

En, **La Huella del Fuel. Ensayos sobre el “Prestige”**. Ed. Fundación Santiago Rey Fernández-Latorre (A Coruña), 2003, pp. 104-135

El *Prestige*: Impactos sobre los recursos y ecosistemas marinos.

Juan Freire¹ y Uxio Labarta²

1. Universidade da Coruña. Departamento de Bioloxía Animal, B. Vexetal e Ecoloxía.

2. CSIC. Instituto de Investigacións Mariñas. Vigo.

Introducción

No es posible todavía conocer el alcance de los efectos en el ecosistema y en las poblaciones de los recursos vivos. Muchos de los efectos serán evidentes en plazos de varios años. Sin embargo es factible hacer ciertas previsiones sobre las consecuencias del impacto en función del conocimiento científico existente sobre mareas negras y sus efectos sobre los ecosistemas marinos, y de la información disponible con la que empezamos a contar sobre el caso concreto del *Prestige*,

Dos cuestiones son, a nuestro entender, clave para comprender la naturaleza y evolución del impacto ecológico: la composición química y la evolución temporal en el mar del producto derramado, tal y como se ha planteado en los apartados anteriores de este capítulo, y la escala geográfica y el tipo de hábitat afectados

A partir de ellas, y de los conocimientos derivados de otras catástrofes, particularmente la penúltima sufrida en Galicia, el *Aegean Sea*, analizaremos cuales son los recursos marinos de interés comercial que podrán estar potencialmente más afectados y sobre todo las particularidades de dicha afectación. Desde nuestra perspectiva, entendemos que el proceso más relevante será la incorporación de productos del vertido del *Prestige* a las redes tróficas y los procesos de bioacumulación que puedan tener lugar en los organismos como consecuencia de esa incorporación y del propio metabolismo de cada organismo en relación a los contaminantes.

Impacto sobre los organismos y comunidades marinas

Hipótesis sobre los niveles de afectación de los organismos y comunidades bióticas

El factor fundamental que va a determinar el grado de afectación de los organismos va a ser la presencia de fuel y sus derivados en sus hábitats y la persistencia y biodisponibilidad del mismo. Los niveles de contaminantes presentan una alta variabilidad espacial, tanto en la dimensión vertical del ecosistema marino (con niveles bajos de hidrocarburos en la columna de agua y más elevados en los fondos), como horizontalmente, con mayores concentraciones en las zonas costeras. De este modo, los organismos pelágicos (tanto el plancton como necton, incluyendo diversos peces pelágicos de interés comercial, sardina, caballa, jurel ...) presumiblemente se verán menos afectados directamente. Aún así, no debemos obviar que los desplazamientos de las manchas de fuel, pueden haber modificado el comportamiento de aquellos organismos móviles (nectónicos) que se encuentran en su trayectoria, provocando cambios en los patrones de distribución de las especies, lo que podría tener efectos en las posibilidades de captura si esas especies constituyesen un recurso pesquero.

Es previsible que los impactos de mayor alcance, dado el comportamiento físico y químico del fuel vertido, se produzcan sobre las comunidades de especies bentónicas, que viven en contacto con los fondos marinos, y de especies demersales, asociadas a esos fondos pero con movilidad vertical hacia el sistema pelágico, y muy particularmente en las zonas litorales, afectando también a las especies infaunales e intermareales.

Por lo que respecta a los fondos de la plataforma continental (profundidades de aprox. 50 m a 200 m) y talud (profundidades superiores a 200 m), aunque se ha registrado una presencia importante de fuel (tanto en los sedimentos, detectada por métodos analíticos, como en los fondos, evaluada por su presencia en aparejos de pesca)ⁱ, la concentración final debe ser inferior a la detectada en zona costeras. Los fondos de la plataforma continental, de este modo, aunque pueden estar sometidos a impactos locales altos, sufrirían probablemente un impacto global medio o bajo. Con respecto a los recursos comerciales, prácticamente todas las especies de interés (peces como merluza, rape, gallo,...; cefalópodos como pulpo blanco o potas), presentan una elevada movilidad y es posible que respondan a impactos locales, mediante cambios en su distribución. Sólo en el caso de la cigala, con una movilidad muy inferior y una asociación con el sedimento muy elevada, se podría esperar un mayor impacto.

Por lo que respecta a la zona costera, los impactos potenciales van a ser mucho más elevados, tanto por la elevada cantidad de vertido que ha llegado a la costa, como por la extensión de la zona afectada (tramos de costa y afectación de la zona intermareal e infralitoral). Del mismo modo que se comentó anteriormente, el nivel de afectación va a depender del hábitat y movilidad de las especies, por lo que posiblemente los organismos móviles (peces: rodaballo, lubina, faneca, congrio, ..., cefalópodos: pulpo y sepia, o crustáceos decápodos: centolla, nécora, camarón, ..., que son explotados por la flota de bajura o artesanal), tendrán niveles intermedios (posiblemente mayores en los crustáceos por su menor movilidad), y las especies sésiles y sedentarias sufrirán el mayor impacto. Es destacable que en este último grupo se encuadran los recursos marisqueros, que habitan tanto sustratos rocosos en la zona intermareal (como el

percebe y la semilla de mejillón), y submareal (erizo y oreja de mar), como fondos sedimentarios (bivalvos: almejas, navaja, longueirón, berberecho,...).

Modos de afectación de los organismos

La entrada de moléculas en un organismo vivo se produce a través de rutas metabólicas que la llevan a incorporarse total o parcialmente a las células de ese organismo, o la degradan en otras moléculas más sencillas con la consiguiente producción de energía. Estas alternativas, incorporación a la célula o degradación, están condicionadas principalmente por la estructura de la molécula que se introduce en el ser vivo. Aún así, existen estructuras moleculares que quedan retenidas fuera de las principales rutas metabólicas de los seres vivos. Este es el caso de las moléculas con elevada afinidad por las grasas, lipófilas, con baja capacidad de reacción, que se acumulan pasivamente en compartimentos o tejidos ricos en lípidos. A este tipo de estructuras moleculares se las conoce como compuestos xenobióticos. Los xenobióticos son de fácil eliminación por los organismos vivos si son hidrosolubles y de difícil eliminación si son liposolubles.

Los hidrocarburos son lipofílicos y persistentes, con una gran variedad en la estructura de sus moléculas, lo que implica que para su degradación será necesario acudir a rutas metabólicas complejas propias de los xenobióticos lipófilos. Hecho que lleva a que las dosis subletales de hidrocarburos se acumulen en las reservas grasas y se removilicen con ellas.

Los vertidos de hidrocarburos originan diferentes problemas fisiológicos y bioquímicos en los organismos afectados, que van a tener consecuencias sobre su viabilidad y éxito reproductivo y pueden provocar alteraciones genéticas. Todos estos procesos, determinan cambios en la eficacia biológica de los organismos afectados, y por lo tanto generan respuestas demográficas (cambios en el tamaño y crecimiento de las poblaciones de cada especie). Estos cambios en las poblaciones, junto con las modificaciones en hábitat en que se encuentran, generarán cambios en las relaciones entre los diferentes componentes de los ecosistemas.

Para comprender el alcance de los vertidos contaminantes sobre los organismos podemos clasificar los efectos en tres grandes apartados:

- *Efectos directos letales*: Provocan mortalidad al impedir la respiración o modificar la resistencia térmica (como sucede por ejemplo en el caso de las aves). Por lo tanto se trata de un efecto físico, derivado de la impregnación o sofocación, al entrar el organismo en contacto directo con el fuel, sin necesidad, en muchos casos, de que se produzca la ingestión de los contaminantes.

- *Efectos directos subletales*: motivados por el contacto directo (fundamentalmente a nivel de los tejidos corporales) tras la ingestión de los hidrocarburos contaminantes por el organismo, sin que lleguen a provocar la muerte del mismo, pero sí alteraciones genéticas, bioquímicas o fisiológicas que pueden reducir su viabilidad y eficacia biológica. Aquí se encuentran todos los efectos tóxicos de los hidrocarburos, en particular de los HAPs (Hidrocarburos aromáticos policíclicos), que aunque menos evidentes inicialmente, son de mayor importancia con el paso del tiempo. La bioacumulación de los contaminantes puede determinar efectos subletales de considerable relevancia, aún en organismos que aparentemente no han estado en contacto con el vertido.

- *Efectos indirectos*: perturbaciones sobre los ecosistemas. Las alteraciones de la biología de los organismos y sus consecuencias demográficas, en último término, desembocarán en cambios en la estructura de las comunidades ecológicas y, por lo tanto, en una alteración de la red de las interacciones existentes. Entre los principales procesos afectados, cabe destacar las alteraciones del hábitat, cambios en las relaciones entre predadores y presas, entre competidores, alteraciones en los niveles de productividad y, por último, cambios en las redes tróficas. Aspecto a analizar con más detenimiento, ya que él probablemente se encuentre una de las claves para comprender los impactos en el ecosistema a medio y largo plazo.

Que no existan muchas evidencias documentadas sobre efectos directos de las mareas negras, salvo los casos de mortalidades catastróficas de aves marinas no debe interpretarse de un modo simple como una demostración de un bajo impacto provocado por las catástrofes de vertidos de derivados del petróleo, sino por el contrario como la consecuencia de la dificultad de documentar este tipo de procesos, salvo en organismos de gran tamaño y fácil seguimiento (en el caso de las aves, los registros se obtienen mediante censos en playas y pueden ser realizados por voluntarios). Desde la perspectiva de la dificultad tanto tecnológica como económica, el mar es un medio hostil para el ser humano. Es, pues, comprensible que no existan un gran número de evidencias documentadas de efectos significativos en áreas oceánicas, hábitats de difícil observación y en los que la concentración que alcanzan los hidrocarburos vertidos suele ser baja. Por el contrario en las áreas costeras sí existen abundantes referencias a mortalidades catastróficas generadas de modo directo por mareas negras. En las zonas costeras, tal y como señalamos, los efectos potenciales son muy superiores a los de zonas oceánicas y en particular, dentro de los ecosistemas costeros, el riesgo es más elevado para aquellas especies que tienen un tamaño de población reducido y/o hábitats reproductivos restringidos (y por tanto con mayor riesgo de verse afectados por eventos localizados como es la llegada de una marea negra).

A su vez, en las zonas costeras existen una serie de factores de riesgo, que incidirán en la magnitud del impacto de una marea negra sobre los organismos de esa zona:

- Grandes mareas negras, que pueden cubrir buena parte del área de distribución de ciertas especies o poblaciones.
- Mareas negras coincidentes con periodos de puesta, dado que el principal impacto afecta a los procesos reproductivos, siendo además las fases vitales iniciales (embriones, larvas) de los organismos mucho más sensibles a este tipo de contaminantes que otras fases de su desarrollo.
- Afectación de hábitats clave y restringidos para ciertas especies (ej., rías, bahías, estuarios o marismas) que pueden constituir lugares de reproducción o de cría en numerosas especies.

Dentro de los casos documentados de mortalidades catastróficas generadas por mareas negras, el más conocido por su entidad es el de la mortalidad de peces planos generada por la marea negra del *Amocco Cadiz* en 1978 en la Bretaña francesa. En este caso, el vertido afectó a la primera clase de edad (aquellos peces nacidos en ese año 1978) de diferentes especies comerciales de peces planos, propias de las zonas arenosas someras en las que se depositó buena parte del hidrocarburo vertido. Esta generación de peces sufrió una mortalidad prácticamente total, si bien el año siguiente se recuperó el reclutamiento (incorporación de nuevos peces a la población).

