



**PROGRAMA DE INTERVENCIÓN CIENTÍFICA EN I+D PARA LA ACCIÓN  
ESTRATEGICA CONTRA VERTIDOS MARINOS**

**Ministerio de Ciencia y Tecnología**

**14 de febrero de 2003**

**Este documento servirá como marco de referencia de las actuaciones del MCYT en cooperación con los Gobiernos Autónomos en la zona afectada por el vertido del buque *Prestige*.**

## Índice

<b>1</b>	<b>Resumen ejecutivo</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Antecedentes</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Análisis de las fases ligadas al vertido difuso que afecta en estos momentos a las costas gallegas</b> .....	<b>13</b>
<b>4.1</b>	<b>Primera fase de impacto físico y químico</b> .....	<b>13</b>
<b>4.2</b>	<b>Segunda fase de impacto ecológico y ecotoxicológico</b> .....	<b>13</b>
<b>4.3</b>	<b>Tercera fase de impacto ecológico: minimización y análisis</b> .....	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Objetivos científicos y programas de investigación propuestos</b> .....	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Programas de trabajo</b> .....	<b>17</b>
<b>6.1</b>	<b>Estudio de la problemática asociada al pecio (PT1)</b> .....	<b>17</b>
6.1.1	Caracterización físico-química del fuel .....	17
6.1.2	Caracterización de la zona de hundimiento y su contaminación.....	24
6.1.3	Evolución y estabilidad de la estructura del pecio .....	29
<b>6.2</b>	<b>Aplicación de la oceanografía operacional a los derrames de hidrocarburos (PT2)</b> .....	<b>31</b>
6.2.1	Datos oceanográficos y observaciones del derrame .....	32
6.2.2	Modelización meteorológica .....	34
6.2.3	Modelización oceanográfica.....	35
6.2.4	Desarrollo de un sistema integrado operacional de predicción de variables geofísicas relevantes y de seguimiento de derrames .....	38
<b>6.3</b>	<b>Distribución y dinámica del fuel-oil en los ecosistemas afectados. Limpieza y gestión de los residuos (PT3)</b> .....	<b>40</b>
6.3.1	Distribución de hidrocarburos en la columna de agua. ....	41
6.3.2	Distribución de hidrocarburos en organismos indicadores. Seguimiento espacio-temporal.....	43
6.3.3	Distribución de hidrocarburos en el sedimento marino.....	45
6.3.4	Procesos de degradación fotoquímica y microbiológica .....	47
6.3.5	Investigación sobre nuevos métodos de limpieza de playas y del litoral ..	48
6.3.6	Gestión de los residuos generados durante la limpieza .....	53
<b>6.4</b>	<b>Impacto sobre los sistemas biológicos (PT4)</b> .....	<b>55</b>
6.4.1	Evaluación del impacto sobre la biodiversidad: Distribución y abundancia de poblaciones y comunidades. Seguimiento de la recuperación de los ecosistemas	58
6.4.2	Evaluación del impacto sobre especies relevantes desde el punto de vista ecológico y comercial.....	66
6.4.3	Toxicidad del fuel, sus componentes, y sus productos de degradación sobre aspectos biológicos de especies relevantes para el ecosistema. ....	70
6.4.4	Evaluación del impacto sobre redes tróficas y procesos de bioacumulación.....	73

6.4.5	Evaluación del impacto sobre los ecosistemas profundos en la zona de hundimiento .....	78
<b>6.5</b>	<b>Valoración económica del efecto del vertido sobre el medio marino y el litoral (PT5).....</b>	<b>81</b>
6.5.1	Actividades económicas y de consumo afectados.....	82
6.5.2	Protocolos de actuación y planes de contingencia para vertidos de sustancias contaminantes en el mar .....	85
<b>6.6</b>	<b>Coordinación general, gestión y aspectos horizontales (PT6) .....</b>	<b>92</b>

## 1 Resumen ejecutivo

El **Programa de Intervención Científica** del MCyT se ha elaborado desde la óptica de un proyecto de naturaleza científica orientado a poner a disposición de los responsables operativos los conocimientos necesarios para abordar la problemática planteada por el vertido del buque *Prestige*, tanto en el momento actual como en sus consecuencias futuras, a medio y largo plazo. Así mismo pretende sentar las bases para la respuesta ante posibles accidentes futuros. La competencia máxima y la excelencia han de presidir los criterios de selección de expertos y actuaciones que, forzosamente, tienen un carácter dinámico, dependiente del desarrollo que pueda tener la evolución del vertido puntual y difuso, de los resultados que se obtengan y de las propuestas que se vayan produciendo.

Para garantizar tanto unas actuaciones iniciales adecuadas como una coordinación de los medios de restauración ambiental, que permitan una minimización de los impactos sobre el medio marino y el litoral, es imprescindible conocer las referencias históricas recientes, considerar los últimos avances científicos y asentarse sobre una investigación de calidad. Una investigación de calidad es sin duda una de las condiciones necesarias para una predicción oceánica fiable y para una implementación y optimización efectiva de los medios de lucha contra la contaminación dirigida hacia la minimización de los impactos sobre el medio ambiente marino y el litoral.

En términos generales, el vertido del buque *Prestige* que afecta en estos momentos a la zona marítima y el litoral del norte peninsular plantea una serie de cuestiones, a las cuales deberá darse respuesta desde planteamientos multidisciplinarios de investigación. A modo de ejemplo:

- ¿Cuál es el comportamiento que va a tener el buque y el fuel que contiene, durante los próximos meses, en la zona del hundimiento?
- ¿Cuál es el comportamiento que tendrá el fuel vertido en el medio oceánico y en la zona litoral?. ¿Cuánto tiempo es previsible que permanezca en el medio?
- ¿Qué técnicas de restauración deben recomendarse?
- ¿Cuales serán los efectos a corto, medio y largo plazo sobre las comunidades biológicas, tanto de valor ecológico como comercial?.
- ¿Qué medidas convendrán adoptarse con vistas a la actividad pesquera y al control alimentario?

Para responder de forma adecuada al reto científico que se plantea, se han estructurado las acciones propuestas en seis grandes Programas de Trabajo (PT), que se especifican más adelante en este documento, indicándose también sus marcos temporales:

1. Estudio del pecio, desde la perspectiva de la estructura del buque y de las características y comportamiento de su contenido.
2. Seguimiento y modelización de las trayectorias que puedan seguir los vertidos de fuel desde la zona del hundimiento, su evaluación oceanográfica y su incidencia sobre la implementación de medidas de lucha contra el vertido en puertos, rías, y costa en general.

3. Estudio del comportamiento ambiental del fuel-oil derramado con vistas al seguimiento de su distribución y persistencia en el medio.
4. Estudio del impacto sobre el medio biológico, desde el punto de vista de su valor ecológico y comercial.
5. Impacto socioeconómico del accidente y propuestas de prevención de riesgos (protocolos y planes de contingencia).
6. Coordinación general y tareas horizontales para asegurar la optimización y sinergias de todo el esfuerzo investigador y una adecuada transferencia de los resultados a la sociedad.

En este marco de seis Programas de Trabajo se articulan las distintas tareas y acciones de investigación específicas para las que se han establecido 3 marcos temporales: 2 meses, 6 meses y 3 años.

Conviene destacar finalmente la interdisciplinariedad que caracteriza este Programa, así como la participación activa de investigadores de todo el sistema nacional de I+D+I, incluyéndose asimismo la participación de empresas y la coordinación con administraciones públicas responsables de la gestión del medio ambiente marino y el litoral.

## 2 Antecedentes

El 20 de noviembre de 2002 el CSIC realizó un primer informe sobre las capacidades del organismo ante el vertido del buque *Prestige*. En dicho informe se realizaba un análisis del problema desde una perspectiva científica y se presentaban las capacidades del CSIC en relación con acciones específicas tanto en la zona del hundimiento como en el litoral gallego.

El 25 de noviembre de 2002, se constituyó en el CSIC el grupo de trabajo “Capacidades del CSIC ante el vertido del *Prestige*” y se informó sobre la situación en el Comité Científico Asesor del mismo día. Posteriormente, el tema fue igualmente informado en la Junta de Gobierno del CSIC del día 27 de noviembre.

El 29 de noviembre de 2002, el Presidente del CSIC recibió un oficio del Subsecretario de Ciencia y Tecnología en el que se comunicaba que en la Comisión Interministerial para el seguimiento de los daños ocasionados por el buque *Prestige* del día 26 de noviembre se había acordado solicitar al CSIC un informe sobre los siguientes puntos concretos:

- Determinación de la concentración de hidrocarburos en el agua y en los organismos a distintas profundidades, en la zona de hundimiento y en el litoral.
- Comportamiento de las posibles salidas de fuel en el fondo marino.
- Seguimiento y modelización de las trayectorias que puedan seguir los vertidos de fuel en la zona del hundimiento.

El 2 de diciembre de 2002, en el marco de una reunión de coordinación de Organismos Públicos de Investigación (OPIS) co-presidida por el Subsecretario y el Secretario General del MCyT, el CSIC presentó un segundo informe, “El CSIC ante el vertido del buque *Prestige*”. El informe del CSIC completaba y complementaba el informe inicial de 20 de noviembre y planteaba un plan de actuación científica general, integral e interdisciplinario, que involucraría a una parte importante de la comunidad científica nacional (universidades, OPIS, centros de la administración autonómica, etc.), semejante en cuanto a su planteamiento al que existió con motivo del vertido de Aznalcollar. Entre otras iniciativas, el informe del CSIC planteaba las acciones específicas que se deberían acometer (a corto, medio y largo plazo) para responder a la demanda de información solicitada por la Comisión Interministerial para el seguimiento de los daños ocasionados por el buque *Prestige*. El IEO presentó un informe “Posibles actuaciones en relación con el vertido del buque *Prestige*” en el que presentaba sus capacidades desde un punto de vista sectorial. El Secretario General del MCyT encargó al CSIC la elaboración de un documento que estableciese el **Programa de Intervención Científica del MCyT** en relación con el buque *Prestige*.

Como consecuencia, por la tarde de ese mismo día, se celebró en el CSIC una reunión de coordinación entre OPIS, en la que se establecieron de forma conjunta las tareas a realizar, así como la estructura inicial del **Programa de Intervención Científica** que aquí se propone.

El Programa se ha estructurado en seis grandes ejes de actuación o Programas de Trabajo (PT):

- (1) Estudio del pecio, desde la perspectiva de la estructura del buque y de las características y comportamiento de su contenido.
- (2) Seguimiento y modelización de las trayectorias que puedan seguir los vertidos de fuel desde la zona del hundimiento, su evaluación oceanográfica y su incidencia sobre la implementación de medidas de lucha contra el vertido en puertos, rías, y costa en general.
- (3) Estudio del comportamiento ambiental del fuel-oil derramado con vistas al seguimiento de su distribución y persistencia en el medio, así como a las operaciones de limpieza y remediación.
- (4) Estudio del impacto sobre el medio biológico, desde el punto de vista de su valor ecológico y comercial
- (5) Impacto socioeconómico del accidente y propuestas de prevención de riesgos (protocolos y planes de contingencia)
- (6) Coordinación general y tareas horizontales para asegurar la optimización y sinergias de todo el esfuerzo investigador y una adecuada transferencia de los resultados a la sociedad.

Es importante precisar que las actuaciones propuestas son integrales y que se plantea un esquema temporal de respuesta científica a corto, medio y largo plazo, tomando como referencia temporal el principio de diciembre de 2002. Por lo tanto, el **Programa de Intervención Científica del MCyT** pretende:

- Responder a corto plazo con acciones de investigación específicas de especial interés en la fase operacional actual (2 meses)
- Responder a medio plazo a las solicitudes formuladas con el avance de información que sea consistente (6 meses)
- Plantear el seguimiento y la información a medio y largo plazo de los mismos aspectos y de otros que aparezcan o que obedezcan a una dinámica temporal más larga (hasta aproximadamente 3 años)

Este **Programa de Intervención Científica del MCyT** se ha elaborado desde la óptica de un proyecto de naturaleza científica orientado a poner a disposición de los responsables operativos la visión y el enfoque científico al problema, tanto en su situación actual como en las consecuencias futuras a la vista de las previsiones actuales.

En particular es importante resaltar que un gran número de las acciones de investigación que se están llevando a cabo desde el 20 de noviembre están en estos momentos siendo al menos parcialmente recogidas en las recomendaciones del Comité Científico Asesor del hundimiento del *Prestige*, comité creado por el Vice-Presidente Primero del Gobierno desde la Comisión Interministerial el lunes 9 de diciembre.



