando incluidos 16 de ellos en la Lista de Compuestos Prioritarios de la **Agencia de Protección Ambiental Americana (US.EPA, 1984)**, de la **Organización Mundial de la Salud (WHO)** y de la **Unión Europea** (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 2001), precisamente por sus características de peligrosidad.

Otras características generales de estos compuestos se refieren a su baja solubilidad en agua y presión de vapor, y a su fuerte afinidad para adsorberse a las superficies. Sin embargo, existen diferencias entre unos y otros compuestos, si bien se puede observar ciertas tendencias; por ejemplo:

- A mayor peso molecular del compuesto, menor es la solubilidad en agua, o viceversa. Es decir, compuestos como el naftaleno o acenafteno, con bajos p.m., bien podrían encontrarse en agua en concentraciones tóxicas. Moléculas con estructuras lineales tales como el naftaleno y antraceno, son menos solubles que los que disponen de estructuras angulares como el criseno o fenantreno.
- Las moléculas aromáticas con sustitución alquil, disponen de baja solubilidad en agua.

Dinámica de los compuestos a partir del derrame

Cuando se produce un derrame, los PAHs del petróleo tendrán una dinámica variable. Aquellos que dispongan de un Coeficiente de Henry por encima de 1×10^{-4} (p.e. naftaleno, pireno) tendrán más tendencia a volatilizarse, y permanecerán, por tanto, menos tiempo en la superficie. Aquellos que sean más sensibles a la fotólisis como el fenantreno y fluoranteno, se degradarán más rápidamente si se encuentran en la superficie por algún tiempo. Los PAHs con mayor solubilidad se incorporarán a la columna de agua y, podrán ser absorbidos por los organismos del medio dependiendo, entre otros factores, de su p.m., su tamaño molecular, etc. p.e. el naftaleno con un p.m. de 128,19 gramos presenta una solubilidad de 31 mg/L.

Sin embargo, como hemos dicho, estos compuestos presentan, en general, una gran capacidad para adsorberse a las superficies de la materia particu-

PERSISTENCIA

- La persistencia es el factor que define la velocidad de degradación de un compuesto en el medio y por tanto la probabilidad que exista mayor o menor exposición a los seres vivos y que produzcan más o menos daño.
- La degradación se puede producir por factores abióticos (hidrólisis, fotólisis, etc.) o bióticos (degradación microbiana en aerobiosis y/o anaerobiosis).
- La biodegradación aerobia descrita para varios compuestos requiere la aclimatación previa de los microorganismos del medio a estos compuestos. Ante un vertido accidental esta situación no ocurre de forma inmediata, por lo que no se ve favorecida la degradación de estos compuestos.

BIOACUMULACIÓN

- Se produce la acumulación de un compuesto en los tejidos de un organismo cuando la ingestión es más rápida que la suma de degradación y de eliminación. La facilidad de acumulación de una sustancia en un organismo viene definida por el potencial de bioconcentración (BCF).
- Las características estructurales importantes que presentan estos compuestos y que determinan la bioacumulación son:
 - * Estructuras aromáticas sustituidas en los dobles enlaces
 - * Lipofilia mediana a alta ($2,7 < \log P_{ow} < 6$)
 - * Solubilidad en agua baja ($< 1 \text{ mg/l}$)
 - * Peso molecular de mediano a alto (de 100 a 500)
 - * Diámetro de la molécula no demasiado alto (Limite 9,5 Å)
 - * Baja degradabilidad
- El BCF solo considera la exposición vía agua y se basa en ensayos de laboratorio. Expresa la relación que se establece entre la concentración en tejido y la encontrada en agua. Se expresa en unidades de mL por gramo de peso corporal.
- El factor de bioconcentración indicará cuantas veces una sustancia se acumula en un organismo vivo, respecto al medio en el que se encuentra. Cuando el valor de BCF es de 102 se considera de importancia. El factor de bioconcentración para los PAHs considerados, se ha descrito entre 103 y 104, es decir, presentan una capacidad media alta de bioacumularse. Los compuestos con mayor BCF, son los que presentan mayor lipofilia y menor hidrosolubilidad.
- Adicionalmente a esta capacidad de bioacumularse hay que considerar que ciertos PAHs se pueden metabolizar, aunque no todas las especies presentan esta capacidad. Esta se ha descrito en algunos invertebrados, como ciertos poliquetos, y en algunos vertebrados, como peces y aves. Los sistemas enzimáticos hepáticos, sistema de oxigenasas de función mixta, citocromos P450, son las enzimas que juegan un papel decisivo en la oxidación de éstas y otras sustancias xenobióticas. La eficacia de la actuación de estos enzimas es mayor para los compuestos de cadena larga.