Al contrario que en el caso de los efectos directos, sí existen numerosos ejemplos de efectos subletales debidos a la toxicidad de hidrocarburos basados principalmente en estudios experimentales. En resumen, estos estudios demuestran una mayor afectación de embriones, larvas y juveniles que se manifiesta en tres aspectos básicos de su biología:

- Reducción del éxito de eclosión de huevos,
- Reducción de la supervivencia larvaria cuando los adultos han estado expuestos durante la maduración gonadal, y
- Anormalidades morfológicas de las larvas (que limitan su viabilidad)

Todos estos procesos deberían determinar, en último término, una reducción del esfuerzo y éxito reproductivo de las poblaciones afectadas y por lo tanto, a medio y largo plazo, disminuir el tamaño poblacional. Pero es en este punto donde se sitúan las principales dificultades a la hora de demostrar los efectos ecológicos de las mareas negras (y en particular los efectos negativos sobre la dinámica poblacional), dado que se necesitan demostrar tres niveles de causalidad para obtener una imagen completa del problemaⁱⁱ:

- Toxicidad potencial: Niveles de contaminantes en organismos y su distribución en diferentes órganos y tejidos.
- Toxicidad efectiva: Relaciones entre niveles de contaminantes y toxicidad, mediante el análisis de las respuestas fisiológicas y/o genéticas. Este tipo de investigaciones suelen realizarse en laboratorio mediante una aproximación experimental, dada la dificultad que representa un estudio de este tipo en el medio natural. En ocasiones, se utilizan biomarcadores que permiten identificar efectos tóxicos en poblaciones naturales, mediante la cuantificación de diferentes componentes bioquímicos o procesos fisiológicos que sólo se desarrollan en organismos cuando se encuentran expuestos a un contaminante. En otros se analizan parámetros biológicos indicadores de la eficacia biológica del organismo (por ejemplo, tasas reproductivas) y su variabilidad ligada a la presencia de contaminantes en el medio o a nivel orgánico.
- Efectos demográficos. Por último, la fase clave se sitúa en la integración de respuestas fisiológicas y/o genéticas en el conjunto de la población o poblaciones, de modo que se puedan demostrar los efectos demográficos (sobre el crecimiento y la reproducción) de la marea negra. Por las propias características de los procesos biológicos implicados, este tipo de análisis requiere estudios a medio y largo plazo que combinen la información experimental de las fases 1 y 2 con las observaciones y la modelización como herramienta de integración de información. Esta aproximación necesita considerables recursos económicos y humanos, sostenidos en el tiempo, para lograr resultados relevantes. Debemos tener en cuenta que los sistemas ecológicos son variables por su propia naturaleza, y responden de modo dinámico a un gran número de perturbaciones humanas y naturales, entre las que una marea negra no es más que un tipo de ellas, aunque en ocasiones de considerable entidad.

En el caso del *Exxon Valdez* se han desarrollado programas de investigación a largo plazo, en los que se han implicado equipos multidisciplinares lo cual ha permitido abordar de un modo integral los tres aspectos del problema descritos anteriormente, y ha sido una de las escasas ocasiones en que se ha podido demostrar la relación causal entre los tres procesosⁱⁱⁱ. Los trabajos desarrollados en el caso del *Exxon Valdez* se centraron en poblaciones de peces, aves y mamíferos marinos por su valor económico y/o ecológico. Como resultados más relevantes podemos destacar que se demostraron efectos tóxicos sobre embriones y larvas de peces a concentraciones de contaminantes

(HAPs) tan bajas como 1 ppm ($\mu\text{g/g}$) o incluso en casos de pocos ppb (ng/g), con efectos como reducciones en el crecimiento, aumentos de mortalidad o incluso alteraciones genéticas que determinaron daños en generaciones posteriores^{iv}. Aún así, en ocasiones las fluctuaciones interanuales observadas en la abundancia de ciertas poblaciones, como en el arenque, no pudieron ser asignadas causalmente a la marea negra dado que otros procesos ambientales que afectaban a la dinámica poblacional se solaparon en el tiempo. En el caso de aves o mamíferos marinos se pudo demostrar la causa de sus elevados niveles de contaminantes y/o biomarcadores, dado que en las especies analizadas su dieta contenía otras especies marinas (como mejillones o peces) que habían sido afectadas por el vertido y presentaban niveles de bioacumulación importantes. Por otra parte, en estas mismas especies de aves y mamíferos se observó un descenso simultáneo en el éxito reproductivo y/o un aumento de su mortalidad.

En el caso de los ecosistemas marinos de Galicia, si bien con características químico-físicas muy diferentes por el tipo de derivado del petróleo vertido, y también por la extensión limitada de la zona afectada, disponemos de la información aportada por los trabajos sobre diferentes efectos sobre el ecosistema posteriores a la catástrofe del *Aegean Sea* en la zona del Golfo Ártabro, como precedente para el estudio de la actual catástrofe del *Prestige*.

En las poblaciones planctónicas el accidente del *Aegean Sea* no fue perceptible, y estas se recuperaron con gran facilidad^v. Tanto los niveles de clorofila, producción primaria, composición de las especies del plancton (fito y zooplancton) y biomasa bacteriana presentaron pautas y comportamientos semejantes después del accidente a los observados en años anteriores. Sin embargo los resultados relativos a distintos aspectos del sistema bentónico y a los organismos que lo pueblan, así como aquellos organismos sésiles de la franja litoral, presentaron alteraciones derivadas del vertido de crudo.

Los procesos de sedimentación de las fracciones menos volátiles del vertido y también aquellas de características menos hidrofóbicas, y que por lo tanto pueden “acomodarse” en la columna de agua, supusieron que en aquellas áreas donde el movimiento de las aguas (hidrodinamismo) no transportó el vertido, se observaran niveles elevados de las fracciones más pesadas del vertido un año y medio después del accidente^{vi}. Con la singularidad además de que estas concentraciones hayan sido más elevadas en la capa profunda del sedimento (6-12 cm de profundidad), que en la capa superficial (0-6 cm). Hecho que dificulta la degradación de esta parte del vertido, al alejarla de la zona superficial donde pueden actuar con mayor facilidad los procesos degradativos. Junto con esta observación de los sedimentos, y en relación a ella también se puso de manifiesto que las poblaciones del bentos infralitoral^{vii} acusaron los efectos del vertido a los dos meses del siniestro, cayendo a un tercio de sus valores normales la riqueza de especies o biodiversidad en todos los grupos faunísticos o tróficos estudiados. También las densidades de las poblaciones se vieron reducidas entre un treinta y un cincuenta por cien de los valores previos. Todo ello acompañado de un fracaso en la incorporación de nuevos individuos a la población (reclutamiento) como consecuencia de las alteraciones en su reproducción y/o en su viabilidad de la progenie. Todo ello condujo a una grave desaparición de especies por efecto del vertido, particularmente equinodermos, y en menor medida pequeños crustáceos y también moluscos, manteniéndose relativamente estables las poblaciones de poliquetos. Resultados del mismo orden se pudieron observar en las comunidades bentónicas infaunales del área afectada (Golfo Artabro)^{viii}, confirmándose el alto grado de afectación en equinodermos y pequeños crustáceos y la

resistencia de los poliquetos, asociado a un descenso de la diversidad de especies y a alteraciones en las relaciones entre los elementos de la comunidad bentónica infaunal.

Investigaciones realizadas tras el vertido del *Aegean Sea* en las costas de A Coruña, y en otros accidentes de similares características, muestran una rápida acumulación de hidrocarburos aromáticos policíclicos en los mejillones, organismos filtradores que viven suspendidos en la columna de agua, si bien esta acumulación es reversible, en el sentido de que son degradados y excretados cuando la contaminación del medio desciende o desaparece. En el caso concreto del *Aegean Sea*, los máximos de concentración en las zonas directamente afectadas por el vertido se observaron a los tres meses del vertido, con niveles de 1200-2400 ng/g en peso seco de mejillón para el conjunto de los 12 componentes prioritarios (Figura 1). Seis meses después del vertido, las concentraciones habían descendido considerablemente, hasta niveles comprendidos entre 200 – 300 ng/g en peso seco y a los nueve meses, los niveles eran del mismo orden que los que se observaron tres años después del vertido^{ix}. Sin embargo, durante el primer año, eran todavía evidentes efectos de estrés sobre los organismos, a nivel de lípidos y ácidos nucleicos^x. Un comportamiento similar se observó en el caso del vertido del *Erika*^{xi}.

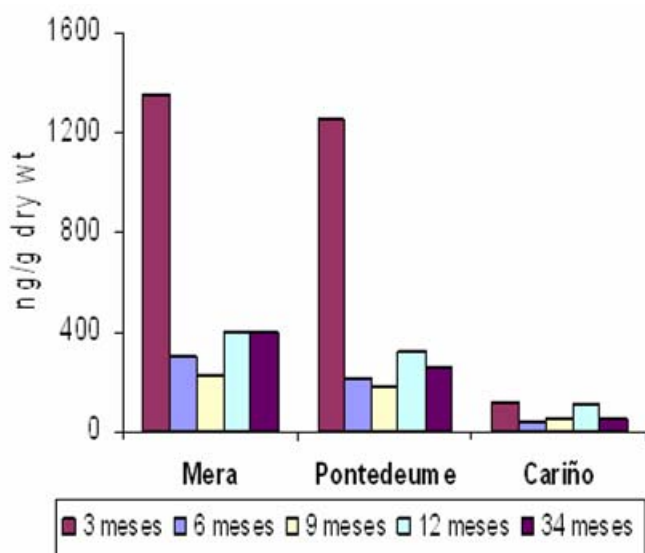


Figura 1. Evolución temporal de las concentraciones de 12 HAPs en mejillón en diferentes localidades afectadas (Mera y Pontedeume) tras el vertido del Aegean Sea y en una zona control no afectada (Cariño).⁹

Sin embargo, los bivalvos que viven en contacto con el sedimento (almejas y berberechos), muestran un comportamiento diferente al de los mejillones y la acumulación de HAPs en sus tejidos es más ‘errática’, variando de una zona a otra. En un periodo de estudio de 3 años después del accidente del *Aegean Sea*, difícilmente llegó a verse una variación temporal clara¹⁰. Probablemente, no es la presencia de estos hidrocarburos sino su biodisponibilidad el factor determinante en este comportamiento.

Finalmente, y a la luz de las investigaciones realizadas tras otros accidentes de estas características, es preciso señalar que, a largo plazo, es extremadamente difícil distinguir entre lo que son posibles efectos del vertido de los causados por la contaminación de distinto origen que ya sufren los ecosistemas marinos, o por otras alteraciones del hábitat litoral.

Redes tróficas y procesos de bioacumulación

Dadas las características de la marea negra del *Prestige*, podemos plantear como hipótesis de trabajo que los principales impactos se van a producir a medio y largo plazo, y en la mayor parte de los organismos (y sobre todo aquellos de interés comercial) los contaminantes se van a introducir con la alimentación. Por tanto es especialmente importante comprender la estructura de las redes tróficas de los ecosistemas afectados, los procesos de transferencia de contaminantes entre compartimentos y las transformaciones que estos compuestos sufren a lo largo de este proceso.