**Algunas preguntas a las que la intervención científica puede contribuir a responder mediante las acciones incluidas en este Programa de Intervención Científica del MCyT ante el vertido del *Prestige*:**

¿Cuánto está vertiendo el *Prestige*?

¿Cuánto tiempo va a durar ese vertido?

¿Qué se puede hacer para evitarlo?

¿Qué daños ha causado en la zona próxima al hundimiento?

¿Qué daños ha causado y causará a la pesca del banco de Galicia y zonas próximas?

¿Qué pérdidas ha causado en el marisqueo y pesca de las zonas afectadas?

¿Cuánto tiempo tardará en recuperarse la biodiversidad y las poblaciones de especies comerciales de interés comercial?

¿Se puede acelerar esa recuperación: repoblación, bio-remediación?

¿Durante cuánto tiempo no se podrán consumir los productos de la zona?

¿Cuáles son los criterios de seguridad alimentaria que hay que adoptar?

### 3 Introducción

El reciente accidente del petrolero *Prestige* frente a las costas gallegas no es, desgraciadamente, un suceso infrecuente en los anales de agresiones catastróficas al medio ambiente causados por derrames de hidrocarburos. En nuestro entorno han tenido lugar en los últimos 30 años los siguientes accidentes:

<b>Buque</b>	<b>Año</b>	<b>Lugar</b>	<b>Capacidad carga (Tn)</b>
Polycommander	1970	Vigo, España	32.000
Urquiola	1976	La Coruña, España	100.000
Amoco Cadiz	1978	Bretaña, Francia	223.000 *
Andros Patria	1978	Vizcaya, España	50.000
Tanio	1980	Bretaña, Francia	16.000
Cavo Cambanos	1981	Tarragona, España	20.000
Sea Spirit	1990	West Gibraltar	12.200 *
Haven	1991	Genova, Italia	144.000
Aegean Sea <sup>1</sup>	1992	La Coruña, España	15.000 *
Erika	1999	Bretaña, Francia	12.000 *

\*carga derramada

En el que nos ocupa, aparte del vertido de 15.000 toneladas de fuel en superficie, se produjo el hundimiento del petrolero y la fuga continuada de fuel desde el fondo. En estos momentos la popa se encuentra hundida en la posición 42°12.6 N, 12°03.0 W a una profundidad de 3.800 m y la proa a 42°10.8 N, 12°0.6W a 3.600m. Se estima que la proa contiene unas 37.900 toneladas de crudo mientras que la popa contiene unas 25.900 toneladas.

A diferencia del caso del vertido de *Aznalcollar*, una de las catástrofes ambientales más importantes de los últimos años en España, en este caso no se parte de cero. En efecto, en Galicia y la cornisa Cantábrica, el CSIC, el IEO, AZTI, las Universidades así como los Centros de los Gobiernos autónomos disponen de equipos de investigación competentes que trabajan de forma sólida en temas marinos y litorales. En particular, existen distintas redes de observación del estado del litoral que nos permiten disponer de datos fiables sobre la calidad del medio marino en relación con los contaminantes químicos, bacteriológicos o las microalgas tóxicas, las patologías y mortalidades anormales de moluscos, etc. Todos estos datos permiten fijar un nivel de referencia sobre lo que podríamos llamar el estado 'normal' del ecosistema litoral, un elemento indispensable para determinar los efectos de la contaminación y para elaborar un seguimiento detallado que permita alcanzar de forma fiable una vuelta a las condiciones

<sup>1</sup> Seguimiento de la contaminación producida por el accidente del buque 'Aegean Sea', Ministerio de Medio Ambiente, 1996.

iniciales. En las CCAA del Cantábrico existen igualmente equipos de investigación sólidos en temas marinos.

Con relación a los vertidos accidentales en el mar existen múltiples antecedentes que es importante conocer bien para poder aprender de los mismos y orientar de forma idónea la lucha contra la contaminación y la minimización de los impactos. En este sentido, y de forma preliminar, se incluye en Anexo una lista de referencias y direcciones de Internet que contienen información y resultados científicos de especial interés y que por su relevancia deberían ser conocidos y tenidos en cuenta.

Es imprescindible conocer las referencias históricas recientes y tener en cuenta los últimos avances científicos para garantizar tanto unas actuaciones iniciales adecuadas como una coordinación de los medios de limpieza que permita una minimización de los impactos sobre el medio marino y el litoral.

En Francia, unas 150 personas del IFREMER participaron en los estudios científicos sobre las consecuencias ecológicas y eco-toxicológicas de la marea negra del petrolero *Erika* en diciembre de 1999. En España, el IEO y el CSIC, junto con investigadores de las Universidades de Santiago, Coruña y Vigo principalmente, han realizado desde 1992 estudios sobre las consecuencias del derrame del *Aegean Sea* sobre la fauna y la flora a petición de la Dirección General de Política Ambiental del MOPTMA.

En el caso del derrame del *Aegean Sea*, el mismo 3 de diciembre de 1992 se constituyó de forma inmediata en el Gobierno Civil de La Coruña un Centro de Coordinación Operativa en el que se integraron la Dirección General de Protección Civil y la Dirección General de Marina Mercante que aportaron sus medios y aquellos otros puestos a disposición mediante los Convenios suscritos con otros Organismos e Instituciones. Se creó una Comisión Técnica de seguimiento que, con sesiones diarias, evaluaba la situación general y adoptaba los planes para la jornada siguiente. La Comisión Técnica constituyó grupos de trabajo con algunos de sus miembros creándose así una subcomisión de playas y residuos, un comité científico. Se constituyó también una Comisión Técnica del buque. La subcomisión de playas y residuos elaboró el 20 de diciembre un plan de actuaciones realizado por especialistas de los organismos participantes que se resumió en 11 puntos concretos.

Conviene tener presente las diferencias importantes entre el vertido puntual en el espacio y en el tiempo del *Aegean Sea* y el vertido difuso en el espacio y el tiempo del *Prestige* y por tanto, las dificultades añadidas que existen y que se plantearán en el caso del *Prestige*.

De forma general conviene clarificar que las técnicas existentes, que permiten contrarrestar en poco tiempo los efectos agudos sobre el ecosistema de un derrame como el del *Prestige*, dependen de la utilización de buques de limpieza, de barreras físicas y también (aunque es una opción discutible) de la adición de detergentes o aditivos que ayuden a dispersar las manchas de petróleo o sumergirlas a gran profundidad. Lamentablemente, no hay ninguna tecnología biológica que permita

contrarrestar en poco tiempo los efectos agudos sobre el ecosistema de un derrame de este tipo.

Una investigación de calidad es la base para una predicción oceánica fiable y para una coordinación efectiva de los medios de lucha contra la contaminación dirigida hacia la minimización de los impactos sobre el medio ambiente marino y el litoral.

## **4 Análisis de las fases ligadas al vertido difuso que afecta en estos momentos a las costas gallegas**

En términos generales, el vertido del buque *Prestige* que afecta en estos momentos a la zona marítima y el litoral gallegos se estima que va a tener tres fases en las que la importancia de las acciones interdisciplinarias de investigación serán de distinto tipo.

### **4.1 Primera fase de impacto físico y químico**

En esta fase las acciones de investigación científica que se pueden emprender son siempre de apoyo y cooperación con las administraciones directamente responsables de las actuaciones operativas de lucha contra la contaminación (Costas, Agricultura y Pesca, SASEMAR, etc.).

Los científicos pueden contribuir con recomendaciones específicas que pueden facilitar las tareas operacionales, recomendaciones que están basadas en investigaciones ya existentes o realizadas de forma puntual y que permitan una evaluación de la localización, extensión e intensidad del impacto y por tanto faciliten las tareas de todos los efectivos de la lucha contra la contaminación (buques, recogida en tierra, etc.).

Esta fase, si hubiese existido un único vertido tendría una duración aproximada en el entorno de uno o dos meses. Sin embargo, en el caso del *Prestige*, por las particularidades existentes (vertido difuso afectando en distintos instantes de tiempo una gran extensión de litoral, vertido en la zona de hundimiento activo, etc.) no puede precisarse su duración.

### **4.2 Segunda fase de impacto ecológico y ecotoxicológico**

Una vez detenido el vertido, se debe contribuir a la evaluación de los restos (trazas) de hidrocarburos que hayan quedado en las distintas matrices ambientales (rocas, arenas, sedimentos, comunidades bentónicas, aves, etc.) así como al estudio de las implicaciones ecotoxicológicas. Se analizarán por tanto las alteraciones ecológicas producidas en la zona costera afectada como consecuencia de los vertidos en recursos explotables y no explotables.

Igualmente, se realizará un seguimiento de la evolución de las propiedades físicas y químicas de muestras del combustible tomadas en áreas muy distintas. El análisis elemental y la composición fraccionada (hidrocarburos ligeros y pesados) deberían proporcionar una idea precisa de la volatilización de los compuestos más ligeros en función del tiempo. La información molecular detallada permitirá conocer las alteraciones sufridas por el fuel, tanto en zonas fuera del nivel del agua como en zonas sumergidas. Esta información será clave para determinar el grado de regeneración de las áreas contaminadas.

Es difícil precisar la duración de esta segunda fase pero en base al conocimiento actualmente existente y a casos previos se puede estimar que estará en el entorno de los 6 meses. Conviene sin embargo ser cautelosos debido a las ya mencionadas especificidades del vertido del *Prestige*.

### **4.3 Tercera fase de impacto ecológico: minimización y análisis**

Con el fin de poder asistir al proceso de recuperación del ecosistema costero se debería llevar a cabo un seguimiento de todos aquellos parámetros que se consideren pertinentes para poder evaluar la mejora tanto química como ecológica. La información aportada será fundamental a la hora de decidir la reanudación de actividades pesqueras, marisqueras y turísticas en la zona.

Por otra parte, los vertidos que han tenido lugar o que van a tener lugar en la zona de mar abierto, aunque presentan otra problemática distinta, no dejan de ser una fuente potencial de contaminación futura para las zonas de interés pesquero y marisquero. Esta fase puede tener una duración mínima de 3 a 5 años y debe ir acompañada de una valoración del impacto socioeconómico del derrame en la región.

## 5 Objetivos científicos y programas de investigación propuestos.

El objetivo general del Programa de Actuación científica del MCyT se centra en evaluar, predecir y mitigar los efectos del vertido del buque *Prestige* sobre el medio ambiente marino y el litoral.

De forma más específica, se plantea:

- Caracterizar el vertido y evaluar su impacto en la zona de hundimiento.
- Realizar el seguimiento y la predicción de las manchas de vertido tanto en mar abierto en la zona de hundimiento como en la plataforma continental.
- Caracterizar y cuantificar las concentraciones de los residuos de hidrocarburos en la zona oceánica (columna de agua y sedimentos) y en el litoral con el fin de delimitar físicamente las zonas afectadas.
- Determinar la presencia e impacto de los hidrocarburos en la estructura y composición (biodiversidad) de las comunidades presentes en los ecosistemas afectados y en diversos aspectos de la biología de los organismos marinos tanto explotados como no explotados.
- Analizar la viabilidad de métodos para acelerar la restauración (limpieza y repoblación) de las zonas afectadas, en particular, los sistemas de bio-remediación.
- Definir los parámetros de seguridad alimentaria, que han de permitir la recuperación de la actividad económica y analizar las repercusiones socioeconómicas del vertido en la región gallega.

Con el fin de responder de forma adecuada a estos objetivos, se han estructurado las acciones propuestas en seis grandes Programas de Trabajo (PT):

- **PT1** - Comportamiento del fuel en el fondo marino en la zona de hundimiento: considerará la caracterización del vertido, su estado a 3.600 m de profundidad, la cuantificación de las posibles fugas, la potencial corrosión de la estructura del buque, etc.
- **PT2** - Seguimiento y modelización de las trayectorias que puedan seguir los vertidos de fuel en la zona del hundimiento y en la zona costera, con el fin de minimizar sus efectos a través de una optimización de los medios de lucha contra la contaminación.
- **PT3** - Estudio del comportamiento ambiental del fuel-oil derramado con vistas al seguimiento de su distribución y persistencia en el medio y a la aplicación de técnicas de remediación.
- **PT4** - Evaluación de la biodisponibilidad y bioacumulación de hidrocarburos en los organismos marinos de los ecosistemas afectados por el vertido. Estudio del impacto del vertido en la estructura y biodiversidad de las comunidades bióticas. Análisis de la toxicidad de los hidrocarburos sobre funciones vitales de los organismos marinos.
- **PT5** - Estudio del impacto socioeconómico del accidente y propuestas de prevención de riesgos (protocolos y planes de contingencia).