BIOMAGNIFICACIÓN

- Este término describe la amplificación que toma un contaminante por vía alimenticia respecto a su presa y representa la transferencia de contaminante de un nivel a otro, en la cadena trófica.

Tabla 1. Algunas características relevantes que influyen en la dinámica de los compuestos en el medio.

lada. Coeficientes Koc mayores de 104 están presentes en todos los PAHs. Así pues, la posibilidad de que se incorporen a la materia orgánica, que es alimento básico de los organismos que sustentan el medio marino, y con ello que pasen a formar parte de la red alimenticia, será muy grande. Además, habrá que contar con que su factor de bioconcentración (BCF) es también elevado. Si nos fijamos en los BCFs de los PAHs, por regla general superiores a 100, habrá que considerar que el potencial de bioacumularse en organismos vivos es muy alto.

A largo plazo, estos compuestos podrán acumularse progresivamente en la cadena trófica. Así, los predadores son los que presentarán mayor concentración. Por ello no es raro encontrar determinados PAHs en la

grasa (*blubber*) de mamíferos marinos. Así, se han detectado mayores niveles en animales cuya alimentación se basa en peces y cefalópodos, que en los que se alimentan exclusivamente de macroplancton, los cuales se verán involucrados sólo ante episodios que se produzcan en corto periodo de tiempo. Estos compuestos serán fundamentalmente los de bajo peso molecular y cadena corta (2-4 anillos), como naftaleno, acenafteno, fluoranteno y fenantreno, por su mayor biodisponibilidad, su capacidad de bioacumulación y su escasa degradación.

Por otra parte, los compuestos más pesados que son menos solubles, van a poder sedimentarse, y en su movilidad a través de la columna de agua, podrán afectar a organismos pelágicos en la medida que sus caracterís-

ticas lo permitan (Koc, Kow, p m., etc.), pero también se depositarán en el fondo, formando manchas más o menos consistentes, las cuales, dependiendo de su tamaño, podrán ser más o menos inertes o, por el contrario, podrán incorporarse a los organismos bentónicos. La medida por la cual puedan permanecer como reservorio en el fondo durante años o décadas, va a depender de las condiciones del medio a esa profundidad, que serán las que marquen la baja o alta biodisponibilidad para los organismos del nivel trófico detritívoro y en general para los organismos bentónicos. La biodegradación –si se produce– es muy lenta en los sedimentos, debido a las condiciones anóxicas que rigen en estas profundidades. Pero siempre habrá que tener en cuenta que los compuestos depositados pueden ser movilizados de nuevo a la columna de agua, cuando un cambio de condiciones lo favorezcan. Los organismos acuáticos, cuyo ciclo vital, o parte de él, esté en relación con los sedimentos, son los que tendrán una posibilidad de exposición mayor a estos compuestos por diferentes rutas, como, p.e., por contacto directo con el sedimento, respiración del agua intersticial, ingestión de sedimento, alimentación de invertebrados contaminados, etc.

Todas estas consideraciones habría que hacerlas también extensibles al hábitat costero, donde el vertido llega en sucesivos episodios.