Una red trófica representa la trama de interacciones tróficas entre compartimentos dentro de un ecosistema; estos compartimentos son en su gran mayoría especies (en ocasiones agrupadas en entidades taxonómicas o funcionales superiores) pero también otras fuentes no vivas de materia orgánica (por ejemplo, materia en suspensión o detritus en sedimentos). Las interacciones suponen la existencia de una relación predador-presa (entendida en sentido amplio, incluyendo el caso de los herbívoros o de los detritívoros). Las redes tróficas reciben precisamente ese nombre por la multiplicidad de interacciones entre componentes, que determinan en su representación gráfica una malla o red; aún así es posible simplificar su estructura en una cadena trófica organizando los diferentes componentes por niveles tróficos (básicamente detritus, productores primarios, herbívoros, carnívoros de primer orden y de segundo orden), aunque en realidad casi ninguna especie de animal marino puede asignarse estrictamente a un nivel concreto, y en su mayor parte presentan cierto nivel de omnivoría.

La bioacumulación hace referencia a un hecho aparentemente paradójico que se puede observar en los ecosistemas: los niveles orgánicos de contaminantes se incrementan en general conforme aumenta el nivel trófico, a pesar de que son los niveles tróficos inferiores (productores, detritívoros, herbívoros) los que interactúan directamente con los contaminantes. Para entender esta aparente paradoja debemos tomar en consideración los siguientes factores:

- Los contaminantes bioacumulables son compuestos insolubles en agua, es decir, químicamente hidrófobos, como ya se indicó previamente para el caso de los HAPs. Esta característica hace que, una vez ingeridos, su eliminación metabólica sea muy lenta y dificultosa y tiendan a acumularse en órganos de almacenamiento como son aquellos constituidos por tejidos grasos.
- La capacidad de detoxificación metabólica es variable en diferentes organismos, y esto hace que su potencial de bioacumulación sea distinto. La detoxificación constituye un proceso metabólico, por el cual un organismo transforma las moléculas contaminantes en nuevos compuestos que ya pueden ser metabolizados o eliminados más fácilmente. Así, por ejemplo, los bivalvos presentan una escasa o nula capacidad de detoxificación y por tanto un elevado potencial de bioacumulación. Por el contrario los peces sí cuentan con la maquinaria metabólica necesaria para el proceso de detoxificación y por lo tanto su potencial de bioacumulación es mucho más bajo. Pero al mismo tiempo es este proceso de detoxificación el que puede generar consecuencias tóxicas para el organismo, de modo que son los compuestos resultantes de la metabolización de las moléculas originales de HAPs las que producen efectos tóxicos a nivel fisiológico y/o

genético. No debemos olvidar que en el caso de los humanos, también contamos con una alta capacidad de detoxificación y por esta misma razón los HAPs son potencialmente tóxicos para nuestro organismo. Es importante tener en cuenta esta cuestión, dado que el hecho de poder detoxificar los contaminantes ingeridos no significa una falta de daños biológicos, si no más bien todo lo contrario.

- La duración del ciclo vital es determinante del potencial de bioacumulación, dado que a mayor esperanza de vida mayor es la exposición a contaminantes a través de la dieta. En general los organismos de gran tamaño y alto nivel trófico suelen presentar esperanzas de vida mayores que los organismos pequeños y de bajo nivel trófico por lo que su potencial de bioacumulación es mayor.

En resumen, si consideramos en conjunto todos los factores anteriores, son los organismos grandes y de elevado nivel trófico (predadores) los candidatos a presentar mayores niveles de bioacumulación (siempre que su capacidad de detoxificación sea limitada o el grado de exposición muy alto).

En el caso de los ecosistemas marinos, la red trófica de un área geográfica determinada presenta una estructura basada en dos grandes compartimentos conectados parcialmente entre sí (Figura 2). El sistema pelágico, constituido por todos los organismos y materia orgánica localizados en la columna de agua, depende directamente de la producción primaria planctónica. Parte de esta producción se exporta al sistema bentónico, mediante la sedimentación de organismos planctónicos y materia orgánica particulada que no son consumidos *in situ* en la columna de agua. Además, el sistema bentónico situado en zonas fóticas (zonas poco profundas donde la luz penetra hasta el fondo), cuenta con producción primaria debida a las plantas (micro y macroalgas bentónicas y fanerógamas) que se desarrollan en estos hábitat. Ambos sistemas, pelágico y bentónico, a partir de los productores primarios y la transferencia de materia orgánica procedente de otros hábitat, desarrollan complejas redes tróficas conectadas entre sí por la transferencia entre plancton y bentos comentada anteriormente y por organismos que pueden utilizar recursos de ambos sistemas (los organismos demersales, por ejemplo, son animales móviles que aunque presentan cierta relación con el fondo se desplazan en la columna de agua y pueden actuar también como predadores de organismos pelágicos profundos).

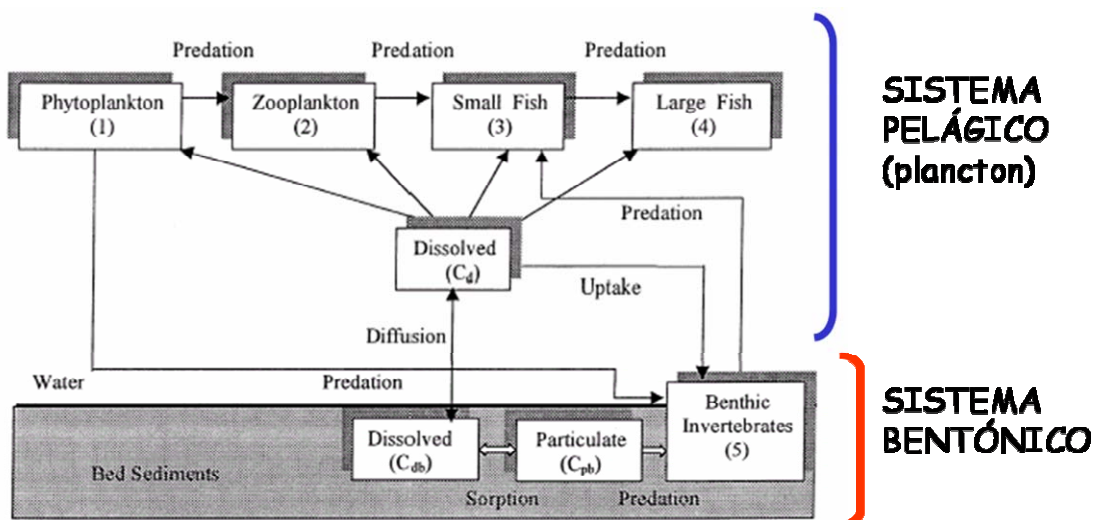


Fig. 2 Schematic of the oil spill-food chain interaction model.

Figura 2. Representación esquemática de una red trófica marina diferenciando los sistemas pelágico y bentónico, las dos rutas potenciales de entrada de contaminantes. HC = hidrocarburos. Tomado de K.Y.H. Gin, MD. K. Huda, W.K. Lim and P. Taklich (2001). An oil spill-food chain interaction model for coastal waters. *Marine Pollution Bulletin* 42:580-597

Una primera pregunta clave para entender las rutas de incorporación de HAPs en las redes tróficas es la identificación de la vía de entrada, presentándose dos posibilidades: a través del plancton en el medio pelágico o a través de la materia orgánica sedimentaria en el bentos. Las evidencias existentes hasta el momento (por ejemplo los datos presentados en los informes técnicos del IEO^{xii}), indican que los niveles de hidrocarburos en la columna de agua son relativamente bajos a lo largo de toda la plataforma continental gallega. Así, en muestreos realizados en diciembre de 2002, en pleno desarrollo de la marea negra cuando enormes manchas de fuel se dispersaban por toda la costa, muestran valores elevados sólo en localidades muy concretas (al sur de la Ría de Vigo o en alguna estación de Costa da Morte), pero en ningún caso superaban los límites máximos aceptables (300 µg/l) propuestos por la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (*Environmental Protection Agency, EPA*)^{xiii}. Si sólo empleáramos estos datos la situación sería de práctica normalidad, lo cual no concuerda en absoluto con lo observado en Diciembre de 2002. Pero si analizamos los datos proporcionados por el IEO sobre niveles de HAPs en sedimentos (mediante análisis químicos) y presencia de fuel en fondos (cartografiado mediante pescas con artes de arrastre)^{xiv}, nos encontramos con niveles muy elevados de contaminantes en los fondos sedimentarios de gran parte de la plataforma continental gallega, y especialmente en toda la Costa da Morte (desde Caión al norte de la Ría de Muros e Noia) y en ciertas localidades situadas en la boca de las Rías Baixas. Asimismo, datos obtenidos por los autores indican patrones similares en los sedimentos de la zona costera (datos no publicados).

Estos datos preliminares parecen corroborar que los hidrocarburos del *Prestige* se acumulan principalmente en el sedimento, y que la red trófica bentónica sería la vía de entrada preferente de contaminantes en las comunidades bióticas. Por otra parte, el análisis de la composición química del fuel y de su comportamiento en el medio, nos lleva a las mismas conclusiones, tal como se discutió previamente. Esta situación contrasta con la correspondiente a la marea negra provocada por el *Aegean Sea*, en la que el crudo se quemó, evaporó o se disolvió en buena medida rápidamente^{xv}, por lo que la fracción de este que llegó al sedimento seguramente fue muy inferior. A pesar de lo anterior, no debemos olvidar que la marea negra del *Prestige* presenta una escala espacial mucho mayor de lo habitual dado que el fuel ha sido vertido en masas de agua superficiales oceánicas y, en sus desplazamientos hasta llegar a la costa y dada la gran profundidad existente en muchas de las zonas afectadas, han transcurrido largos periodos con contaminantes situados en la columna de agua afectando directamente al sistema pelágico.

Una vez que el fuel, o parte de sus componentes o productos derivados, llegan al sedimento se van a producir toda una serie de procesos físico-químicos que van a determinar su biodisponibilidad. Es especialmente importante conocer su distribución vertical (dentro del sedimento), dado que la actividad biótica se restringe a las capas superiores, y los procesos de resuspensión que pueden ocurrir ligados a la hidrodinámica de la zona pueden introducir de nuevo en al red trófica contaminantes

debido al proceso de bioacumulación, es también muy relevante conocer la estructura de los niveles superiores para poder comprender los patrones de transferencia. Por desgracia, el conocimiento actual de las redes tróficas de los ecosistemas costeros del Atlántico ibérico es muy fragmentaria y no permite realizar predicciones detalladas sobre la dinámica de los contaminantes.

En el caso de la plataforma continental, el conocimiento existente de las relaciones tróficas es más completo, y de hecho investigadores del IEO han publicado recientemente el primer modelo trófico correspondiente a la plataforma cantábrica (que en gran medida puede ser trasladable al caso de la costa atlántica gallega)^{xvi} (Figura 4). La red trófica de la plataforma se puede caracterizar por tres vías de flujo de materia y energía: una subred pelágica que se basa en la producción primaria fitoplanctónica y que en su extremo superior presenta predadores como atunes, peces pelágicos (sardina, jurel, caballa) o calamares. La subred bentónica se inicia con los detritus sedimentarios (procedentes de la "lluvia" de partículas desde el sistema pelágico) y finaliza en diversas especies de peces (gallos, rapas, etc), crustáceos (como la cigala) y cefalópodos (como el pulpo blanco). Existe una subred intermedia, que podríamos denominar demersal, constituida por organismos que consumen en parte presas asociadas al sistema pelágico y en parte alimento del sistema bentónico; la merluza constituye la especie más característica de este subsistema. Se puede plantear la hipótesis de que, si el fuel entra en la red trófica por el sedimento, serán los organismos bentónicos, y en menor medida demersales, los que sufrirán procesos de bioacumulación (por supuesto modulados por la duración de su ciclo vital, su capacidad de detoxificación y su contenido lipídico).