- **PT6** - Coordinación general y tareas horizontales para asegurar la optimización y sinergias de todo el esfuerzo investigador y una adecuada transferencia de los resultados a la sociedad.

Algunas de las tareas concretas, contempladas en cada uno de los distintos Programas de Trabajo, ya se están realizando en la actualidad. En este sentido, por ejemplo, algunas de las tareas de los Programas 1 y 2 están en estos momentos relacionadas con las medidas operacionales en la zona. En los programas de trabajo 3 y 4 la actividad principal se centra en estos momentos en establecer la línea de base de referencia.

Finalmente, conviene indicar que el **Programa de Intervención Científica del MCyT** pretende alcanzar unos objetivos muy concretos por lo que se ha elaborado en base a las contribuciones de expertos, independientemente de su adscripción a un organismo determinado. De la misma forma, un gran número de tareas propuestas deberán ser realizadas por grupos de investigación coordinados, pertenecientes a Universidades, Organismos Públicos de Investigación, Centros tecnológicos, etc.

El objetivo común del **Programa de Intervención Científica del MCyT** es sin duda responder de la forma más adecuada posible a las preguntas específicas que plantea el vertido del *Prestige*, contribuyendo así a mostrar las potencialidades de la ciencia española en la sociedad del siglo 21.



## 6 Programas de trabajo

### 6.1 Estudio de la problemática asociada al pecio (PT1)

Este programa de trabajo se articula en torno a la necesidad de responder de forma precisa y fiable a, entre otras, las siguientes preguntas:

- Cuales son las características in situ del vertido en estos momentos en la proa y en la popa del buque *Prestige*?
- ¿Cuáles son las características del vertido y su propagación tri-dimensional en la zona de hundimiento? ¿cuáles son las rutas de propagación del fuel sobre el fondo marino?
- ¿Cómo puede afectar la corrosión del buque a las posibles salidas de fuel?
- ¿Cómo se podría mitigar el caudal del flujo ascendente?

Para responder de forma adecuada a estas preguntas se cuenta con la participación del submarino *Nautille* a bordo del buque *L'Atalante* del IFREMER que está en la zona desde el 1 de diciembre de 2002.

En el *Nautille* pueden embarcarse 3 personas por inmersión (un único observador) que dura unas 6 horas independientemente de la profundidad. El equipo del *Nautille* es extremadamente competente, habiendo participado en múltiples inmersiones para el reconocimiento de buques hundidos.

El objetivo de la inmersión es la observación in situ mediante cámaras de vídeo y fotografías, que permite un análisis posterior por parte de técnicos en hidrocarburos, ingenieros navales, etc. El *Nautille* también puede obtener datos ambientales de presión, temperatura, salinidad y puede tomar muestras del fondo y del agua. El *Nautille*, desde el 21 de diciembre está destinado a obturar las fugas desde las que fluye el crudo.

Asociado al *Nautille* existe un pequeño vehículo remoto ROV (ROBIN) con capacidad para tomar imágenes de vídeo en lugares poco seguros o inaccesibles para el submarino. Este ROV puede ser de gran utilidad para poder observar con mayor detalle zonas poco accesibles de los tanques del *Prestige*. Cada media hora aproximadamente el *Nautille* toma contacto con el buque *Atalante*.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que algunos de los objetivos contemplados en este apartado perderán relevancia, dependiendo del éxito de la propuesta de extracción del fuel en el pecio.

#### 6.1.1 Caracterización físico-química del fuel

El fuel-oil es una de las fracciones resultantes de la destilación de los crudos de petróleo. En la destilación se obtienen distintas fracciones volátiles, algunas de alto valor económico, como son la gasolina, el keroseno (combustible de aviación) y el gasoil, quedando el fuel-oil como fracción residual por encima de los 330 °C. El fuel-oil contiene una mezcla muy compleja de hidrocarburos de base parafínica (hidrocarburos lineales y/o ramificados saturados), nafténica (anillos de 5 y 6 átomos de carbono saturados), y aromática varios anillos de 6 átomos de carbono). Asimismo, contiene compuestos de

naturaleza asfáltica, como asfaltenos (micelas complejas de alto peso molecular que contienen varios anillos aromáticos sustituidos con heteroátomos de azufre, nitrógeno, vanadio y níquel, entre otros).

Las proporciones de estas familias de hidrocarburos dependen del origen del crudo y dentro de ellas cabe destacar la presencia de compuestos con estructuras estrechamente relacionadas con sus precursores biológicos, conocidas como marcadores moleculares (“chemical markers”). Estos compuestos, de tipo esteroideal y terpenoide, constituyen la huella digital del crudo, al estar asociados a la historia geoquímica del mismo. Por ello, en los años 70 fueron propuestos para la caracterización de derrames de petróleo y en la actualidad son utilizados no sólo en la identificación del origen de los derrames, sino también como elementos de prueba en los litigios relacionados con estos accidentes.

Por otra parte, algunas propiedades físicas del fuel-oil, tales como densidad y viscosidad, vienen determinadas por esta composición química tan compleja y el peso molecular elevado de los hidrocarburos constituyentes. Usualmente, la densidad del fuel es del orden de 0.96-0.99 g/cm<sup>3</sup> y la viscosidad cinemática a 50°C resulta del orden de 50-810 cSt para los empleados como combustibles marinos (ISO 8217). Ambas propiedades, y particularmente la viscosidad, se modifican con la temperatura. La viscosidad aumenta fuertemente con el descenso de la temperatura. Basta señalar el hecho de que la viscosidad cinemática de un IFO 380 es de 35,0 cSt. A 100°C (ISO 3104) y aumenta hasta 380/390 a 50°C, incrementándose exponencialmente conforme disminuye la temperatura. El fuel del *Prestige* es un M-100, residuo de destilación atmosférica sometido a “visbreaking”, por lo que su viscosidad cinemática es mayor

Tanto la determinación de la composición química como de las propiedades físicas del fuel, constituyen el punto de partida de todo el proyecto.

#### **6.1.1.1 Determinación de las propiedades físicas del combustible**

Resulta imprescindible y urgente conocer las propiedades físicas del combustible remanente en los tanques a 3.600 metros de profundidad para predecir y describir el comportamiento temporal del remanente en los tanques depositados en el fondo del océano.

La respuesta no es inmediata y requiere el cálculo de la evolución de las propiedades del combustible (densidad, viscosidad, conductividad térmica, calor específico) con la presión y la temperatura, como una simulación experimental del comportamiento de flotabilidad en las condiciones de presión y temperatura, dominantes a esa profundidad.

La evolución del fuel-oil contenido aún en los depósitos del buque depende por tanto, por un lado, de las propiedades físicas (densidad/viscosidad/conductividad térmica/calor específico) del fuel y, por otro, del estado actual de dichos depósitos. Este último factor es determinante a la hora de proponer soluciones definitivas del problema.

Por otra parte, durante las observaciones realizadas a bordo del *Nautile* desde principios de diciembre de 2002, no se ha podido establecer con precisión ni el caudal de las fugas, ni tampoco si el fuel oil asciende de forma vertical continuamente hasta la superficie o bien es arrastrado por las corrientes horizontales marinas antes de alcanzar

la capa superficial. Tampoco conocemos en detalle los procesos de evolución del fuel-oil a lo largo del tiempo, ni en los tanques ni en las fugas durante el ascenso.

### i) **Densidad**

La determinación de la densidad de la masa de fuel oil en el pecio se realizará desde las perspectivas teórica y experimental.

La simulación teórica de las propiedades de algunos hidrocarburos modelo, incluso de mezclas de compuestos, con una densidad y un punto de ebullición próximos a los del combustible, y sometidos a la fuerte presión y baja temperatura dominante a esa profundidad resultaría de enorme utilidad, si esto fuera factible. Se debe tener en cuenta que la presión a la que se encuentra sometido el pecio a 3600 m de profundidad que se ejerce por la columna de agua sobre el combustible, y también sobre el agua, es de 360 atm (cada 10 m de profundidad la presión se incrementa en 1 atm). A ello hay que añadir el hecho de que la temperatura en esa región abisal es 2.5 °C. Cabe esperar que los dos factores ejerzan el mismo efecto sobre la densidad en el sentido de hacerla aumentar. La comparación de las densidades de agua y de hidrocarburo en esas condiciones extremas debe resultar de gran utilidad en las predicciones. Algunas de las estimaciones preliminares indican que la densidad del fuel-oil es de 1.012 g/cm<sup>3</sup> y la del agua de mar, en la zona, 1.045 g/cm<sup>3</sup>.

Se pretende extender este estudio a aquellas condiciones donde existen variaciones importantes de salinidad. La conexión con las medidas de densidad es muy estrecha y tales medidas resultarán decisivas en este tipo de predicciones.

Se tratará de simular el comportamiento de la densidad de la emulsión agua/fuel-oil a la profundidad de 3.600 m, a partir de los datos obtenidos por estudio de la misma en distintas condiciones de presión y temperatura, factibles de alcanzar por experimentación. Estos estudios se realizarán tanto en la primera como en la segunda fase. La información obtenida bajo estas condiciones permitirá realizar un modelado de la flotabilidad de la masa viscosa.

Los objetivos, metodologías, actividades, equipo investigador y el desarrollo temporal de esta sub-tarea son las siguientes:

**Objetivo:** Modelización de la evolución de la densidad del fuel-oil en distintas localizaciones en un amplio rango de presiones y temperaturas.

**Metodología:** Se seguirá la metodología ASTM estándar de evaluación de densidad del petróleo y de destilados medios. A partir de los resultados experimentales se intentará llegar a desarrollar un modelo que permita predecir el comportamiento de la densidad.

**Actividades:** Las actividades concretas a desarrollar son las siguientes:

- (a) Medida de la densidad del fuel-oil, en el más amplio margen de temperaturas y presiones que permita la técnica.
- (b) Desarrollo de modelos teóricos de predicción de densidad.
- (c) A más largo plazo, evolución temporal de la densidad del fuel-oil sobre la superficie del agua y en depósitos sobre acantilado.

Cronología: (a), (b) los tres primeros meses, (c) de forma puntual a lo largo de los tres años.

## ii) ***Evolución de la densidad en la columna de agua***

Puesto que la densidad estimada del fuel-oil es inferior a la del agua el fuel-oil debe flotar una vez que sale por las aberturas de los tanques, tal como ha mostrado el *Nautile*. Además en la campaña que ha hecho el *Cornide de Saavedra* se ha puesto de relieve que existen masas pequeñas de fuel en el fondo de las aguas litorales y zona intermareal. El hecho de que estas masas no floten significa que han debido incorporar material mineral hasta sobrepasar la densidad del agua salina. También se debe tener en cuenta que las masas pequeñas fuertemente adheridas a rocas y acantilados no deben flotar como consecuencia de la fuerte adhesión del fuel-oil a la materia sólida.

El conocimiento preciso de las condiciones en las que puede darse la flotación, tal como se documenta los estudios exhaustivos de NOAA, debe ayudar a definir estrategias de regeneración no lesivas para la biodiversidad.

Los objetivos, metodologías, actividades, equipo investigador y el desarrollo temporal de esta sub-tarea son las siguientes:

Objetivo: Se pretende determinar el comportamiento de flotabilidad de la masa de fuel-oil tanto desde el pecio sometido a las condiciones ambientales de 2.5 °C 360 atm, como de aquellas porciones depositadas en el fondo de las zonas sub-mareales.

Metodología: Evaluación de la flotación de la masa de fuel en agua salina mediante un equipo experimental que reproduce la temperatura y presión a las que están sometidos los tanques.

Tareas: Las actividades concretas a desarrollar en esta sub-tarea son las siguientes:

- (a) Medida de cambios térmicos generados por efecto de presión.
- (b) Análisis del efecto de burbujas de aire, agua, sales y materia mineral sobre la flotabilidad.
- (c) Efecto de agentes incorporados, de menor densidad que el fuel, sobre la Flotación.

Cronología: (a) y (b) los tres primeros meses, (c) a lo largo del primer año.