Toxicidad

Toxicidad aguda

La toxicidad aguda de los hidrocarburos está en relación a la riqueza que presenta en componentes de bajo peso molecular. Esta peligrosidad se debe a que estos compuestos son los que presentan las CL_{50} menores, mayor solubilidad, menor lipofilia y menor adsorción.

Dentro de este grupo está el naftaleno, el compuesto más relevante (CL_{50} 24h crustáceos = 6,5–15 mg/L; CL_{50} 96h peces = 6,08 mg/L).

La toxicidad aguda puede incrementarse en los compuestos que tienen hasta 4-5 anillos. Así, el benzo(a)antraceno presenta una CL_{50} 96h para *Daphnia pulex* de 0,01 mg/l –es decir, es muy tóxico– sin embargo, su baja solubilidad y gran absorción hace improbable que puedan alcanzar en el agua estas concentraciones agudas, menos cuando hay derrames de petróleo. La toxicidad aguda disminuye en los compuestos con más de 5 anillos.

No hay que descartar las sinergias que se pueden establecer entre los distintos componentes de un crudo determinado, que pueden incrementar su toxicidad aguda. Así, la valoración de la fracción soluble de un crudo, rico en compuestos de bajo peso molecular, puede producir CL_{50} de 0,9 mg/l.

Toxicidad crónica.

Toxicidad a largo plazo

No se conocen muy bien los efectos de cronicidad con respecto a la alteración del crecimiento, reproducción, supervivencia, etc. que marcan los efectos a largo plazo. Sin embargo, la mayor preocupación de estos compuestos se refiere a su potencial cancerígeno, en general favorecido con las estructuras de 4, 5 y 6 anillos, y con estructuras angulares. Destaca, entre ellos el benzo(a)pireno. Es bien conocido el potencial neoplásico favorecido por estos com-

puestos. Sin embargo, otros efectos a largo plazo a tener en cuenta son su potencial inmunotóxico, que daña el sistema inmune, o la respuesta de los organismos (peces y mamíferos) frente a agentes patógenos, y su potencial como disruptores endocrinos. Así, se consideran con actividad anti-estrogénica: el acenafteno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno y dibenzo(a,h)antraceno. Otros disminuyen los niveles de hormonas sexuales en sangre (testosterona y estradiol) y también pueden afectar a la viabilidad del espermatozoide y reducir el número de huevos. Muchos de estos compuestos son genotóxicos (efectos cancerígenos y mutagénicos) (NRCC, 1983).

Valoración de riesgo

A la vista de esta información, sabemos que el riesgo a corto plazo, está asociado fundamentalmente a la fracción hidrosoluble del vertido, por su inmediata biodisponibilidad para los organismos del medio. Si queremos realizar una cuantificación de este riesgo, podemos emplear los esquemas tradicionales de valoración de riesgo ecológico de la Unión Europea, que están basados en la comparación de la concentración del contaminante en el medio (PEC), con la concentración "umbral" que se considera segura para los organismos vivos (PNEC). La primera podemos estimarla a partir de los datos de monitorización disponibles, mientras que la segunda puede ser derivada de los datos de ecotoxicidad.

*Sabón
Pequeñas bolitas
de fuel se
confunden entre
las algas.*



Sin embargo, el abordaje de la valoración de riesgo a medio y largo plazo es bastante más complicado, debido fundamentalmente a la falta de información existente. El **Comité Científico de la UE** identifica a este respecto, los siguientes puntos críticos (CSTEE, 2002):