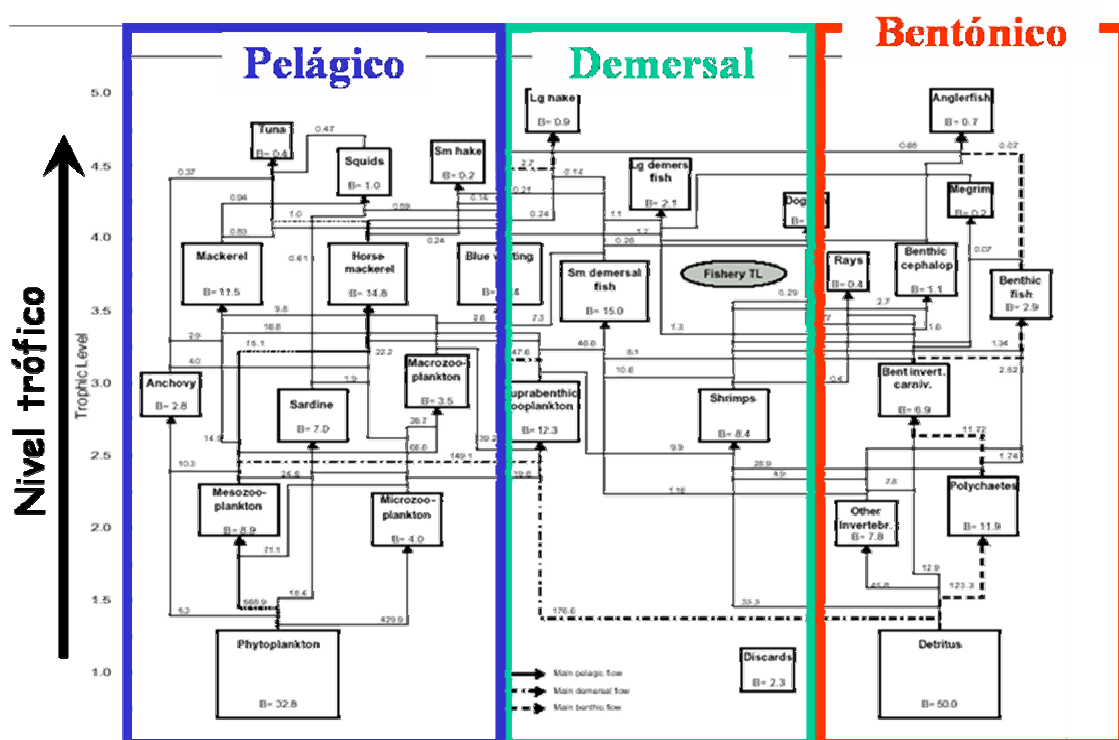


Figura 4. Principales interacciones tróficas en el ecosistema de la plataforma continental del Mar Cantábrico. Se ordenan los grupos de organismos o compartimentos abióticos en el eje vertical en función de su nivel trófico. En el eje horizontal, se sitúan a la derecha los organismos pelágicos y a la izquierda aquellos bentónicos situándose en

posiciones intermedias los organismos demersales. Los flujos de materia se expresan en $t/km^2 \cdot \text{año}$ y la biomasa de cada compartimento (B) en t/km^2 . Esquema publicado por Sánchez & Olaso (2003), Ecological Modelling (en prensa).

Se empieza a disponer de datos iniciales sobre la distribución y abundancia de HAPs en organismos marinos (datos no publicados obtenidos por el Grupo de Biología y Pesquerías de Recursos Marinos de la Universidad de A Coruña y correspondientes a muestras obtenidas entre Enero y Marzo de 2003) (Tabla 1). Estos resultados muestran niveles elevados de contaminantes en animales sésiles o sedentarios costeros (bivalvos, percebe, erizo) de las áreas geográficas afectadas (Figuras 5 y 6); estos animales se sitúan en la base de la red trófica y presentan escasa capacidad de degradación metabólica por lo que deberían ser los primeros afectados. En el caso de los organismos de niveles tróficos superiores (en gran parte predadores), como peces, crustáceos decápodos o moluscos cefalópodos, los niveles de afectación son inferiores a los de los organismo sedentarios, pero aún así alcanzan valores elevados en la zona afectada. En estos organismos, los niveles de contaminantes son especialmente altos en glándulas digestivas (como el hígado en peces o hepatopáncreas en crustáceos) lo que muestra que los HAPs están entrando en las redes tróficas, independientemente de que debido a la capacidad de detoxificación (por ejemplo en el caso de los peces) y al escaso tiempo transcurrido desde el inicio de la marea negra, los niveles musculares sean inferiores. Los resultados correspondientes a peces y cefalópodos procedentes de la plataforma continental, muestran patrones similares a los de las zonas costeras, aunque los niveles de contaminantes son inferiores, lo cual concuerda con la idea avanzada de que el grado de impacto en la plataforma continental es inferior que el correspondiente a los ecosistemas costeros.

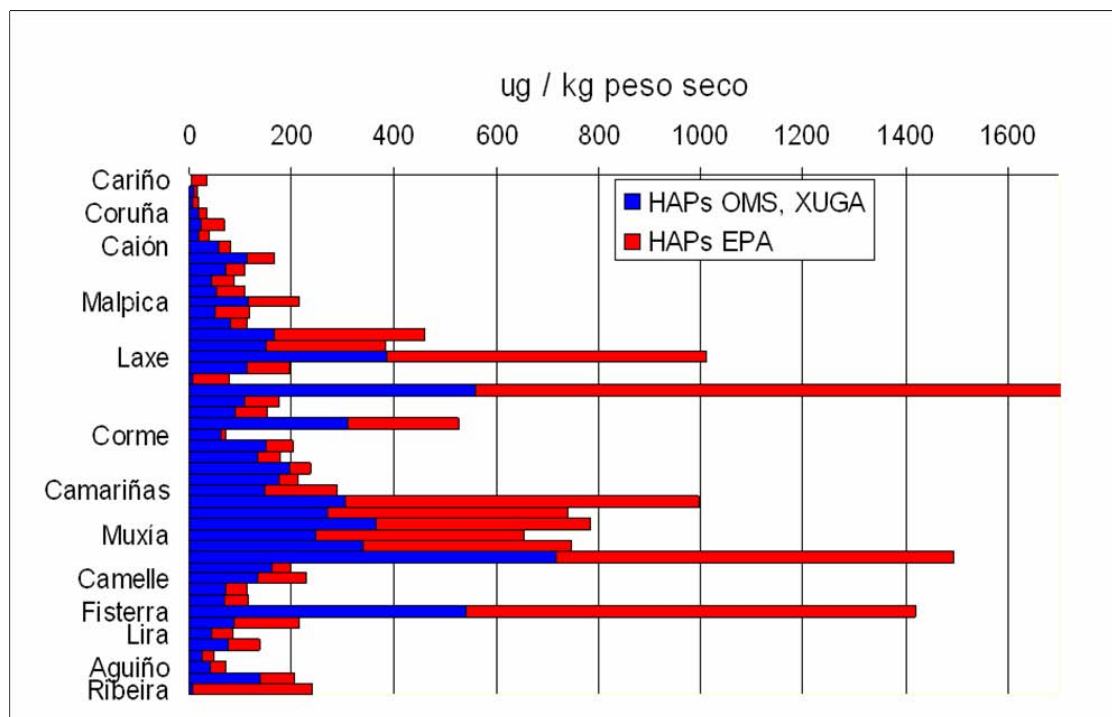


Figura 5. Niveles de HAPs en percebe (entre Enero y Marzo de 2003) en la zona costera. Se presentan diferentes cofradías (de norte, Cariño, a Sur, Ribeira) y en cada una se presentan datos de uno o más bancos. Análisis realizados con GC-MS. HAPs

OMS y XUGA: total de 6 compuestos utilizados por la XUGA (y catalogados previamente por la OMS) para el establecimiento de límites de seguridad alimentaria. HAPs EPA: 16 compuestos catalogados por la EPA por su potencial toxicidad.

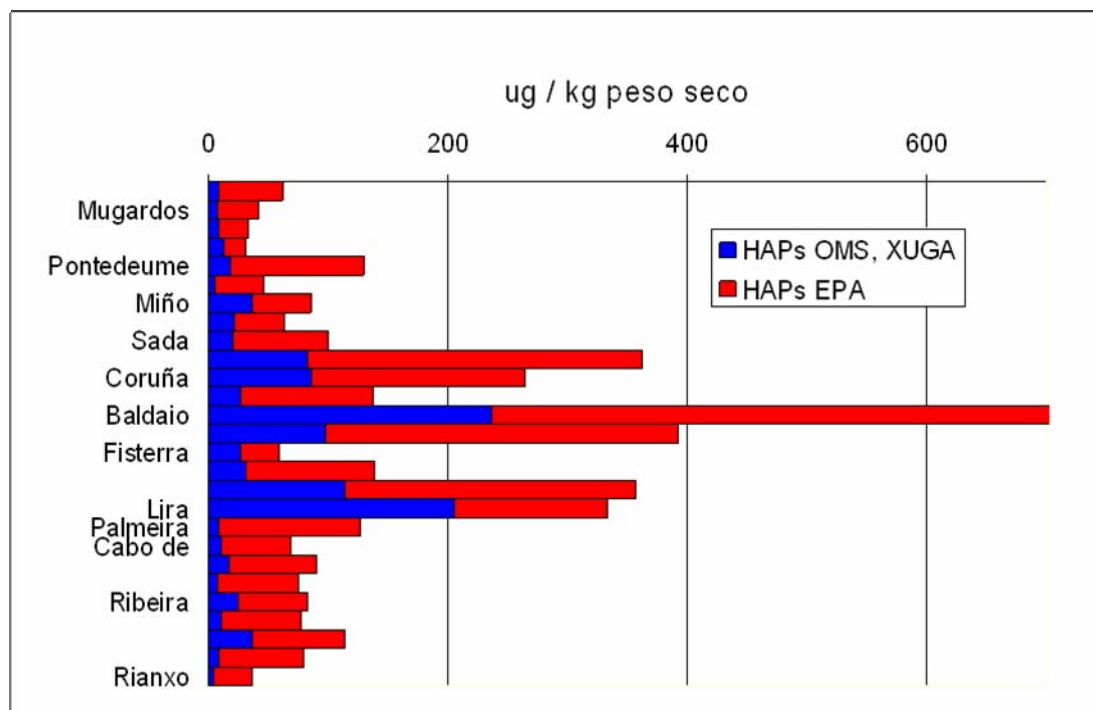


Figura 6. Niveles de HAPs en bivalvos (almejas y coquina, entre Enero y Marzo de 2003) en la zona costera. Se presentan diferentes cofradías (de norte, Mugardos, a Sur, Rianxo) y en cada una se presentan datos de uno o más bancos. Análisis realizados con GC-MS. HAPs OMS y XUGA: total de 6 compuestos utilizados por la XUGA (y catalogados previamente por la OMS) para el establecimiento de límites de seguridad alimentaria. HAPs EPA: 16 compuestos catalogados por la EPA por su potencial toxicidad.