## iii) ***Viscosidad y evolución temporal***

Puesto que como sabemos, la viscosidad es la característica que marca la resistencia de un fluido a fluir, su estudio permitirá conocer la mayor o menor facilidad con la que puede fluir el fuel-oil, es por tanto otra propiedad física que se estudiará. Al ser una propiedad dependiente de la temperatura, las medidas en función de la temperatura en el intervalo, más amplio posible (de 2 a 100°C) son imperativas en cuanto que proporcionan información valiosa a los equipos que operan con equipamiento de bombeo y para determinar el tipo de material a utilizar en la retirada de residuos en las

zonas costeras. Pero además esta propiedad también se ve muy influenciada por la presión, por lo que las variaciones experimentadas por la viscosidad en función de la presión será otro de los factores a tener en cuenta. La alta presión y baja temperatura existente en la zona del hundimiento hace necesario el recurrir a la modelización para resolver este problema.

Tanto la viscosidad como la densidad de los vertidos directos se determinarán en las cuatro primeras semanas. Las medidas se llevarán a cabo siguiendo procedimientos de limpieza adecuados de la materia mineral, del agua y del aire retenidos.

Los objetivos, metodologías, actividades, equipo investigador y el desarrollo temporal de las acciones son las siguientes:

Objetivo: Determinación de la viscosidad cinemática del fuel (en distintas localizaciones) en un amplio rango de presiones y temperaturas.

Metodología: Se seguirá la metodología ASTM estándar de evaluación de viscosidad cinemática. A partir de los resultados experimentales se intentará llegar a desarrollar un modelo que permita predecir el comportamiento de la viscosidad del fuel-oil en un amplio margen de presión y temperatura.

Actividades: Las actividades concretas a desarrollar en esta sub-tarea se incluyen en los siguientes apartados:

- (a) Medida de la viscosidad cinemática del fuel-oil, en el más amplio margen de temperaturas y presiones que permita la técnica.
- (b) Desarrollo de modelos teóricos de predicción de viscosidad cinemática.
- (c) A más largo plazo, evolución temporal de la viscosidad cinemática del fuel-oil sobre la superficie del agua y en depósitos sobre acantilado.

Cronología: (a) y (b) de tres a seis meses, (c) de forma puntual a lo largo de los tres años.

#### **iv) *Propiedades térmicas: conductividad y calor específico***

El fuel es un material típicamente aislante con una conductividad térmica muy baja (0.113 J/m.K) y un calor específico relativamente alto (1700 J/kg.K) por lo que su calentamiento y enfriamiento son muy lentos. Esta inercia térmica tiene una implicación temporal muy importante en el proceso de enfriamiento del fuel contenido en el interior de los tanques. Hasta la fecha, se dispone de alguna medida puntual de la temperatura de la masa de fuel que fluye desde la abertura No 3. Aún con este dato, se han realizado cálculos con el objetivo de poder establecer cual es la temperatura del fuel en el interior de los tanques. Con todas las aproximaciones utilizadas se perfilan tiempos de enfriamiento muy largos. En lo que conocemos, sólo se ha hecho un análisis de este tipo en el caso del hundimiento del petrolero Erika. Esta información va a resultar de gran utilidad para determinar cuando la masa adquirirá la viscosidad suficiente para que no fluya a través de las aberturas. De igual modo, este análisis resultará vital para abordar cualquier estrategia de recuperación del fuel desde el interior de los tanques.

Los objetivos, metodologías, actividades, equipo investigador y el desarrollo temporal de las acciones son las siguientes:

Objetivo: Medir la conductividad y la capacidad térmica del fuel-oil en un amplio intervalo de temperaturas y predecir con modelos teóricos los valores de estas propiedades en las condiciones que operan sobre el pecio.

Metodología: Se realizarán medidas en celdas calorimétricas y medidas de conducción de calor.

Actividades: Las actividades concretas a desarrollar en esta sub-tarea se incluyen en los siguientes apartados:

- (a) Determinación del calor específico del fuel.
- (b) Medida de la difusividad térmica del fuel y determinación de la conductividad térmica.
- (c) Predicciones teóricas de las propiedades térmicas bajo las condiciones de presión y temperaturas a las que se encuentra sometido el pecio.

Cronología: Durante los tres primeros meses.

#### **v) Simulación fluido-dinámica de la evolución del fuel**

Los diversos puntos de fuga de fuel que se han observado señalan que todos los tanques se encuentran agrietados, de manera que el equilibrio mecánico entre el fuel y el agua circundante se estableció muy rápidamente y no parece que haya habido diferencias de presión sustanciales. Sin embargo, el pequeño valor de la difusividad térmica del fuel ha impedido un rápido establecimiento del equilibrio térmico, y se prevé que éste sólo se alcance al cabo de meses de evolución, en los que las diferencias de temperatura van a inducir flujos de calor y movimientos convectivos, vía mecanismos de flotación por la expansión térmica del fuel. Ya se han realizado cálculos 2D en geometría sencilla, definiendo un caso tipo cuya solución se ha propuesto a diversos equipos nacionales y extranjeros. No obstante, una mejor aproximación a la realidad requiere la ampliación del caso 2D a soluciones más generales, así como la inclusión de efectos geométricos que reflejen más fielmente la estructura interna de los tanques, la inclinación del pecio y efectos 3D.

Objetivo: Predecir la evolución del fuel contenido en los tanques a medida que va alcanzando el equilibrio térmico con el exterior. Se pretende desarrollar un modelo de enfriamiento de la masa de fuel que pueda determinar de la forma más aproximada posible la evolución temporal del campo de temperatura en el fuel contenido en los tanques, de modo que se tenga una idea precisa de sus condiciones de fluidez.

Metodología: Se utilizarán diversos códigos para realizar estudios comparativos de resultados en diversas geometrías 2D y 3D, considerando tanto el transporte de calor conductivo como el debido a los fenómenos de convección natural. El análisis también incluirá el efecto de fugas de fuel así como la presencia simultánea de fuel y agua dentro de los tanques.

Actividades: Incluyen los siguientes apartados:

- (a) Evaluación y predicción fenomenológica del enfriamiento mediante el uso de correlaciones bien establecidas.
- (b) Simulación 2D incluyendo soluciones no simétricas y la inclinación del pecio. Estudios paramétricos de sensibilidad y consideraciones de fugas de fuel oil.
- (c) Simulación 3D incluyendo la inclinación.
- (d) Simulación incluyendo elementos de la geometría real del interior de los tanques.

Cronología: (a) y (b) los tres primeros meses, (c) y (d) a lo largo del primer año.

### **6.1.1.2 Determinación de la composición química**

Se trata de conocer la composición de los componentes orgánicos e inorgánicos, mayoritarios y minoritarios, del producto vertido, con el fin de poder identificar el origen de la contaminación observada en la zona y evaluar su evolución en el medio.

Estudios preliminares han puesto de manifiesto la naturaleza nafténica-aromática del producto vertido. En efecto, su composición elemental está formada principalmente por Carbono (85,8%), Hidrógeno (11,0%), Azufre (2,3%) y Nitrógeno (0,7%). Desde el punto de vista de su composición molecular el producto contiene un 22% de hidrocarburos saturados, 50% de hidrocarburos aromáticos y un 28% de resinas y asfaltenos.

En base a esta información se pretende una caracterización detallada del fuel desde el punto de vista de su composición química-molecular, con especial referencia a las distribuciones de hidrocarburos alifáticos (alcanos e isoprenoides acíclicos), aromáticos policíclicos (alquilados y desalquilados), derivados de azufre y nitrógeno, así como compuestos volátiles (de menos de 10 átomos de carbono). Se efectuará, también un estudio detallado de las distribuciones de marcadores moleculares y de elementos traza (Ni, V, Zn, etc.).

Los objetivos, metodologías, actividades, equipo investigador y el desarrollo temporal contemplados son los siguientes:

Objetivo: Determinar la composición química del fuel vertido para:

- (a) Diagnosticar la procedencia de futuras manchas y eventual presencia de productos petrolíferos de otras fuentes en la zona (lavado de tanques de petroleros).
- (b) Evaluar su toxicidad aguda y el riesgo de su manipulación.
- (c) Realizar un seguimiento de los procesos de envejecimiento del producto en el mar y su incidencia en la degradación y toxicidad del mismo.

Metodología: Se seguirá la metodología recomendada en la caracterización de derrames de petróleo, como por ejemplo en los documentos sobre "oil identification" CEN BT/TF 120 o de SINTEF, aplicando las técnicas de cromatografía gaseosa de alta resolución y espectrometría de masas (HRGC/MS).

Actividades: Las actividades concretas a desarrollar dentro de esta sub-tarea se incluyen en los siguientes apartados:

- (a) Composición elemental en tanques y la zona hundimiento
- (b) Caracterización de familias de hidrocarburos en tanques y en zona de hundimiento
- (c) Caracterización química de muestras recogidas en otras fases del proyecto, particularmente en PT3.

Cronología: (a), (b) y (c) con mayor intensidad los tres primeros meses, de forma más puntual hasta los tres años.

### **6.1.2 Caracterización de la zona de hundimiento y su contaminación**

Las coordenadas de los dos fragmentos en los que ha quedado dividido el *Prestige* (Proa, 3.600 m de profundidad: 42° 10.8N/12° 0.6W; Popa, 3.800 m de profundidad: 42° 12.5N/12° 3.0W) indican que existe un desplazamiento de cerca de cuatro kilómetros entre ambos. Sabemos que la popa se localiza en una zona bastante más delicada que la proa, pues tras el impacto contra el fondo se desplazó hacia el borde de un pronunciado escarpe, mientras que la proa descansa en una zona ligeramente más aplacerada. De todas formas, y a efectos de este documento inicial, situaremos los restos del buque en la línea divisoria de dos vertientes que transcurre en una dirección N-S. La vertiente que se orienta hacia levante forma parte de un valle submarino, profundamente excavado, que tiene unos 150 km de recorrido y numerosos tributarios que presumiblemente lo alimentan de sedimentos. La vertiente que mira hacia poniente constituye uno de los más abruptos escarpes que circundan el Banco de Galicia que vuelca hacia la llanura abisal.

El Banco de Galicia es un relieve que emerge desde los 5.000 metros de profundidad y que alcanza la cota batimétrica de 598 metros posee una morfología ligeramente aplacerada. Esta colosal montaña submarina es el relieve positivo principal de un conjunto montañoso, irregularmente agrupado, que se interpone entre el talud continental peninsular y la cuenca profunda que constituye la Llanura abisal Ibérica. Estos relieves pertenecen a un antiguo margen continental que ha quedado desgajado del actual y que se considera de carácter pasivo, a pesar de presentar una sismicidad moderada.

Los objetivos principales son:

- (a) Conocer las condiciones oceanográficas en la zona de hundimiento con el fin de poder establecer si el vertido del *Prestige* alcanza en su totalidad la superficie del agua o bien si interacciona con las corrientes de densidad características de las distintas masas de agua presentes en la zona.
- (b) Caracterizar el medio de sedimentación y determinar su evolución sedimentaria, permitiendo evaluar las tendencias a medio y largo plazo.
- (c) Realizar un reconocimiento fisiográfico, estructural y geotécnico de la zona donde se localiza el pecio que permita evaluar los riesgos geológicos a los que puedan estar sometidos (enterramiento, deslizamientos, sismicidad, etc.)
- (d) Evaluar el impacto ambiental en la zona del hundimiento y en las zonas afectadas por el movimiento del fuel-oil. Conocer las características del fuel en el supuesto de que se haya depositado en el fondo en las inmediaciones a los pecios.



Para la consecución de los objetivos propuestos se ha desarrollado un plan de trabajo, que se sintetiza en las siguientes tareas:

1) Organización y evaluación de las bases de datos, archivos de muestras de las zonas afectadas y fondos bibliográficos disponibles. En este sentido, la gestión de toda la información recogida en una herramienta SIG será de gran valor para la realización de modelos prospectivos sobre la contaminación a medio y largo plazo.

2) Diseño y ejecución de campañas oceanográficas, de prospección geológica (testificación sedimentaria, fotografía submarina, ...etc) y geofísica (batimetría, sonar lateral, sísmica de muy alta resolución y de media penetración) con el fin de definir, respectivamente, la estructura y dinámica de las masas de agua y del margen continental. Esta información será valiosa para poder conocer el desplazamiento del fuel-oil en la columna de agua y las posibles zonas de deposición en los fondos profundos, así como la potencia del recubrimiento sedimentario y su estabilidad. Los muestreos dedicarán especial atención, entre otros, al estudio de las interfases agua-sedimento y aire-agua, y a obtener niveles de fondo (naturales) como referencia.