- Los datos de biodegradación y persistencia, necesarios para el cálculo de las PEC en el medio, responden a una realidad más próxima al medio dulceacuícola, puesto que se han desarrollado en experimentos de laboratorio que contemplaban ese medio. Ante la necesidad de disponer de estos datos, deberían revisarse y adaptarse los protocolos de ensayo a las condiciones específicas de aguas salobres, como por ejemplo las especies de microorganismos que intervienen en el proceso de degradación o las cinéticas de degradación marinas. Además, la estimación de la concentración del contaminante en el medio (PEC) sólo tiene en cuenta la concentración del contaminante disuelto en la columna de agua, pero no la fracción presente en el sedimento o la asociada a la materia particulada. Para que esta valoración fuera realista debería considerar los diferentes compartimentos del medio marino y desarrollar modelos específicos para predecir el transporte e intercambio de concentración de los contaminantes.
- Los datos de bioacumulación y biomagnificación, necesarios para estimar la PEC por alimento, no son suficientemente representativos. Ante la necesidad de disponer de estos datos, deberían considerarse más niveles tróficos, hasta 4, e incluir niveles organizativos inferiores (invertebrados), dada la gran relevancia que esta vía de exposición representa para los grandes predadores.
- Los datos de ecotoxicidad en organismos marinos son

bastante escasos. Además, actualmente existen diferentes opiniones sobre cómo derivar la PNEC a partir de estos datos.

- Los datos de toxicidad en mamíferos marinos son prácticamente inexistentes. Su extrapolación a partir de ensayos de laboratorio en vertebrados requiere una revisión y estudio previos debido a las grandes diferencias fisiológicas y de otra índole, existentes entre ellos.

Como conclusión a los déficits planteados, la Unión Europea señala la gran necesidad de generar información y desarrollar y validar métodos y modelos científicos aplicables a las casuísticas especiales del medio marino. Así mismo, recomienda que este desarrollo considere dos escenarios característicos:

- un medio costero, donde prime la valoración de tres niveles tróficos (algas, invertebrados y peces) expuestos a través de agua y sedimento;
- y el mar abierto, donde el efecto de dilución es aún mayor, por lo que la valoración de riesgo debe estar basada en la vía de exposición más representativa: el riesgo para grandes predadores a través del alimento.

Aunque la realidad, hoy por hoy, es que la valoración de riesgo marino no puede ser aplicada como una herramienta de gestión, es nuestra obligación plantearnos cuáles son los déficits existentes y qué información deberíamos obtener

DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS, 2001
• Naftaleno
• Fluoranteno
• Benzo-a-pireno
• Benzo-b-fluoranteno
• Benzo-g,h,i-perileno
• Benzo-k-fluoroanteno
• Pindeno-1,2,3,cd-pireno

Tabla 2. PAHs incluidos en la lista de sustancias prioritarias de la UE.

del suceso sufrido, para implementarlos. Esta información se refiere fundamentalmente a:

- Conocer la degradación, adsorción y bioacumulación real de estos contaminantes en el medio marino.
- Conocer la dinámica de los contaminantes, es decir, las tasas de transporte desde la zona de vertido a la costa, así como la capacidad de recirculación del contaminante entre la columna de agua y el sedimento marino o materia en suspensión, tanto en la zona litoral como en mar abierto.
- Conocer los efectos agudos y crónicos del vertido, utilizando especies representativas del medio de estudio para los distintos niveles tróficos.

Conclusiones

Por ello, el abordaje que deberíamos plantearnos después de estas consideraciones debería ir encaminado hacia la realización de un buen estudio de control y seguimiento, haciendo hincapié en las peculiaridades de nuestros hábitats, y en los procesos específicos de arrastre, transporte, sedimentación y transformación de contaminantes, en especial los producidos por las situaciones específicas que han rodeado el episodio que tratamos y que se refiere a la "corriente de navidad". También se deberá de tener en cuenta la diversidad y singularidad ecológica de nuestros hábitat y, en especial, la trascendencia en las especies de pesquerías.

La base de un abordaje que sirviera para cumplir el objetivo principal del estudio: la valoración ambiental del vertido del prestigio, debería constituirse a través de una reflexión sobre la selección de los parámetros a estudiar, tanto bióticos como abióticos, representativos del medio de estudio y capaces de responder a los interrogantes que hemos planteado.