Es previsible, en función de la teoría ecológica y los datos empíricos existentes, que los niveles de contaminantes se incrementen en predadores en los próximos años, siempre que la exposición a HAPs permanezca en el tiempo. La bioacumulación debería ser especialmente importante en organismos costeros y en aquellos que dependan de rutas tróficas que parten del sedimento.

Tabla 1. Concentración de HAPs en tejidos de diferentes recursos pesqueros de la zona costera y plataforma continental gallegas. Las muestras se obtuvieron desde el norte de la Ría de Arousa, en el sur, a Cedeira, en el norte, y comprenden la principal zona afectada así como zonas a norte y sur que inicialmente no se vieron afectadas por la marea negra. Los muestreos se realizaron entre Enero y Marzo de 2003, y se resumen aquí los resultados existentes hasta el momento (pendientes de la finalización del procesado analítico de una parte e las muestras). Los HAPs fueron identificados y cuantificados mediante comatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. Se presentan datos agrupados correspondientes a los HAPs catalogados por la EPA como potencialmente tóxicos (16 compuestos), aquellos catalogados por la XUGA para evaluación de seguridad alimentaria (6 compuestos), y el total de HAPs. Las especies se clasifican en función de su modo de vida, diferenciando animales pelágicos (que ocupan la columna de agua) de aquellos bentónicos y demersales (que viven en total o parcial relación con los fondos marinos). Se diferencian los peces planos por presentar una mayor relación con los fondos. Datos inéditos del Grupo de Biología y Pesquerías de Recursos Marinos de la Universidad de A Coruña. N, número de muestras analizadas para cada tejido; para cada grupo de compuestos se indica la media \pm error típico

| | | | | Hígado / Hepatopáncreas | | | | Músculo | | | |
|-------------------------------|-----------------|--------------|---------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------|----|----------------|-------------|-----------------|----|
| | | | | EPA | XUGA | Total HAPs | N | EPA | XUGA | Total HAPs | N |
| ZONA COSTERA | | | | | | | | | | | |
| Cefalópodos | Bentónico | Pulpo | <i>Octopus vulgaris</i> | 421,0 ± 163,2 | 47,3 ± 21,2 | 1809,6 ± 1010,3 | 11 | 1060,6 ± 347,1 | 6,4 ± 3,3 | 1574,1 ± 502,6 | 16 |
| Cefalópodos | Demersal | Sepia | <i>Sepia officinalis</i> | 382,4 ± 57,7 | 37,5 ± 11,0 | 1358,7 ± 301,0 | 10 | 362,9 ± 56,9 | 3,1 ± 1,0 | 533,3 ± 69,7 | 19 |
| Crustáceos | Bentónico | Camarón* | <i>Palamon serratus</i> | | | | | 471,6 ± 121,9 | 95,8 ± 63,4 | 2385,0 ± 734,8 | 5 |
| Crustáceos | Bentónico | Centolla | <i>Maja squinado</i> | 244,3 ± 39,7 | 28,3 ± 14,0 | 1061,7 ± 325,0 | 13 | 258,5 ± 147,6 | 1,4 ± 1,4 | 680,5 ± 483,0 | 4 |
| Crustáceos | Bentónico | Lubrigante | <i>Hommarus gammarus</i> | 4333,8 ± 4003,1 | 0,0 ± 0,0 | 18219,1 ± 17329,0 | 2 | | | | |
| Crustáceos | Bentónico | Necora | <i>Necora puber</i> | 274,1 ± 28,2 | 36,2 ± 12,3 | 1180,4 ± 337,2 | 9 | 161,0 ± 53,2 | 0,9 ± 0,6 | 328,9 ± 75,5 | 4 |
| Peces | Bentónico | Pintarroja | <i>Scylliorhynchus canicula</i> | 435,6 ± 43,7 | 65,7 ± 10,6 | 877,5 ± 136,1 | 3 | | | | |
| Peces | Bentónico | Raya | <i>Raja clavata</i> | 225,9 ± 55,4 | 6,9 ± 6,9 | 540,2 ± 169,4 | 3 | | | | |
| Peces | Bentónico | Raya | <i>Raja montagui</i> | 374,6 ± 12,6 | 0,0 ± 0,0 | 610,9 ± 50,0 | 2 | | | | |
| Peces | Bentónico | Raya | <i>Raja undulata</i> | 1449,8 ± 1279,8 | 0,0 ± 0,0 | 2033,3 ± 1655,1 | 2 | | | | |
| Peces | Bentónico Plano | Acedía | <i>Solea lascaris</i> | 244,7 ± 132,2 | 2,4 ± 2,4 | 568,3 ± 314,1 | 2 | | | | |
| Peces | Bentónico Plano | Coruxo | <i>Scophthalmus rombus</i> | 2025,1 ± 1328,3 | 332,1 ± 332,1 | 3333,0 ± 2222,3 | 3 | 162,6 ± 32,6 | 2,1 ± 2,1 | 271,4 ± 45,9 | 2 |
| Peces | Bentónico Plano | Lenguado | <i>Solea vulgaris</i> | 325,1 | 47,4 | 1118,1 | 1 | | | | |
| Peces | Bentónico Plano | Platija | <i>Plathychtys platessa</i> | 790,1 ± 465,2 | 10,4 ± 10,4 | 1297,6 ± 551,3 | 4 | | | | |
| Peces | Bentónico Plano | Rodaballo | <i>Scophthalmus maximus</i> | 1963,1 ± 1759,6 | 0,0 ± 0,0 | 2743,0 ± 2382,4 | 2 | | | | |
| Peces | Demersal | Faneca | <i>Trisopterus luscus</i> | 409,6 ± 88,4 | 16,8 ± 12,6 | 1685,5 ± 723,2 | 7 | 250,9 ± 57,7 | 0,0 ± 0,0 | 607,6 ± 194,6 | 5 |
| Peces | Demersal | Lubina | <i>Dicentrarchus labrax</i> | 422,0 ± 201,8 | 55,2 ± 28,6 | 2627,5 ± 1525,1 | 4 | 804,0 ± 542,3 | 3,8 ± 2,6 | 2863,0 ± 2202,8 | 4 |
| Peces | Demersal | Pinto | <i>Labrus bergylta</i> | 344,7 | 89,2 | 750,3 | 1 | | | | |
| PLATAFORMA CONTINENTAL | | | | | | | | | | | |
| Cefalópodos | Bentónico | Pulpo blanco | <i>Eledone cirrhosa</i> | 383,8 ± 63,2 | 31,8 ± 8,6 | 1173,1 ± 237,4 | 6 | 96,4 ± 16,2 | 0,0 ± 0,0 | 264,0 ± 27,7 | 3 |
| Cefalópodos | Pelágico | Pota | <i>Illex coindetii</i> | 469,9 ± 83,1 | 104,4 ± 39,2 | 1215,8 ± 250,1 | 6 | 171,1 ± 71,3 | 6,4 ± 5,3 | 310,9 ± 122,2 | 3 |
| Crustáceos | Bentónico | Cigala | <i>Nephrops norvegicus</i> | 463,4 ± 100,2 | 110,0 ± 33,2 | 725,5 ± 154,6 | 4 | 90,8 ± 6,5 | 0,0 ± 0,0 | 192,6 ± 12,6 | 3 |
| Peces | Bentónico | Juliana | <i>Lophius piscatorius</i> | 701,5 ± 193,3 | 44,5 ± 28,2 | 1073,0 ± 300,1 | 6 | 598,4 ± 89,5 | 1,8 ± 1,8 | 1813,6 ± 158,4 | 2 |
| Peces | Bentónico | Rape | <i>Lophius budegassa</i> | | | | | 60,4 ± 7,6 | 1,5 ± 0,8 | 160,8 ± 15,1 | 3 |
| Peces | Bentónico Plano | Gallo | <i>Lepidorhombus boscii</i> | 290,0 ± 21,2 | 47,0 ± 22,4 | 752,1 ± 79,5 | 6 | 101,2 ± 26,2 | 0,0 ± 0,0 | 382,2 ± 102,5 | 3 |
| Peces | Bentónico Plano | Solla | <i>Plathichthys flesus</i> | 674,4 | 0,0 | 915,8 | 1 | | | | |
| Peces | Demersal | Bertorella | <i>Phycis blenoides</i> | 364,8 ± 45,9 | 0,0 ± 0,0 | 556,4 ± 41,1 | 3 | | | | |
| Peces | Demersal | Merluza | <i>Merluccius merluccius</i> | 344,3 ± 31,2 | 41,5 ± 17,7 | 830,8 ± 102,6 | 6 | 864,0 ± 423,9 | 42,1 ± 25,9 | 1707,6 ± 813,2 | 6 |
| Peces | Pelágico | Caballa | <i>Scomber scombrus</i> | 568,9 ± 124,5 | 72,4 ± 31,9 | 1142,8 ± 177,1 | 7 | 143,9 ± 62,1 | 0,0 ± 0,0 | 380,4 ± 118,2 | 3 |
| Peces | Pelágico | Jurel | <i>Trachurus trachurus</i> | 416,1 ± 298,6 | 19,2 ± 19,2 | 1274,4 ± 1028,7 | 2 | 454,8 | 19,7 | 709,4 | 1 |
| Peces | Pelágico | Lirio | <i>Micromesistius poutassou</i> | 610,0 ± 135,6 | 31,3 ± 29,6 | 992,8 ± 185,3 | 4 | 725,9 | 5,9 | 1385,1 | 1 |

* Datos correspondientes a ejemplares compeltos, sin diferenciar tejidos

Impacto sobre los recursos vivos

Cambios demográficos: efectos a corto, medio y largo plazo

Desde el punto de vista de los recursos vivos, y tal y como se expuso anteriormente, el vertido conlleva una serie de efectos negativos, tanto letales como subletales, que van a provocar importantes cambios en la dinámica poblacional de los mismos. Partiendo de la hipótesis de que un vertido como el del *Prestige* provoca una reducción en la biomasa de las poblaciones afectadas, la intensidad de dicha reducción puede presentar grandes diferencias en función de la escala temporal en que nos movamos.

Así, a corto plazo una marea negra puede provocar una reducción inmediata del tamaño del stock de todas aquellas especies afectadas directamente por los hidrocarburos, debido a la simple mortalidad directa inducida. En este sentido son principalmente las especies sedentarias o de escasa movilidad, y cuyos hábitats típicos se hayan vistos más afectados, las primeras que pueden sufrir una severa disminución en sus poblaciones. Dado que, como ya se ha destacado anteriormente, son generalmente los hábitats costeros los más afectados por este tipo de eventos, se puede concluir que las poblaciones de aquellos recursos típicamente costeros y sésiles o sedentarios, tales como percebe, erizo o bivalvos, serán las que en un primer momento pueden sufrir una drástica reducción de sus stocks. En el caso del *Prestige*, las evidencias existentes no muestran mortalidades catastróficas de este tipo de recursos, incluso en zonas muy afectadas y donde los niveles de contaminación orgánica han alcanzado valores muy elevados.

Aquellas especies móviles (que pueden desplazarse a otras zonas menos afectadas) o de hábitats oceánicos (y por tanto expuestas a concentraciones ambientales menores de contaminantes), muy probablemente sufren una escasa mortalidad directa, y por tanto no es esperable que presenten reducciones bruscas de sus stocks a corto plazo. Tales pueden ser los casos de crustáceos decápodos, cefalópodos y peces.