#### **6.1.2.1 Condiciones oceanográficas**

Los objetivos principales de esta sección se deben centrar en:

- (a) Caracterizar, espacial y temporal, las masas de agua en la zona del hundimiento y en las zonas afectadas por el movimiento del fuel-oil.
- (b) Determinar los vectores de velocidad y dirección de cada masa agua, así como establecer su propagación espacial y temporal en función de las condiciones oceanográficas y meteorológicas, con especial énfasis hacia las corrientes de aproximación a la plataforma continental.
- (c) Determinar la densidad, tipos y niveles de hidrocarburos y los productos de degradación (metales pesados, material particulado), de cada una de las masas de agua diferenciadas, así como establecer el grado de transferencia de partículas contaminantes entre cada una de ellas, tanto espacial como temporalmente.
- (d) Determinar el grado de crecimiento de microorganismos oxidantes de hidrocarburos y bacterias sulfo-reductoras y su relación con los parámetros de oxigenación de cada masa de agua. Establecer las vías de migración y grados de crecimiento de las poblaciones estos microorganismos como degradadores del fuel-oil, en función de la dinámica de corrientes.
- (e) Establecer las vías de migración de los hidrocarburos procedentes de la zona de hundimiento, tanto en la columna de agua como a través del fondo (conexión con el apartado 6.1.2.4).
- (f) Realizar una base de datos para su utilización en la modelización numérica para la previsión de trayectorias (en conexión con la sección 6.2.3.4: Modelización y seguimiento del vertido).

En este sentido, las tareas de esta sección se pueden subdividir en las fases A, B y C, que se enumeran a continuación:

- (A) Campaña oceanográfica en la zona, - enero 2003 – En curso.

(B) Campaña oceanográfica en la zona de hundimiento, 15 días de campaña interdisciplinaria, con anterioridad a las posibles tareas para la extracción del fuel-oil. Se deberán realizar las siguientes tareas multidisciplinares:

- Medidas de los parámetros físico-químicos de caracterización de las masas de agua mediante CTD-rosetas.
- Medidas de velocidad y dirección de las corrientes en profundidad (sonda Doppler y correntímetros de alta profundidad).
- Toma de muestras de agua en cada masa de agua detectada, para el análisis de los niveles de hidrocarburos (preferiblemente a realizar a bordo).
- Análisis de densidad bacteriana en las masas de agua mediante el cultivo de microorganismos de oxidación de hidrocarburos y bacterias sulfo-reductores con el objetivo de detectar niveles de degradación del fuel-oil.
- Realización de una malla con sondas de alta frecuencia (ecosondas paramétricas) con el objetivo de obtener una visión 3D del escape y migración de fuel-oil, así como de establecer la correlación entre los niveles de contaminación y la respuesta acústica, que sirva de modelo para la detección de hidrocarburos en otras áreas.

(C) Campañas oceanográficas de monitorización del grado de contaminación remanente en la zona de hundimiento, y de la emigración de hidrocarburos por el efecto de las diferentes corrientes oceánicas.

En función de las fechas de los trabajos de extracción del fuel-oil se deberán realizar 4 campañas de monitorización cada 6 meses (condiciones invierno-verano) con la misma metodología que la establecida en la fase (B).

### Cronología

- Recopilación de datos: bibliografía y estudios previos en el área: – 1 –2 meses
- Preparación de las campañas para la toma de datos. – 2 meses
- Realización de 5 campañas, en coordinación con las tareas de la sección 6.3.1 (Distribución de hidrocarburos en la columna de agua y plancton), con el objetivo de realizar las siguientes tareas en la zona de emisión de fuel-oil:
  - (a) Medidas de las características físico-químicas de masas de agua, velocidades de la corriente y toma de muestras de agua (CTD-roseta, sonda Doppler, correntímetros);
  - (b) Análisis de hidrocarburos y material particulado a bordo;
  - (c) Sondos de alta frecuencia (coordinada con la sección 6.1.2.3)
  - (d) Cultivos de microorganismos de oxidación de hidrocarburos en las masas de agua y fondo marino, relacionado con la zona de emisión del fuel-oil.
- Trabajos de laboratorio – 6 meses a 3 años
- Interpretación de resultados – 6 meses a 3 años .

#### **6.1.2.2 Modelización del ascenso del fuel-oil en la zona de hundimiento**

Se deberá cuantificar el caudal, la temperatura a la que fluye, estimar la velocidad de ascenso y determinar si todo el vertido alcanza la superficie o bien si en las capas intermedias o superficiales se alcanza por mezcla una densidad equivalente a la del ambiente lo que provocaría que el crudo sería arrastrado por las corrientes intermedias de densidad. Este apartado se debe realizar con los datos obtenidos en el apartado

6.1.2.1 (Condiciones oceanográficas en la zona de hundimiento) y en conexión con el apartado 6.2.4 (Seguimiento operacional del vertido).

### **6.1.2.3 Caracterización geológica y geofísica. Identificación de riesgos**

Los estudios que se realicen en esta materia deberán atender prioritariamente a la identificación y valoración de los riesgos geoambientales. Es importante que todas las disciplinas científicas involucradas en los estudios que se planifican centren su atención en todos los aspectos que se relacionen con los riesgos geológicos como un componente del sistema ambiental que caracteriza la zona de hundimiento. Por ello habrá de prestarse especial atención a los riesgos derivados de la morfología particular de la zona, sus pronunciadas pendientes, así como los que se vinculen al transporte de la carga sedimentaria que se haya depositado en el Banco de Galicia y en su entorno. Particular atención habrá de prestarse a la moderada sismicidad, puesto que podría ser un riesgo potencial de elevada peligrosidad por las especiales circunstancias en las que se encuentran los pecios. En este sentido se propone un estudio combinado de sismicidad y estructura de la litósfera a partir de una red de perfiles sísmicos profundos de reflexión vertical y sísmica de gran ángulo mediante la utilización de una red permanente de OBS distribuidos adecuadamente en la zona de estudio.

Todos los estudios propuestos se realizarán en el caso de que sea insuficiente la información actualmente existente, procedente de las campañas realizadas por el IEO y el Instituto Hidrográfico de la Marina.

#### Objetivos

- (a) Estudio geomorfológico detallado con el objeto de poder establecer los diferentes tipos morfológicos, especialmente los activos que puedan ser un riesgo potencial.
- (b) Evaluación del espesor y distribución de los tipos de sedimento que puedan afectar a cualquier acción posterior natural o de tipo antrópico sobre el pecio.
- (c) Reconocimiento de las estructuras geológicas del subsuelo, así como su evolución más reciente.
- (d) Estudio de la sismicidad mediante la definición de las estructuras geológicas activas, tanto en el talud continental, como en el Banco de Galicia y en la Cuenca Interior que pueden afectar la estabilidad de la zona de hundimiento, así como su alcance en profundidad y la determinación de la evolución geodinámica de la zona.
- (e) Identificar la naturaleza del fondo marino y su estabilidad y valorar en que medida puede afectar al pecio y su carga (Ej.: pendientes, sismicidad, compactación diferencial, textura de sedimento, porosidad, permeabilidad, contenido de gas en el sedimento, corrientes de fondo, etc.).
- (f) Caracterizar los riesgos geológicos y evaluar su riesgo potencial a corto y medio plazo.
- (g) Definir la huella del fuel, sobre el fondo marino y en la columna de agua, mediante el tratamiento de la reflectividad acústica a partir de los datos recogidos por la sonda multihaz.
- (h) Definición de las fallas más importantes en el entorno del margen continental de Galicia, cuya presencia se relaciona con la existencia de terremotos históricos de magnitud 4.0 o superiores y cuya localización no está aún bien definida debido a

la ausencia de estaciones sísmicas marinas que permitan el registro de la sismicidad.

- (i) Localización de hipocentros y determinación del mecanismo focal con el objetivo de definir los parámetros de la fuente sísmica.

### Metodología

Se proponen una serie de técnicas que habrán de considerarse en el momento de la ejecución de las campañas oceanográficas y de las analíticas que procedan en las fases de estudio en gabinete y laboratorio:

- Morfología del fondo marino: Métodos acústicos y sísmicos:
  1. Ecosonda Monohaz de alta resolución
  2. Ecosondas Multihaz (sistemas SIMRAD EM300 -BIO Vizconde de Eza-, EM1002 y EM12S -BIO Hesperides-, EM12-Dual -RV L'Atalante-).
  3. Sonar de Barrido Lateral remolcado (para aguas someras y/o profundas)
  4. Sísmica de muy alta resolución (sistema TOPAS)
  5. Sísmica de Reflexión (Sparker)
- Reconocimiento del relleno sedimentario y estructuras geológicas: alta resolución y media penetración.
  6. Sísmica de muy alta resolución (sistema TOPAS)
  7. Testigos de sedimento
  8. Sísmica de reflexión de media penetración (Sparker y/o Airgun).
- Caracterización de sedimentos:
  9. Métodos indirectos: Sonar de Barrido Lateral y datos de Backscattering de Multihaz, TOPA y sísmica de reflexión (Sparker y/o Airgun)
  10. Métodos directos: litología, naturaleza, edad y aspectos geotécnicos y propiedades físicas
  11. Fotografía submarinas para la determinación de estructuras de fondo que se puedan interpretar en términos de transporte. Tienen especial interés para identificar posibles manchas de fuel que tanto por su tamaño como por su consistencia puedan no ser detectados por otros sistemas de prospección indirectos.
- Localización de las estructuras superficiales del fondo marino donde se pueden encontrar posibles fallas activas.
- Identificación de las áreas más adecuadas para la instalación de equipos que permitan el registro de sismicidad (OBS).
- Instalación de una red primaria de OBS en el área del hundimiento para el registro de la sismicidad próxima.
- Instalación de una red secundaria de OBS para el registro de eventos sísmicos cuyo epicentro se localice en el entorno del Banco de Galicia.
- Control de sismicidad desde tierra firme, a partir de una red de estaciones de tres componentes distribuidas a lo largo de la Costa.
- Diseño de una malla de perfiles sísmicos profundos basados en estudios combinados de sísmica de reflexión vertical y sísmica de gran ángulo para la obtención de modelos de estructura de la Litosfera en el margen continental en el entorno del Banco de Galicia, con el objetivo de obtener un modelo de velocidades de propagación de ondas sísmicas en esta zona que permita realizar la localización de los eventos sísmicos con alta precisión.

- Definición de la estructura de la Litosfera en la Cuenca Interior, en el Banco de Galicia, en el talud continental y en la zona de transición océano-continente.
- Estudio combinado de métodos potenciales: gravimetría y magnetismo, los cuales son de gran utilidad para la interpretación de los datos sísmicos.

#### **6.1.2.4 Procesos biogeoquímicos en la zona de hundimiento**

Los objetivos que se proponen son los siguientes:

- Establecer una red de estaciones de sedimentos radiales en el entorno de la zona de hundimiento. Determinación de los hidrocarburos alifáticos, aromáticos, marcadores moleculares y elementos traza.
- Realizar un perfil vertical completo en la columna de agua en la zona del hundimiento (T, S, turbidez, fluorimetría, hidrocarburos alifáticos y aromáticos y elementos traza).
- Analizar la microcapa superficial (interfase aire-agua) en la zona del hundimiento.
- Determinar indicadores de degradación u oxidación, en base a las distribuciones de marcadores moleculares específicos.

Estos objetivos se coordinarán con los de otros apartados.

#### **6.1.3 Evolución y estabilidad de la estructura del pecio**

En el caso de que el fuel no pueda ser retirado de los tanques del pecio, una serie de estudios son recomendables:

##### **6.1.3.1 Corrosión del casco y tanques**

En el marco de las acciones a adoptar a medio y largo término, se sugiere un estudio de la corrosión del casco del buque en las condiciones de temperatura y presión a la que se encuentra actualmente el *Prestige* (360 atm, 2.5°C). Estos estudios permitirían predecir su comportamiento a largo plazo.

Para llevar a cabo este trabajo se requeriría información de los tipos de materiales utilizados en el casco y sus especificaciones técnicas: uniones soldadas (tipos y localizaciones de las soldaduras), diseño (por si hay corrosión por resquicio, aireación diferencial, etc.), mecanismos de protección contra la corrosión (protección catódica, pintura, etc.). También sería necesario conocer el estado actual del barco (si no pueden ser muestras in situ, sería adecuado algún documento gráfico) y nivel de llenado de los depósitos. En este sentido, el submarino *Nautilus* podrá proporcionar información e incluso muestras del casco.

Por otra parte es necesaria la caracterización del ambiente: tipo de agua, sobre todo del contenido en cloruros y oxígeno. Si bien estos datos están en la bibliografía, se extraerá agua con roseta de botellas oceanográficas de las inmediaciones de la zona de hundimiento (3.600 m, 2.5°C), de forma que se puedan realizar las experiencias pertinentes con agua natural, no simulada. Se podrán evaluar la velocidad de corrosión, simulando cuanto menos las condiciones de temperatura, predecir la velocidad de corrosión y caracterizar los productos de corrosión. También a medio plazo se podría

hacer un seguimiento *in situ* de la velocidad de corrosión, colocando un potencióstato o bien realizar medidas periódicas de la corriente, también con un potencióstato o sonda de potencial. Finalmente, con equipos adecuados (ultrasonidos) se podría evaluar el espesor de la capa de corrosión con el tiempo.

Objetivo: Se pretende determinar experimentalmente el alcance de la corrosión del casco y de los tanques en las condiciones ambientales que impone la masa de agua circundante a los fragmentos de proa/popa.

Metodología: Simulación del proceso de corrosión por efecto salino y concentración de oxígeno en condiciones similares a las de la zona abisal y seguimiento electroquímico.

Actividades: Las actividades que se pretenden desarrollar en esta sub-tarea son las siguientes:

- (a) Efecto de la concentración salina, pH del medio y concentración de oxígeno sobre la velocidad de corrosión.
- (b) Determinación de velocidades de corrosión relativas en soldadura y superficies planas.
- (c) Seguimiento *in situ* del proceso de corrosión.

Cronología: (a), (b) y (c) a lo largo de los tres años.

### **6.1.3.2 Estabilidad estructural del pecio**

Se estudiará el estado de la estructura de las dos partes del casco que están en el fondo marino con objeto de predecir su evolución como estructuras. Para ello, se partirá del estado del casco a flote, para simular los daños causados por la avería y el naufragio, así como los efectos producidos por la presión del agua durante la caída y los impactos subsiguientes con el fin de poder estimar el comportamiento futuro del pecio.

Se plantean las siguientes tareas:

- modelado de la estructura intacta
- modelado de la avería inicial
- modelado de las fracturas que sucedieron al adrizado del buque
- modelado de la rotura del casco.
- modelado de la caída de las dos partes del buque.
- modelado de los impactos en el fondo marino.
- simulación de deformaciones y pérdidas de integridad estructural a lo largo del tiempo.
- Consideraciones de corrosión y deterioro estructural progresivo.

## **6.2 Aplicación de la oceanografía operacional a los derrames de hidrocarburos (PT2)**

### **Objetivo general a corto plazo**

El objetivo general a corto plazo de este programa de trabajo es crear una estructura de oceanografía operacional, con base en los sistemas operacionales nacionales e internacionales de observación y de predicción numérica existentes, que facilite la información oceanográfica, meteorológica y de trayectorias del derrame relevante para la toma de decisiones en las zonas afectadas por la catástrofe del *Prestige*.

Este objetivo general, exige los siguientes objetivos específicos:

- (a) La recopilación de la información oceanográfica existente en las zonas afectadas por el derrame y la obtención de nuevos datos oceanográficos mediante la realización de campañas específicas.
- (b) La puesta en marcha de un eficiente sistema de observación y seguimiento del derrame mediante plataformas aerotransportadas, teledetección u otras técnicas.
- (c) La utilización de los sistemas operacionales nacionales e internacionales de observación y de predicción numérica como base para realizar la predicción de variables meteorológicas y oceanográficas mediante la implementación de modelos en las escalas regional y local.
- (d) La utilización de la información anterior para la implementación de modelos de respuesta rápida que faciliten la predicción de las trayectorias y procesos de transformación del vertido.
- (e) Proporcionar a las administraciones públicas de forma operacional la información meteorológica y oceanográfica necesaria para la definición de estrategias eficientes de lucha contra la contaminación (recogida, protección y/o limpieza) en la zona del pecio, en mar abierto o zonas costeras afectadas.

### **Objetivo general a largo plazo**

El objetivo general a largo plazo de este programa de trabajo es crear una estructura de ámbito nacional de oceanografía operacional, entendiendo por ello una estructura institucional compuesta por un sistema de observación del océano y un sistema de modelos numéricos predictivos de la evolución océano-meteorológica, abarcando diferentes escalas espaciales y de complejidad en cuanto a su contenido físico, incluyendo además otros modelos de respuesta rápida que, sobre la base de los datos proporcionados por los primeros, faciliten información relevante para la toma de decisiones por parte de la Administración, Salvamento Marítimo o cualquier tipo de institución que se considere necesario frente a sucesos contaminantes como el producido por el hundimiento del *Prestige*.

Este objetivo general, exige los siguientes objetivos específicos:

- (a) La integración de los sistemas de observación océano-meteorológica existentes en España, potenciando los mecanismos de control de calidad y transferencia de datos en tiempo real.
- (b) La ampliación de los sistemas de observación a las áreas marinas que no disponen de cobertura instrumental y el incremento del número de variables

medidas, extendiéndolos a aquellas de otro tipo (en particular biológicos y químicos) para los que la tecnología actual proporciona soluciones fiables.

- (c) La mejora de la capacidad de integración en los esquemas de predicción de los modelos numéricos empleados de los datos proporcionados por el sistema de observación para mejorar la calidad de las predicciones.
- (d) El establecimiento de una eficiente coordinación interinstitucional, que posibilite el diseño de la futura estructura de oceanografía operacional sobre la base de la economía y la calidad.

## **6.2.1 Datos oceanográficos y observaciones del derrame**

### **6.2.1.1 Recopilación de información oceanográfica y meteorológica histórica**

#### Objetivos:

- Realizar un inventario de todos los datos oceanográficos de campañas, fondeos y otras fuentes (satélite, barcos en ruta, etc.) recogidos en las zonas de interés.
- Recopilar la información meteorológica relevante en las zonas de interés
- Generar un sistema de acceso a dicha información con enlace a los datos, su posición, origen y disponibilidad.
- Sentar las bases para la creación de una base de datos oceanográficos nacional.

Esta información es fundamental para mejorar nuestro conocimiento sobre la oceanografía de las zonas afectadas, alimentar y validar los modelos numéricos disponibles con el fin de realizar la predicción de la trayectoria del hidrocarburo así como para prever el comportamiento de otras variables geofísicas relevantes en las operaciones de lucha contra la contaminación.

**Realización:** Se recopilará la información de los diferentes centros meteorológicos nacionales internacionales. La información oceanográfica se obtendrá entre otras fuentes de: INM, Puertos del Estado, IEO, NRL, CEDRE, IFREMER, CSIC, Instituto Hidrográfico Portugués así como de otras instituciones participantes en esta propuesta.

Cronología: 2 meses a 3 años

### **6.2.1.2 Obtención de nuevos datos oceanográficos**

#### **i) Campañas oceanográficas**

#### Objetivo:

Obtener datos in situ de las variables necesarias para: a) la caracterización del medioambiente marino en las zonas afectadas y b) la iniciación, asimilación y validación de los modelos numéricos.

#### Metodología:

Mediante buques oceanográficos actuando en la zona de interés.



### Cronología:

Realización urgente de una campaña oceanográfica en la zona afectada. En este sentido se apoya la iniciativa de la campaña a realizar por el IEO en la zona durante el mes de Abril y se solicita una extensión del tiempo de barco previsto para dicha campaña. A una escala de tiempo más larga se recomienda una campaña oceanográfica de control cada 6 meses. También se propone a esta escala temporal, la posible utilización de AXBTs.

Se propone también la realización de una campaña oceanográfica en el área del Cantábrico y Golfo de Vizcaya con el fin de evaluar el impacto de la contaminación producida por el petrolero *Prestige* en esta zona.

#### **ii) Boyas de deriva**

##### Objetivo:

Obtención de información lagrangiana para la inicialización, calibración y validación de modelos. Estimación de parámetros de dispersión en distintas zonas. Señalización y seguimiento de manchas. Medida de la estructura vertical hidrográfica.

##### Metodología:

Deposición de boyas de deriva superficiales desde helicópteros o buques oceanográficos. Seguimiento vía satélite en tiempo real. Uso de boyas perfiladoras (tipo ARGO) para seguimiento en el tiempo de la estructura vertical de temperatura y salinidad en la zona del hundimiento.

##### Cronología:

En el plazo de dos meses, deposición de boyas Argos en la zona de hundimiento y en otras agrupaciones de manchas importantes, relativamente cercanas a la costa o que constituyan una amenaza potencial para ella o para entornos marinos valiosos (áreas de afloramiento, puesta, reclutamiento, etc.). En período más largo de seis a tres años, estudio de la eficiencia de la técnica de trazar manchas con boyas lagrangianas, comprensión de las diferencias dinámicas y respuestas a estas diferencias entre transporte de derrames de consistencia fluido-viscosa (primeras fases de degradación del vertido de hidrocarburo) y partículas (correspondientes a las fases de mayor emulsión y envejecimiento de los fueles pesados), y obtención de los perfiles hidrográficos.

#### **iii) Fondeos**

##### Objetivo:

Obtención de información oceanográfica en zonas críticas muy localizadas.

##### Metodología:

Fondeo de instrumentos de medida de variables dinámicas en zonas de especial interés.

#### Cronología:

En el plazo de dos meses, se propone la realización de un fondeo en la zona del pecio, además de la utilización de las boyas operativas que posee Puertos del Estado en las zonas costeras afectadas. Durante esta escala corta de tiempo, los fondeos se limitarán a monitorizar variables físicas. A escalas de tiempo mayores (3 años) se sugiere la incorporación de sensores químicos y biológicos, el análisis de las series temporales obtenidas y la utilización de estos datos para la validación de los modelos numéricos.

#### **iv) Teledetección**

##### Objetivo:

Obtención de la máxima información posible del ambiente oceánico mediante el empleo de sistemas o sensores operados remotamente.

##### Metodología:

Observaciones realizadas desde satélites (temperatura, color, rugosidad) y aviones (vuelos específicos con radar de apertura sintética, SAR). Análisis de datos obtenidos con sistemas de radar de alta frecuencia para identificación de manchas en superficie.

##### Cronología:

En la escala temporal de dos meses, seguimiento operacional de las condiciones oceanográficas y evolución de las manchas mediante satélites y aviones. En la escala de tiempo de seis meses a tres años se incluye la continuación del seguimiento de forma automatizada (si es necesario) y el desarrollo de técnicas para optimizar la información proporcionada por plataformas remotas, especialmente SAR.

### **6.2.2 Modelización meteorológica**

##### Objetivo:

Proporcionar a los modelos oceanográficos predicciones de los forzamientos externos a distintas escalas espaciales. Específicamente es de gran importancia obtener predicciones de alta resolución de campos de viento en la zona del hundimiento y zonas costeras amenazadas por las manchas procedentes del *Prestige*. Evaluar la incertidumbre de las predicciones y usar ésta en el forzamiento de los modelos oceanográficos y en el cálculo de trayectorias.

##### Metodología:

Utilización de modelos atmosféricos de área limitada anidados a modelos meteorológicos globales o anidados entre sí para realizar simulaciones de muy alta resolución en zonas costeras. Para ello y con el fin de obtener la influencia de la orografía en los vientos costeros, la determinación del régimen de brisas, etc., sería de gran utilidad contar con modelos meteorológicos no hidrostáticos. Validación con observaciones en tierra y mar.

### Cronología:

Se considera urgente proporcionar de forma operativa, junto con los datos oceanográficos, información de forzamientos realistas a los modelos numéricos de simulación oceánica, tanto en el lugar del hundimiento como en las zonas costeras. A una escala de tiempo más larga (3 años) se recomienda la investigación de parametrizaciones de procesos físicos atmosféricos de muy pequeña escala y la descripción física de fenómenos en la interfase océano-atmósfera con el fin de incluir también la influencia de la oceanografía en la meteorología.

## **6.2.3 Modelización oceanográfica**

### **6.2.3.1 Modelado numérico de la circulación oceánica de gran escala**

#### Objetivo:

Proporcionar diagnósticos y pronósticos de la circulación oceánica, oleaje y transporte en zonas extensas del océano.