Si bien los efectos a corto plazo son los más llamativos y los más fácilmente detectables, quizás no sean los más preocupantes por su efecto en la dinámica poblacional de los recursos vivos, dado que son puntuales tanto en el tiempo como en el espacio. En este sentido, pueden ser mucho más relevantes los efectos subletales a medio y largo plazo que presentan los HAPs sobre diferentes procesos reproductivos (ya tratados anteriormente), cuya consecuencia final es la reducción de la tasa reproductiva y por tanto del tamaño poblacional y de la biomasa explotable.

A pesar de todo lo anterior, es difícil poder determinar la respuesta demográfica de los diferentes recursos pesqueros y marisqueros al impacto de un vertido de hidrocarburos, discriminando sus efectos de la elevada variabilidad de las poblaciones marinas asociada a múltiples causas naturales y antropogénicas. Los datos existentes hasta el momento corresponden a sólo unos meses desde el inicio de la catástrofe, y por tanto en la mayor parte de las especies no se habrían completado los procesos reproductivos que podrían verse potencialmente afectados por la marea negra (incluyendo el reclutamiento de nuevos individuos tras su fase larvaria). Por tanto, tan sólo se cuenta con información sobre efectos a corto plazo motivados principalmente por la mortalidad directa. Esta información demuestra la dificultad de relacionar el vertido y la reducción o aumento de las capturas.

Evidencias de efectos de la marea negra del *Prestige* sobre los recursos vivos

Hasta el momento se han hecho públicos únicamente datos correspondientes a campañas de prospección de las especies pelágicas, demersales y bentónicas en la plataforma continental gallega, realizadas por el IEO con posterioridad a la catástrofe^{xvii}. Esta información permite realizar comparaciones con campañas previas, como la campaña anual demersal realizada en octubre de 2002, dos meses antes del accidente, que no evidencian un efecto claro del vertido en la biomasa de las especies capturadas. De las 8 especies analizadas, 4 de ellas (gallo *L. bosccii*, bacaladilla, rape negro y rape blanco) aumentaron (en contra de lo predecible) su biomasa media tras la catástrofe, 3 de ellas disminuyeron (merluza, gallo *L. whiffiagonis*, y jurel) y una no presentó variaciones (cigala). Al mismo tiempo, el análisis comparativo de la distribución espacial de las capturas de dichas especies antes y después del *Prestige* tampoco permite concluir la existencia de una relación directa entre el efecto del vertido y cambios en la distribución de los stocks bentónicos y demersales. Únicamente la cigala parece presentar un patrón de variabilidad de su distribución relacionado con el vertido, ya que su densidad ha disminuido en la principal zona afectada, enfrente a la Costa da Morte.

Estos datos parecen corroborar las hipótesis presentadas previamente sobre la escala temporal de los efectos biológicos y la relación entre impacto, hábitat y movilidad de los organismos, dado que:

- El estudio se realizó en hábitats de plataforma continental, por lo tanto inicialmente menos afectados por el fuel.
- De las ocho especies analizadas, siete son peces con gran movilidad y tan solo la cigala es una especie típicamente sedentaria.
- El intervalo de tiempo transcurrido entre el vertido de fuel y la campaña fue muy corto.
- Existe una elevada variabilidad espacial y temporal en la abundancia y distribución de cualquier especie animal; y no se dispone de datos previos de campañas de prospección realizadas en diciembre y enero.

El percebe como ejemplo de respuesta compleja que necesita acciones de recuperación

Parece por tanto evidente que en el primer año tras el vertido son aquellos recursos sedentarios costero, que se han visto expuestos directamente al fuel, los más afectados. Un ejemplo del alto grado de afectación sufrida por este tipo de recurso (costero y sésil), y de la complejidad de la respuesta ante el vertido es el del percebe.

Los stocks de percebe en las costas gallegas presentan una estructura metapoblacional meroplanctónica^{xviii}. El percebe se distribuye de forma discontinua a lo largo de la línea de costa (en el intermareal e infralitoral superior) en zonas rocosas acantiladas muy expuestas al oleaje. Cada banco de percebe constituye una población local postlarvaria, cuyas tasas de crecimiento y reproductivas (producción de larvas) depende de las condiciones ambientales locales y de la densidad de la población. Una vez liberadas las larvas, se dispersan en el sistema pelágico por procesos de transporte físico dependientes de las condiciones oceanográficas, de modo que podemos considerar que los diferentes bancos de una amplia área geográfica aportan larvas a una población larvaria única dispersa a lo largo de la costa. Una vez completado el desarrollo larvario, se produce el reclutamiento en el que los individuos deben asentarse fijándose en los hábitats rocosos, sufriendo una metamorfosis e iniciando su fase postlarvaria. La zona de reclutamiento o asentamiento es en gran medida independiente de la zona de origen de las larvas.

Las peculiaridades de la fase inicial de asentamiento pueden tener importantes implicaciones en las consecuencias de la marea negra. En el percebe, el asentamiento inicial de las postlarvas se realiza preferencialmente sobre el pedúnculo de los adultos, para posteriormente desplazarse gradualmente para situarse directamente sobre el sustrato rocoso. Por tanto, las postlarvas precisan de una cierta densidad de adultos para favorecer el asentamiento inicial pero, debido a la competencia por el sustrato, el desarrollo de las postlarvas se ve inhibido en condiciones de elevadas densidades de adultos. Por tanto, los máximos de reclutamiento se generarían en condiciones de densidad intermedia.

El fuel que se deposita en la zona costera rocosa expuesta (hábitat típico del percebe) puede desprenderse a corto o medio plazo por efecto del oleaje. Sin embargo, en los bancos de percebe, la persistencia local de la contaminación (en organismos y en el medio) puede ser mucho más prolongada, por las siguientes razones:

- El percebe puede actuar como una "trampa" de fuel, dado que constituye una estructura tridimensional muy intrincada donde se puede acumular fuel.
- El fuel del *Prestige* es poco soluble y volátil, y por lo tanto muy persistente en el medio y actúa como una fuente de contaminación lenta pero constante sobre el ambiente y los organismos situados en sus proximidades.
- Los niveles de HAPs en las poblaciones de percebe situadas en las zonas afectadas son muy elevados, pero no se han producido mortalidades catastróficas. No se conoce la capacidad fisiológica de degradación de hidrocarburos que presenta esta especie, pero las evidencias de otros organismos similares indican que posiblemente sea escasa, por lo que es de esperar que los niveles de contaminantes permanezcan estables, disminuyan lentamente, o se incrementen si el fuel permanece atrapado entre los animales.

Por lo tanto nos encontramos con un escenario de poblaciones con elevados niveles de contaminantes y alta densidad, dado que no se ha permitido su extracción, por lo que pueden actuar como inhibidoras del reclutamiento. Además, dado los niveles de HAPs, muy probablemente su reproducción se vea comprometida y la producción larvaria sea inferior a la normal. Observaciones recientes indican niveles de reclutamiento en las poblaciones afectadas anormalmente bajos. Estas previsiones sugieren claramente la necesidad de realizar acciones de recuperación activa. Estas acciones deben ir dirigidas a extraer de modo selectivo el percebe afectado para permitir el reclutamiento de nuevos individuos ya no contaminados. Se debe tener en cuenta, como precaución a la hora de plantear una extracción de percebe para favorecer la recuperación, que el reclutamiento se ve limitado por elevadas densidades de adultos pero también por densidades muy bajas. Por esta razón, y siempre que sea posible, puede ser adecuado realizar sólo extracciones parciales y mantener una densidad baja de percebe aunque esté contaminado, para no limitar el reclutamiento.

Incidencia del vertido de hidrocarburos en la semilla de mejillón.

Si bien las poblaciones de mejillón en cultivo en las 3300 bateas de las rías gallegas no se han visto afectadas por la llegada de vertidos de hidrocarburos procedentes del *Prestige*, no se puede olvidar que las siete mil quinientas toneladas de semilla de mejillón –mexilla- proceden en más de un cincuenta por cien de las zonas litorales costeras afectadas por los vertidos del *Prestige*, y particularmente de aquellas comprendidas entre el Sur de la ría de Pontevedra y el cabo Finisterre. Por lo que una revisión del conocimiento previo a la catástrofe del *Prestige*, particularmente el derivado de los estudios realizados con posterioridad a la catástrofe del *Aegean Sea*, y de los primeros estudios realizados en la del *Prestige*, permiten una primera aproximación a la incidencia en el mejillón.

Pese a que los accidentes de petroleros no son un fenómeno reciente, todavía existe una gran polémica acerca del destino y los efectos del petróleo en el medio marino. Esto se debe, en parte, a que el comportamiento del crudo y sus consiguientes efectos van a depender, por un lado del tipo de crudo, pero también de las condiciones ambientales existentes en un momento dado en una zona concreta.

Si acudimos a los trabajos científicos editados por J. Ros Vicent (1996) sobre los efectos de la contaminación del *Aegean Sea* en las costas de Galicia, es posible establecer algunas pautas de la incidencia de esta nueva catástrofe.

Así, en el caso de una población natural de mejillón, hábitat litoral, se observó tres meses después del accidente del *Aegean Sea* la máxima concentración de hidrocarburos en sus tejidos corporales, seguida de una rápida disminución a partir de los 6 meses, situación que también se observó en los mejillones cultivados en batea (hábitat submareal) donde los valores mínimos de hidrocarburos se observaron al cabo de los siete meses. Sin embargo es necesario resaltar que cuando mejillones contaminados se llevaron a una zona no afectada por la contaminación, los hidrocarburos desaparecieron de los tejidos en dos meses.

Los fenómenos de ralentización en la eliminación de hidrocarburos en los mejillones de la zona afectada, tanto de litoral como de cultivo en batea (submareal) se han podido relacionar, al igual que en el caso de la fauna bentónica, con los procesos de depósito de hidrocarburos en el sedimento, donde continúa un lento proceso de degradación, fisicoquímica y biológica de sus compuestos, con la salvedad de que una parte substancial de la reducción que se observa, en dichos sedimentos, se debe a fugas o liberaciones hacia la columna de agua, lo que explica que en la zona del vertido donde se ha realizado el estudio (ría de Ares-Betanzos) se hayan observado dos procesos temporales de recontaminación de la columna de agua. Iguales efectos y comportamientos a los observados en el mejillón, suceden en las almejas y berberechos, especies infaunales y por lo tanto en permanente contacto con el sedimento.

Las investigaciones realizadas sobre los efectos de la catástrofe del Mar Egeo por Larretxea y Pérez Camacho^{xix} establecen que cuando los niveles de hidrocarburos en tejidos de mejillón son altos, se produce una depresión del crecimiento. Si estos niveles persisten durante un tiempo, pueden, incluso, ocasionar la muerte del individuo. No

obstante, cuando el nivel en los tejidos no alcanza valores letales, los efectos de la contaminación sobre el crecimiento puede que no resulten evidentes en un primer momento con el uso de las técnicas tradicionales de estimación directa del crecimiento, pero sí se detectan cuando se evalúa el balance energético, balance estimado como diferencia entre la energía incorporada y la energía consumida, o crecimiento potencial (“scope for growth”, SFG) de los individuos, herramienta que permite determinar la energía disponible para el crecimiento y la reproducción.