#### Metodología:

Inicialmente se descarta la posibilidad de desarrollar un modelo de estas características por lo que se mantendrá contactos con los organismos internacionales que tienen este tipo de modelos para seleccionar el más adecuado entre aquellos disponibles para las necesidades de predicción en nuestro litoral. A continuación se establecerán acuerdos para encontrar la fórmula operacional óptima a corto y a largo plazo para el establecimiento del sistema de oceanografía operacional y se investigará las técnicas de asimilación más adecuadas en función de los datos disponibles.

#### Cronología:

2 meses a 3 años. En el corto plazo se considera urgente tener acceso a estos modelos para proporcionar variables geofísicas necesarias para realizar la predicción de las trayectorias del derrame. Además la caracterización física del medio es una información requerida para la realización de cualquier acción en la zona del siniestro o en zonas afectadas. En un plazo más largo es necesario estudiar: los modelos disponibles y su fiabilidad; su integración con modelos regionales; técnicas de asimilación de datos en tiempo real y capacidad de integración en el sistema de oceanografía operacional.

### **6.2.3.2 Modelización numérica de la circulación en la escala regional**

#### Objetivo:

Proporcionar diagnósticos y pronósticos de la circulación oceánica, oleaje y transporte en la escala regional.

#### Metodología:

En esta tarea se realizará la zonificación de la costa peninsular y los archipiélagos, comenzando por las correspondientes a las zonas afectadas por el derrame para la

ejecución del modelo global en submallas embebidas o de otros modelos regionales que utilicen la información del modelo global como condiciones de contorno. La selección de las mallas en la escala regional se realizará con base en criterios fisiográficos, unidades de actuación, datos instrumentales existentes, etc.

Cronología:

2 meses a 3 años. En el corto plazo se considera urgente tener acceso a estos modelos para proporcionar variables geofísicas necesarias para realizar la predicción de las trayectorias del derrame. En un plazo más largo es necesario estudiar: los modelos disponibles y su fiabilidad; su integración con modelos globales y su integración con modelos locales; técnicas de asimilación de datos en tiempo real y capacidad de integración en el sistema de oceanografía operacional.

### **6.2.3.3 Modelización numérica de la circulación en la escala local**

Objetivo:

Proporcionar predicciones de las corrientes, oleaje y nivel con una alta resolución espacial y temporal para planificar las tareas de recogida de fuel en mar abierto y en la costa y optimizar los sistemas de protección en la zona costera, especialmente en zonas estuáricas.

Realización:

Se definirán los modelos numéricos más adecuados para el problema local considerado. Los modelos locales tendrán su escala espacial condicionada por las unidades fisiográficas y las unidades de actuación. Sus condiciones de contorno se determinarán a partir de los resultados de los modelos regionales.

En estos modelos locales se incluirán los forzamientos de descargas de ríos, corrientes de oleaje, etc. Esto implica la necesidad de introducir modelos espectrales de propagación de oleaje, corrientes y sobre-elevación de nivel en playas y modelos específicos para zonas someras y estuarios. Se considerará, asimismo, acoplar estos modelos con modelos de viento local.

Cronología:

2 meses a 3 años. En el corto plazo se considera urgente tener acceso a estos modelos para proporcionar variables geofísicas necesarias para realizar la predicción de las trayectorias del derrame en la zona próxima a la costa y en la entrada de los estuarios así como para determinar las medidas de protección más adecuadas. En un plazo más largo es necesario estudiar: los modelos disponibles y su fiabilidad; su integración con modelos regionales; técnicas de asimilación de datos en tiempo real y capacidad de integración en el sistema de oceanografía operacional.

#### **6.2.3.4 Modelización y seguimiento del vertido**

##### Objetivo:

Desarrollar un sistema eficaz de observación, seguimiento y modelización de vertidos de hidrocarburos en el litoral que sea útil para preparar planes de contingencia de lucha y protección frente a la contaminación.

##### Metodología:

Desde el primer momento se utilizarán modelos existentes o modelos de respuesta rápida, fundamentalmente lagrangianos que dan trayectorias. Asimismo, se irán utilizando y desarrollando nuevos modelos, haciendo especialmente hincapié en el desarrollo de metodologías con capacidades tridimensionales con el fin de analizar, la zona de vertido y el seguimiento de fuel no superficial.

Se incluyen de forma explícita en esta sección la intercomparación de los resultados obtenidos con los distintos modelos, en escenarios bien definidos. También se incluye la evaluación de la incertidumbre de las predicciones.

##### Cronología:

De 2 meses a 3 años

#### **6.2.3.5 Elaboración de información para toma de decisiones y planes de actuación**

##### Objetivo:

Generar, a partir de las tareas desarrolladas anteriormente, la información relativa a condiciones meteorológicas y oceanográficas necesaria para planificar cualquier tipo de actividad en la zona del hundimiento así como las actividades de limpieza y protección en mar abierto o en las zonas costeras bajo riesgo potencial de afección.

##### Metodología:

En función de los diferentes niveles de desarrollo del sistema de predicción de variables geofísicas y de trayectorias se utilizará la información oceanográfica y meteorológica disponible. Se realizarán ejecuciones de los modelos a diferentes escalas aunque éstos no se encuentren acoplados de forma directa hasta la consecución del modelo predictivo integrado.

##### Cronología:

2 meses, 6 meses y 3 años. En cada escala temporal se trabajará con los medios instrumentales y numéricos disponibles en cada momento. Al final del tercer año se espera que toda esta información será generada con el sistema de predicción integrado.

#### **6.2.4 Desarrollo de un sistema integrado operacional de predicción de variables geofísicas relevantes y de seguimiento de derrames**

##### Objetivo:

Desarrollar un sistema integrado de oceanografía operacional, entendiéndose por ello una estructura interinstitucional compuesta por una unidad de observación del océano y la atmósfera y una unidad de gestión de modelos numéricos predictivos de la evolución océano-meteorológica con capacidad para generar información predictiva sobre variables geofísicas relevantes y seguimiento de derrames en tiempo real.

##### Metodología:

A partir de las tareas anteriores se efectuará la integración de los modelos global, regional y local y se fijarán las condiciones operacionales necesarias para el correcto funcionamiento del sistema. Inicialmente se propone que el modelo global y los modelos regionales sean ejecutados en una única institución que proveerá condiciones de contorno a los modelos locales. Se propone que estos modelos locales sean aquellos que se estime como más adecuados dentro de cada una de las unidades de actuación o comunidades autónomas y que funcionen bajo la supervisión de la institución que aquellas consideren más adecuada.

Al mismo tiempo se iría, por un lado, ampliando las redes de observación existentes y, por otro, extendiéndolas gradualmente a otras regiones de acuerdo con criterios estratégicos. Estas redes de observación serán diseñadas teniendo en cuenta criterios de integración con sistemas de observación internacionales.

##### Cronología:

3 años

##### **Entre las tareas expuestas se considera prioritario a corto plazo:**

- (1) La realización de la campaña oceanográfica en la zona del pecio (incluido en Tarea 2.1.).
  - a. La recopilación de la información oceanográfica disponible y la creación de una página web que incluya la misma. En principio, la Universidad de Vigo se ha comprometido, hasta Diciembre de 2003, a hacerse cargo de la misma.
  - b. La campaña, planificada por el IEO para Marzo-Abril de 2003 parece técnicamente muy adecuada para conseguir los objetivos planteados en la tarea 2.1. Sin embargo, se considera que se debe hacer lo antes posible. Por otro lado, se estima que los costes derivados de la campaña deben ser estudiados con detalle antes de tomar ninguna decisión al respecto.
  - c. Planificar una campaña de evaluación de los efectos de la contaminación en el Golfo de Vizcaya
- (2) La realización de fondeos específicos para la obtención de nuevos datos oceanográficos (incluido en Tarea 2.1.)

- a. El IEO propone realizar un fondeo para medida de corrientes en 6 niveles en la zona del hundimiento y dos cerca de las boyas de Puertos del Estado en Villano y Estaca.
  - b. AZTI propone instalar un fondeo de correntímetros en las proximidades de Cabo Machichaco utilizando para ello, si fuese posible, alguna otra infraestructura existente.
- (3) El análisis de la estructura general del sistema operacional y fundamentalmente el análisis de los diferentes modelos numéricos que pueden integrar el mismo. (incluido en Tareas 2.3. y 2.4.)

### **Actividades realizadas hasta la fecha**

#### Tarea 2.1.

- Colocación de boyas lagrangianas y seguimiento en zonas del vertido, litoral Cantábrico y Golfo de Vizcaya. Publicación de trayectorias en páginas Web. CSIC (ICM-IMEDEA), AZTI
- Campañas de campo en zonas afectadas próximas a la costa. IEO, CSIC (IMEDEA) y Universidad de Vigo.
- Monitorización en tiempo real de parámetros oceanográficos (oleaje, corrientes, temperatura del agua, nivel del mar) y meteorológicos a través de las distintas redes de medida, PUERTOS DEL ESTADO.
- Procesado de imágenes de satélite, IEO.

#### Tarea 2.2.

- Predicción meteorológica en las zonas afectadas. Meteogalicia e INM.
- Predicción de oleaje. Suministro de predicciones en la zona y envío específico a Ifremer de campos de oleaje destinados a estimar las condiciones de operatividad del submarino Nautilo, PUERTOS DEL ESTADO.
- Predicción de nivel del mar en la zona, PUERTOS DEL ESTADO.

#### Tareas 2.3. y Tarea 2.4.

- Meteogalicia y Universidad de Vigo: Puesta en marcha de un sistema de oceanografía operacional incluyendo el seguimiento del vertido para la zona de Galicia.
- Universidad de Cantabria, PUERTOS DEL ESTADO y AZTI: Puesta en marcha de un sistema de oceanografía operacional incluyendo el seguimiento del vertido para la zona del Cantábrico.
- Meteogalicia e IMEDEA, predicción de trayectorias de manchas en la zona de Galicia.
- IMEDEA, Meteogalicia y U. de Cantabria, colaboración con la NOAA para la puesta a punto de sus sistemas de predicción de trayectorias en Galicia y zona del Cantábrico

### **6.3 Distribución y dinámica del fuel-oil en los ecosistemas afectados. Limpieza y gestión de los residuos (PT3).**

#### **Objetivos generales:**

Un producto petrolífero vertido al mar sufre una serie de procesos físicos (p.ej. disolución, evaporación, dispersión y emulsión), químicos (p.ej. foto-oxidación) y biológicos (p.ej. degradación), que conducen a su distribución entre los distintos compartimentos bióticos y abióticos del medio marino y a su ulterior acumulación y/o degradación.

Estos procesos son secuenciales en el tiempo y afectan de forma distinta a los distintos componentes del petróleo. Aunque cada vertido tiene una dinámica distinta, dependiendo del tipo de producto y de las condiciones ambientales, puede señalarse, de forma general, que los procesos de tipo físico ocurren desde el primer momento del derrame hasta las primeras semanas. Los procesos foto-oxidativos empiezan a ser evidentes al cabo de varias semanas. Finalmente, la biodegradación precisa de varios meses para dejar sus huellas en el producto.

Por otra parte, los compuestos de bajo peso molecular (< 10 átomos de carbono) son susceptibles de ser evaporados y/o disueltos con cierta rapidez y, por tanto, desaparecer de la zona afectada por el derrame en los primeros días. Los compuestos aromáticos serán los principales afectados por la foto-oxidación química, que conduce a la formación de compuestos oxigenados de mayor toxicidad y, al ser de tipo radicalario, también a la formación de productos de condensación (resinas y asfaltenos) más persistentes en el medio. Por su parte, las bacterias aerobias del medio marino, principalmente *Pseudomonas* y *Aeromonas*, utilizarán los hidrocarburos alifáticos como fuente de energía, convirtiéndolos en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O y, también como co-metabolitos para la degradación de anillos aromáticos. Estos procesos tienen lugar en escalas de tiempo de varios meses o años.

El conocimiento de la dinámica ambiental de un vertido de petróleo, a través del estudio de la evolución de la composición química del mismo, es fundamental para evaluar su impacto en el medio, la extensión y duración del mismo y la forma de acelerar los procesos naturales de restauración. Estos son los objetivos que se persiguen en este Programa de Trabajo, para lo cual se señalan seis tareas principales:

- Estudio de la distribución de hidrocarburos en la columna de agua.
- Estudio de la distribución de hidrocarburos en biota.
- Estudio de la distribución de hidrocarburos en el sedimento marino.
- Procesos de degradación fotoquímica y microbiológica.
- Investigación sobre nuevos métodos de limpieza de playas y del litoral.
- Sistemas de gestión y reutilización de los residuos.