En este sentido, las investigaciones realizadas sobre los efectos de la catástrofe del *Aegean Sea*, permitieron observar valores de SFG hasta cuarenta veces inferiores respecto a los mejillones no contaminados, llegando en algunos casos esta alteración del balance de energía a tener efectos letales. Los estudios realizados permitieron, también, establecer que los moluscos bivalvos, no solo acumulan un determinado nivel de hidrocarburos en sus tejidos, sino que este les afecta a sus funciones vitales. La alteración de estos procesos, en especial la tasa de bombeo, la ingestión de alimento y la absorción, inciden en la energía disponible para el crecimiento y el desarrollo del tejido reproductivo de los organismos filtradores. La reducción de la eficiencia de absorción, que supone un menor grado de aprovechamiento del alimento ingerido, viene provocada por las alteraciones producidas por los hidrocarburos en las células de la glándula digestiva responsables de la digestión intracelular.

En los últimos años se han desarrollado métodos bioquímicos que permiten la identificación y evaluación del impacto de los vertidos de contaminantes en el medio acuático. En particular, algunos de estos métodos pueden utilizarse como indicadores de exposición, de efecto (lesiones a nivel celular), y en ocasiones como señal de alarma, antes de que ocurran cambios deletéreos a niveles más complejos de organización biológica (población, comunidad). En una aproximación a los aspectos bioquímicos de respuesta a los hidrocarburos^{xx} en diversos trabajos realizados durante y después del vertido del *Aegean Sea*, en bivalvos de diferente localización geográfica, en los que han examinado algunos bioindicadores, pudieron confirmar la sensibilidad de los mismos a la presencia de hidrocarburos, pero también observaron la incidencia sobre dichos biomarcadores de otros factores, como ritmos fisiológicos endógenos de las especies estudiadas, que no permitieron establecer las correlaciones más esperadas.

Como ya se ha indicado, en el caso del vertido del fuel-oil del *Prestige*, dada la gran dispersión del vertido, es de esperar una baja toxicidad aguda –excepto en zonas muy concretas–, y toxicidad crónica elevada a medio y largo plazo, causada por los productos de degradación del fuel que una vez incorporados por los organismos (filtración de agua), pueden desencadenar un incremento de estrés. Incremento, que si no es correctamente controlado por el metabolismo de los organismos, puede causar daños a nivel de lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.

Por otro lado, el ciclo gametogénico de los moluscos bivalvos está estrechamente relacionado con los procesos de almacenamiento y/o movilización de reservas, por lo que, la evolución de los distintos componentes bioquímicos (proteínas, carbohidratos y lípidos) depende, en buena medida, de la etapa del ciclo reproductor en que se encuentre el animal y de las condiciones ambientales que lo rodean. En concreto, los lípidos experimentan un marcado ascenso en paralelo con el desarrollo gonadal; el ascenso es más marcado en las hembras, al ser los lípidos componentes prioritarios de los ovocitos, habiéndose establecido la importancia de la fracción lipídica en los procesos

metabólicos de los moluscos bivalvos y, en consecuencia, su incidencia en su comportamiento ecofisiológico.

En un trabajo^{xxi} iniciado en el momento de autorización de recogida de semilla de mejillón para su cultivo en batea (febrero de 2003), el grupo de Fisiología de Moluscos Bivalvos del CSIC-IIM, ha realizado una caracterización de semillas de siete procedencias diferentes desde la costa de Bueu hasta el Golfo Artabro, caracterizando su contenido en hidrocarburos, composición bioquímica y carga energética adenilica – indicador de estrés-, y su posterior seguimiento en cultivo en batea en las Rías de Arousa y Ares-Betanzos. Los resultados relativos a las características de la semilla establecen un gradiente de contenido en hidrocarburos con máximos en las zonas de mayor impacto del vertido, semillas recolectadas entre Bueu y Finisterre (Figuras 7 y 8).

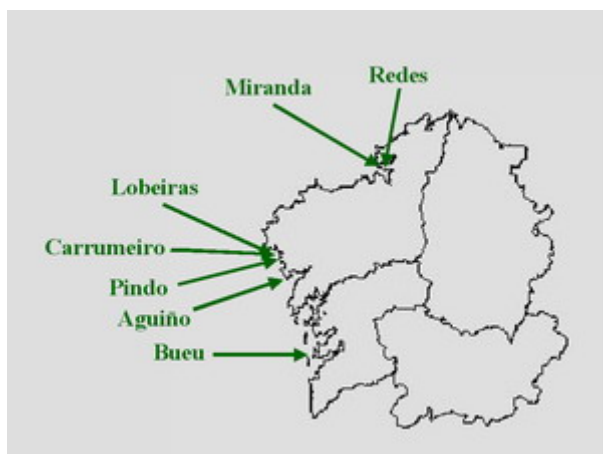


Figura 7. Localización de las distintas poblaciones de semilla de mejillón.

Por lo que respecta a los datos relativos al tiempo de supervivencia en desecación de los distintos tipos de semilla, también se ha podido establecer diferencias asociadas a la proximidad a la zona de mayor impacto, observándose que aquellas semillas procedentes del interior de la ría de Ares-Betanzos (Redes) presentan los valores más elevados de supervivencia, mientras que las procedentes de la zona comprendida entre Corrubedo y Finisterre, más afectada por la contaminación del vertido del *Prestige* los valores más bajos.

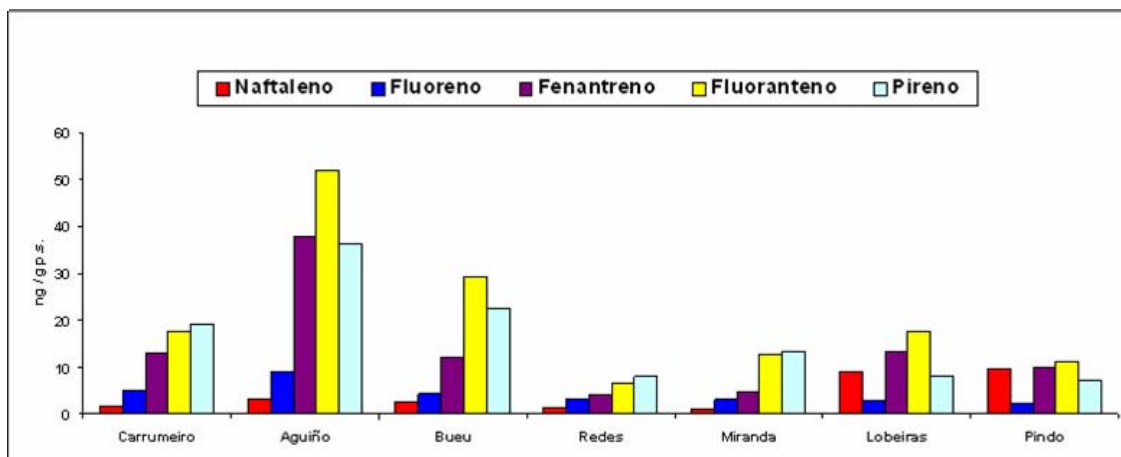


Figura 8. Niveles de 5 HAPs en semilla de mejillón recolectada en 7 localidades costeras gallegas (entre Bueu y Golfo Artabro) en Febrero de 2003.

Pendientes aún de resultados definitivos se observa una dinámica de detoxificación en la semilla de mejillón puesta en cuerdas de cultivo similar a la observada en el mejillón afectado por los vertidos del *Aegean Sea* y transplantado a zonas libres de hidrocarburos.

Por lo que respecta a la composición bioquímica se ha podido establecer que la semilla con mayores contenidos de hidrocarburos (HAPs) presenta un menor contenido en proteínas y mayor en lípidos, y particularmente en triglicéridos, clase lipídica donde se observan las mayores diferencias.

También se han podido establecer diferencias significativas en tasas de crecimiento, en talla y en peso, asociadas tanto a la presencia de hidrocarburos como a la zona de cultivo.

Como en otras especies analizadas y citadas anteriormente los resultados obtenidos con mejillón son preliminares, y aspectos tales como los demográficos, de reclutamiento, y reproducción completarán esta visión inicial. Sin embargo, a partir de los datos de las investigaciones realizadas hasta el momento actual, todo parece indicar que la primera cosecha “post-Prestige” de mejillón se mantendrá dentro de la normalidad, si bien es necesario conocer los efectos en la fijación y estructura demográfica de las poblaciones de semilla de roca en el primer año posterior a la catástrofe..

Impacto sobre las pesquerías

Los efectos que una catástrofe como la del *Prestige* provoca sobre el sector pesquero son múltiples, pero los podríamos clasificar en dos grandes grupos:

- Efectos directos derivados del impacto del fuel tanto sobre los recursos vivos (efectos ecológicos, discutidos previamente, que van a afectar a las capturas futuras y a la sostenibilidad de los stocks) y materiales (sobre los aparejos).
- Efectos indirectos: cierres cautelares, efectos comerciales (sobre los mercados) y efectos sobre el consumidor (seguridad alimentaria).

Todos estos efectos presentan una repercusión final sobre la economía del sector pesquero y de todos los sectores ligados al mismo. Los efectos sobre las capturas van a venir directamente determinados por los cambios demográficos que la marea negra genere en las poblaciones explotadas, tal como se describió previamente. En este capítulo nos centraremos en el análisis de los efectos sobre aparejos y consecuencias comerciales.

Efectos sobre los aparejos

Galicia presenta un sector pesquero artesanal y semi-industrial que se encuentra muy diversificado en cuanto a flotas, aparejos o especies explotadas. Los efectos sobre cada una de las flotas van a depender del nivel de impacto del vertido de hidrocarburos sobre los ecosistemas que exploten. Por otra parte, dentro de una misma área geográfica, se ha constatado que los diferentes tipos de artes utilizados van a presentar diferente sensibilidad a la presencia de fuel en el medio. Entendemos por sensibilidad la probabilidad de que un aparejo que opere en una zona afectada presente manchas e impregnación por fuel, lo que en la mayor parte de los casos lo inutiliza.

Junto con el más que notable impacto que el fuel puede acarrear a las capturas de las diferentes flotas, otro impacto importante desde el punto de vista económico son los posibles daños producidos por el fuel en los aparejos de pesca. Al igual que sucedía con las capturas, la sensibilidad de las diferentes artes es muy variable y está directamente relacionada con el ecosistema y hábitats que explotan. Si establecemos una clasificación de la sensibilidad de los aparejos desde un punto de vista cualitativo, todas las artes de fondo presentarían una sensibilidad alta (nasas, enmalle) o muy alta (arrastre, dragas), el cerco tendría una sensibilidad moderada o baja, y el palangre baja o nula. Las observaciones efectuadas por la Xunta de Galicia (XUGA) e IEO^{xxii} y el grupo de Biología y Pesquerías de Recursos Marinos de la Universidad de A Coruña (datos no publicados), parecen corroborar estas predicciones para el caso del *Prestige*.

Los datos proporcionados por la XUGA, obtenidos en una serie de pescas experimentales en las Rías Baixas sobre la afectación de diferentes artes al fuel, indican que un 8.6% de nasas, un 16.4% de miños y 6.1% de rastros de vieira empleados resultaron manchados por fuel durante los primeros meses tras el vertido. Estos resultados, y considerando que artes como el arrastre de fondo no han sido testadas y que el muestreo solo se efectuó en un área geográfica de moderado impacto, muestran niveles de afectación preocupantes. Resultados complementarios sobre artes de arrastre en la plataforma continental de la Costa da Morte y norte de la provincia de A Coruña, indican grados de afectación mucho más elevados.

Cierres de zonas y ceses de actividad: causas y consecuencias

Al contrario de lo que ha sucedido con otros aspectos de la gestión de la catástrofe, la administración pública con competencias en la gestión de recursos marinos (XUGA en aguas interiores y Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en aguas exteriores, básicamente la plataforma continental) reaccionaron rápidamente en lo que respecta al establecimiento de prohibiciones de pesca y marisqueo en las zonas afectadas. Así, entre el 16 Noviembre y principios de Diciembre, se decretó gradualmente el cese de la actividad pesquera y marisquera a largo de toda la costa entre Cedeira y A Guarda, desde el intermareal hasta las 12 millas de la costa. A pesar de esta rápida reacción, llama la atención que las aguas situadas a más de 12 millas de la costa no se cerraran a la actividad extractiva, por lo que la pesquería de arrastre continuó trabajando ininterrumpidamente, a pesar de las numerosas evidencias de que los fondos estaban afectados.

Este tipo de cierres son, con frecuencia, medidas cautelares tomadas por la administración por muy diversas causas: paros biológicos, descensos bruscos en las capturas, procesos de contaminación, etc. En el caso que nos atañe, está claro que la causa que motivó el cese de las actividades extractivas, fue la posible contaminación de los organismos unido a los posibles efectos del fuel sobre las artes de pesca. A partir de Febrero (con el butrón y trasmallo en interior de las Rías Baixas) se inició el proceso de apertura de zonas a la pesca, de forma gradual por artes y zonas de pesca, de modo que en Junio de 2003 (7 meses después del inicio de la crisis), se habían levantado las prohibiciones de faenar excepto en la zona costera de Costa da Morte, y en Octubre de 2003 se completó la apertura de las últimas zonas cerradas al marisqueo en la Costa da Morte.

En el caso del *Erika* la administración francesa decretó también el cierre temporal de muchas zonas a la actividad extractiva, en particular la explotación de bivalvos en zonas costeras (los recursos fundamentales económicamente en la zona afectada)^{xxiii}. En concreto, en lo que respecta a las zonas de producción de bivalvos afectadas por el vertido, el cierre de las mismas tuvo lugar en el plazo aproximado de entre 15 y 30 días desde el inicio del vertido, efectuándose una apertura gradual de las mismas en función de los niveles de afectación; por ejemplo, zonas de Finistère permanecieron tan sólo 2 meses cerradas, mientras que zonas de la región del Loire-Atlantique o de Vendée no fueron abiertas hasta un año y medio después del vertido. Obviamente la decisión de reapertura está basada en consideraciones científicas pero no deja de tener un componente político fundamental, por lo que las diferencias en los plazos de cierre de actividad entre ambas mareas negras (entre 7 y 11 meses en las zonas más afectadas de Galicia y 18 meses en Francia) deben ser interpretadas desde una perspectiva política y social.

El pulpo puede ser un buen ejemplo de los efectos secundarios del cierre de actividad. Este cefalópodo se caracteriza por presentar unas de crecimiento muy elevadas tasas. Ante el cese de la actividad de extracción, el stock de pulpo va a experimentar un aumento de la biomasa total, motivado por el crecimiento individual y el reclutamiento de nuevas cohortes, unido a un descenso de la mortalidad por pesca por la ausencia de explotación. Por tanto, en el momento de la reapertura de la pesquería y a corto plazo, se observaron importantes aumentos de capturas y del tamaño corporal de los animales capturados (y por tanto de su valor económico), pero estas elevadas capturas iniciales

descendieron rápidamente en las zonas abiertas (donde se concentró un gran esfuerzo de pesca), y en pocas semanas o meses las capturas se situaron en niveles de mínimos históricos.

Si bien un cese temporal conlleva un efecto económico negativo sobre la flota afectada (mitigado en muchos casos por las ayudas de la administración), los efectos sobre los recursos y pesquerías son más complejos. Así, las reaperturas graduales conllevan la concentración del esfuerzo de pesca en zonas concretas que pueden ser sobre-explotadas rápidamente. Pero, al mismo tiempo, el cierre cautelar constituye una veda total de la actividad pesquera (de una extensión espacial y temporal muy superior a las vedas que habitualmente se utilizan en la gestión pesquera). Esta veda *de facto* debería generar efectos positivos permitiendo el crecimiento y recuperación de los stocks, muchos de ellos ya en un estado previo de sobre-explotación. Pero no debemos olvidar que este efecto secundario positivo se superpone a los efectos biológicos negativos que una marea negra genera, por lo que el resultado final, que puede ser medido por medio de las capturas de las flotas comerciales, es difícil de predecir. Una buena monitorización de la dinámica poblacional y de la actividad de la flota debería permitir discriminar los diferentes efectos descritos y generar un importante conocimiento sobre los efectos de las mareas negras, la estrategia y comportamiento de las flotas y el efecto de vedas extensivas de la actividad pesquera.

ⁱ Informes del IEO disponibles en su web (http://www.ieo.es/Prestige/IEO_Prestige_intro.html):

IEO (2003). Informe nº 2. Contenido de hidrocarburos en el sedimento.

Sánchez F. (2003). Presencia y cuantificación de fuel en el fondo de la plataforma de Galicia.

Punzón A. & A. Serrano (2003). Informe nº 9. Presencia y cuantificación de fuel en el fondo de la plataforma del mar Cantábrico.

Villamar B. (2003). Informe nº 10. Operatividad de las artes de pesca cerco y línea de mano ante la presencia de fuel en el Cantábrico.

Sánchez F. (2003). Informe nº 14. Presencia de fuel en el fondo de la plataforma de Galicia y mar Cantábrico. Situación en primavera de 2003.

ⁱⁱ Carballeira A. (2003). Consideraciones para el diseño de un programa de monitorización de los efectos biológicos del vertido del Prestige. *Ciencias Marinas* 29:123-139.

ⁱⁱⁱ Paine R.T., J.L. Ruesink, A. Sun, E.L. Soulanille, M.J. Wonham, C.D.G. Harley, D.R. Brumbaugh & D.L. Second (1996). Trouble on oiled waters: Lessons from the *Exxon Valdez* oil spill. *Annual Review of Ecology and Systematics* 27:197-235.

Peterson C.H. (2001). The "Exxon Valdez" oil spill in Alaska: Acute, indirect and chronic effects on the ecosystem. *Advances in Marine Biology* 39:1-103.

^{iv} Ott R., C. Peterson & S. Rice. *Exxon Valdez* oil spill (EVOS) legacy: Shifting paradigms in oil ecotoxicology. Disponible en <http://www.alaskaforum.org/>

^v Varela et al (1996) Seguimiento de la contaminación producida por el accidente del buque "*Aegean Sea*". Sistema Pelágico. In "Seguimiento de la contaminación producida por el accidente del buque "*Aegean Sea*". (Joaquín Ros Vicent, Ed.) Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp.: 15-63.

^{vi} Mora et al (1996a) Estudio biosedimentario de la Ría de Ares y Betanzos tras la marea negra del "*Aegean Sea*". In "Seguimiento de la contaminación producida por el accidente del buque "*Aegean Sea*". (Joaquín Ros Vicent, Ed.) Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp.: 151-166.

^{vii} Mora et al (1996b) Seguimiento mensual del bentos infralitoral de la Ría de Ares y Betanzos antes y después de la marea negra del "*Aegean Sea*". In "Seguimiento de la contaminación producida por el accidente del buque "*Aegean Sea*". (Joaquín Ros Vicent, Ed.) Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp.: 137-150.

^{viii} López Jamar et al (1996) Consecuencias del vertido de crudo del "*Aegean Sea*" sobre la macrofauna bentónica submareal. In "Seguimiento de la contaminación producida por el accidente del buque "*Aegean*

Sea". (Joaquín Ros Vicent, Ed.) Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp.: 65-106.

^{ix} Porte, C., X. Biosca, D. Pastor, M. Solé, J. Albaigés (2000). The Aegean Sea oil spill in the Galicia Coast (NW Spain). II. Temporal study of the hydrocarbons accumulation in bivalves. *Environ. Sci. Technol.*, **34**, 5067-5075.

^x Solé, M., C. Porte, X. Biosca, C. L. Mitchelmore, D. R. Livingstone, J. Albaigés (1996). Effects of the "Aegean Sea" oil spill on biotransformation enzymes, oxidative stress and DNA-adducts in digestive gland of the mussel (*Mytilus edulis* L.). *Comp. Biochem. Physiol.*, **113C**, 257-265.

^{xi} Narbonne J.F., M. Daubeze, P. Baumard, H. Budzinski, C. Clerandeanu, F. Akcha, P. Mora, P. Garrigues (2001). Biochemical markers in mussel, *Mytilus* sp., and pollution monitoring in European coasts: data analysis. *Biomarkers in Marine Organisms*, 215-236.

^{xii} IEO (2003). Informe nº 1. Contenido de hidrocarburos en la columna de agua. Disponible en http://www.ieo.es/Prestige/IEO_Prestige_intro.html/.

^{xiii} EPA (1986). Quality criteria for water. EPA 440/5-86-001.

^{xiv} Ver nota 7.

^{xv} Ros Vicent J. (ed.). (1996). Seguimiento de la contaminación producida por el accidente del buque *Aegean Sea*. Ministerio de Medio Ambiente.

^{xvi} Sánchez F. & I. Olaso (en prensa). Ecological Modelling

^{xvii} Sánchez F., S. Parra, A. Serrano & F. Velasco (2003). Informe nº 6. Primera estimación del impacto producido por el vertido del Prestige en las comunidades demersales y bentónicas de la plataforma continental de Galicia. Disponible en http://www.ieo.es/Prestige/IEO_Prestige_intro.html/.

^{xviii} Molares J. & J. Freire (en prensa). Development and perspectives for community-based management of the goose barnacle (*Pollicipes pollicipes*) fisheries of Galicia (NW Spain). *Fisheries Research*

^{xix} Larretxea y Perez Camacho (1996). Evolución temporal de la contaminación por hidrocarburos en el mejillón de batea. Incidencia de concentraciones subletales de la fracción acomodada en agua sobre los parámetros del balance energético. In "Seguimiento de la contaminación producida por el accidente del buque *Aegean Sea*". (Joaquín Ros Vicent, Ed.) Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp.: 107-123.

^{xx} Porte et al (1996). Efectos del vertido de petróleo del *Aegean Sea* sobre las poblaciones de bivalvos de la costa de Galicia. In "Seguimiento de la contaminación producida por el accidente del buque *Aegean Sea*". (Joaquín Ros Vicent, Ed.) Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp.: 125-135.

^{xxi} U. Labarta, MJ Fernández Reiriz, JMF Babarro y JM Bayona (2003). Informe sobre la incidencia del contenido de hidrocarburos en la composición bioquímica, clase de lípidos y ácidos grasos de la semilla de mejillón de diferentes orígenes de la costa gallega afectada por la marea negra del Prestige.

^{xxii} Datos de la XUGA disponibles en la web <http://www.cmm-prestige.cesga.es/>.

Informes del IEO sobre presencia de fuel en fondo y afectación de aparejos citados en nota 7.

^{xxiii} IFREMER (2002). Surveillance du milieu marin. Travaux du Réseaux National d'Observation de la qualité du milieu marin. Edition 2002. Disponible en <http://www.ifremer.fr/envlit/surveillance/rnopublis.htm/>.