#### **Ámbito de actuación e instrumentos comunes:**

Para llevar a cabo los objetivos citados, es importante, en primer lugar, definir el marco global del estudio, que incluya el establecimiento de la tipología de hábitats, tanto por lo que se refiere a la columna de agua (mar abierto, rías, lagunas costeras, etc.), como al



margen costero (zona rocosa, playas arenosas, etc.) o al sedimento. Una vez realizado este paso, deberá definirse una estrategia de muestreo jerárquica, basada en el tipo de hábitat, su grado de afectación por el fuel y la variabilidad temporal esperable en el ecosistema correspondiente. Estas consideraciones ayudarán a optimizar los muestreos de agua, organismos y sedimentos, propuestos en 6.3.1, 6.3.2 y 6.3.3.

Asimismo, teniendo en cuenta que como resultado de las actividades que se desarrollen en este capítulo se generarán importantes cantidades de datos analíticos, debe cuidarse, de manera especial, el uso de metodologías coherentes y la validación de los resultados, para lo cual se deberá implementar un sistema de intercalibración entre los laboratorios que participen en la obtención de datos.

La información generada debe alimentar una base de datos de calidad contrastada que incorpore, además de los datos obtenidos en los estudios a realizar, datos históricos obtenidos por las diversas instituciones de la región. Esta base de datos debería integrarse en una Unidad de Coordinación de Información que abarcara todos los proyectos, muestreos y conjuntos de datos obtenidos en relación con el problema del *Prestige*, para rentabilizar al máximo dicha información, evitar la repetición de esfuerzos y facilitar el establecimiento de colaboraciones.

En este sentido, sería importante implementar un sistema de información geográfica (GIS), accesible *via* Internet a todos los grupos de investigación participantes. Esta tarea formaría parte de las labores de coordinación que se mencionan en el capítulo 6.6.

### **6.3.1 Distribución de hidrocarburos en la columna de agua.**

Las medidas prospectivas realizadas en la primera campaña desarrollada en el Atalante con el Nautilo en la zona del vertido, han mostrado indicios claros de presencia de hidrocarburos y metales pesados en los primeros 50 metros de agua y en las proximidades de los pecios. Por lo tanto, cabe esperar que parte de los contaminantes aportados por el fuel a la columna de agua puedan incorporarse a la cadena trófica. Por otra parte, las medidas preliminares ya realizadas en la plataforma también indican valores altos de hidrocarburos en agua y sedimentos, por lo que cabe esperar que mientras el fuel se encuentre pegado al sustrato lítico en los márgenes someros (profundidades menores de 40-60 metros) se seguirá introduciendo en el agua y en los organismos.

Los resultados generados en este apartado deben conducir a la evaluación de la distribución espacial y temporal de los niveles de hidrocarburos y otros contaminantes asociados con el vertido (p. ej. metales pesados) en agua y organismos, utilizando para ello un diseño de muestreo que permita, siempre que sea posible, la recolección de datos útiles para otros objetivos definidos en el Programa de Actuación. En este sentido, las campañas de muestreo se definirán en base a la información existente sobre las condiciones físico-químicas y biológicas en el ecosistema pelágico, generada, entre otros, en las actividades previstas en el capítulo 6.2.

La presencia de fuel en una vasta superficie del margen costero, en el dominio mareal, y vagando por el fondo, conduce a un aporte continuo de contaminantes al agua de mar circundante. La alta variabilidad dinámica del margen costero determina que los trabajos de seguimiento deben realizarse allí con una mayor frecuencia. La integración de los resultados obtenidos dentro de modelos hidrodinámicos acoplados a modelos de

degradación química y biológica del fuel permitiría calcular los tiempos de exposición del agua y de los organismos a los sustratos sólidos contaminados.

En la zona frontal de plataforma donde se produce una convergencia de agua, es probable encontrar niveles más altos de contaminantes. Asimismo, la presencia de extensas irisaciones sobre la superficie marina requiere un muestreo específico de la microcapa de agua superficial, con el fin de determinar la causa precisa de dichas formaciones, que pueden proceder del vertido del pecio o ser fracciones residuales del vertido inicial.

### **6.3.1.1 Columna de agua y material particulado en suspensión.**

#### Objetivo:

Determinar la distribución espacial y temporal de los niveles de contaminación por hidrocarburos y elementos asociados tanto disueltos en la columna de agua como en diferentes compartimentos de materia particulada en suspensión.

#### Metodología:

Operacionalmente, en función de la diferente dinámica marina, de la plataforma de trabajo y de la integración con otras actividades del PIC, los objetivos arriba detallados precisan la adopción de estrategias de muestreo diferenciadas para los estudios a desarrollar en el margen costero y en la zona oceánica. En el primero de los casos, se deben realizar estudios que aprovechen y complementen las redes de vigilancia existentes y los proyectos de investigación en curso financiados por entidades diversas. Para los estudios en la zona oceánica, se realizarán campañas oceanográficas en la zona afectada cuyo número y periodicidad dependerán de los resultados obtenidos. Estas campañas deberán estar coordinadas con las campañas operacionales de física oceanográfica.

La cuantificación de los niveles de contaminantes en la materia particulada en suspensión (que incluye plancton y detritus) se efectuará adoptando una aproximación en clases de tamaño compatible con la empleada en las campañas de evaluación de biomasa de pequeños peces pelágicos desarrolladas por el IEO en la región durante los últimos años. Se realizará también toma de muestra de la microcapa superficial, donde habitan organismos especialmente adaptados (neuston) y en la que puede acumularse una alta concentración de contaminantes hidrofóbicos, como los hidrocarburos.

El estudio inicial de la distribución espacial se llevará a cabo utilizando métodos de muestreo específicos en estudios de contaminación marina y metodologías analíticas que sean de rápida aplicación, como es el caso de la Espectrofluorimetría UV para la determinación de hidrocarburos, sacrificando la precisión y exactitud en aras a obtener información en un plazo corto. Sobre una distribución espacial conocida se utilizarán técnicas analíticas más precisas y exactas que suministran una información más completa, como la Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas, para la determinación de hidrocarburos o la Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS) para los metales.

**i) Niveles de contaminantes en el margen costero. Seguimiento espacio-temporal**

Se recomienda realizar tomas de muestras de agua y de diferentes compartimentos de materia particulada desde la zona costera más interna hasta superar el frente de plataforma. Este muestreo se coordinará con las actuaciones que diversos Entes llevan a cabo regularmente.

En todo caso, el seguimiento se efectuará hasta que se observen concentraciones de contaminantes similares a las medidas con anterioridad al vertido.

**ii) Niveles de contaminantes en la zona oceánica. Seguimiento espacio-temporal**

Para el seguimiento del contenido de hidrocarburos y metales pesados en disolución en la columna de agua y en diferentes compartimentos de la materia particulada en suspensión es necesaria la realización con carácter de urgencia de una campaña oceanográfica que previsiblemente deberá acontecer en la época de la proliferación primaveral. Esta campaña deberá cubrir una extensión espacial que garantice la toma de muestras en todas las regiones afectadas.

La decisión sobre la realización de campañas posteriores así como sobre el plan de muestreo de éstas se adoptará en función de los resultados obtenidos en la campaña inicial. No obstante, sería aconsejable prever una segunda campaña en período de estratificación estival.

Cronología:

Un año, con posible extensión a tres en el margen costero, en función de los resultados obtenidos en las primeras campañas.

**6.3.2 Distribución de hidrocarburos en organismos indicadores. Seguimiento espacio-temporal.**

Objetivo:

El objetivo fundamental de este apartado es identificar distintas especies que puedan ser indicadoras del nivel de contaminación existente en un momento dado en una zona concreta, y determinar el grado de exposición y acumulación temporal de los hidrocarburos en eslabones representativos de la cadena trófica. Esta actividad es complementaria y de soporte a las enumeradas de forma específica en el capítulo 6.4 ("Impacto sobre el medio biológico").

Plan de actuación:

Se seleccionaran algunas especies representativas de los distintos ecosistemas y niveles tróficos. En la zona de sedimentos intermareales o infralitorales se propone utilizar organismos sedimentívoros, como *Arenicola marina* o *Nereis diversicolor* (poliquetos), *Loripes lacteus* ó *Scrobicularia plana* (moluscos bivalvos), en zonas protegidas, y *Venus*, *Tellina*, *Dosinia* entre otros, frecuentes en las playas del Noroeste y Norte Ibérico, en zonas abiertas. También algún depredador, como *Nephtys*, *Diopatra* o

*Glycera* (poliquetos), o *Nassarius reticulatus* (molusco gasterópodo) y el equinoideo *Echinocardium costarum*, que se mostró especialmente sensible a la contaminación por hidrocarburos en el accidente del Aegean Sea.

En rocas intermareales se propone la selección de *Mytilus edulis* (filtradores de plancton), y *Nucella lapillus* (carnívoro), depredador de estos, y de *Patella vulgata* (herbívoro rascador) y *Littorina obtusata* (herbívoro sobre *Fucus* spp.). En roca submareal el efecto se mediría sobre *Paracentrotus lividus* (herbívoro críptico). Además, deberían considerarse, por su interés comercial, moluscos infaunales tales como almeja y berberecho o percebe y erizo. Asimismo, dada la importancia económico-social del mejillón cultivado, se sugiere que, en el caso de resultar afectado, llevar a cabo un estudio intensivo del mismo.

El ecosistema de fondo (demersal y bentónico) puede estar representado por especies de los niveles tróficos 2 (cigala, centollo, nécora, etc.), 3 (pulpo, salmonete, lenguado), 4 (gallo) y 5 (merluza, rape).

Finalmente, del ecosistema pelágico se seleccionarían básicamente especies de interés comercial, como sardina y anchoa (consumidores principalmente de zooplancton), o jurel y caballa (consumidores de macrozooplancton y pequeños planctófagos).

Una vez identificadas las especies indicadoras de cada hábitat y los tejidos/órganos sobre los que centrar la vigilancia, se procederá al diseño de una red espacial y temporal de observación de niveles de hidrocarburos en biota. Esta tarea se llevará a cabo en estrecha colaboración con las comprendidas en el capítulo 6.4.

#### Metodología:

A partir de los resultados obtenidos en el muestreo inicial para la estimación de la distribución espacial de la concentración de hidrocarburos en agua, roca y sedimentos, se elegirán aquellos puntos de muestreo más representativos, con el fin de no incrementar innecesariamente el número de muestras.

La frecuencia de los muestreos se definirá basándose en los resultados obtenidos y considerando las variaciones oceanográficas así como las que experimentan las especies a lo largo del año. En cualquier caso, es fundamental la evaluación de las tendencias temporales para lo cual será preciso prolongar los muestreos en años sucesivos.

En dichos muestreos se determinarán, no sólo contenidos de hidrocarburos en diferentes tejidos/órganos (p.ej. tejido adiposo, hígado, etc.), sino también metabolitos representativos de su grado de exposición (p.ej. hidrocarburos aromáticos policíclicos hidroxilados en bilis de peces). Para ello se emplearán las siguientes técnicas analíticas: Cromatografía Líquida de Alta Eficacia y Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas.

#### Cronología:

Tres años, con posible extensión en determinados puntos, en función de las tendencias temporales observadas.

### **6.3.3 Distribución de hidrocarburos en el sedimento marino.**

El sedimento marino constituye uno de los destinos finales del petróleo vertido al mar. Medidas preliminares realizadas en la zona costera por el IEO (Vigo) indican valores altos de hidrocarburos en el sustrato lítico, en profundidades comprendidas entre los 40-60 metros hasta 300-400 m. En consecuencia, es primordial reflejar cartográficamente tanto la variabilidad horizontal (distribución) como la vertical (tiempo) de la superficie afectada por el vertido.

Los objetivos principales de esta sección se centran en:

- (a) Determinación del grado y de la extensión inicial de la contaminación por hidrocarburos en el sedimento marino, en particular en:
  - a. las rías,
  - b. la plataforma continental,
  - c. el talud continental hasta la zona de hundimiento.
- (b) Modelización de los procesos geoquímicos, tanto de su variabilidad horizontal (distribución), como evolución vertical (tiempo), que permita interpretar su evolución post-sedimentaria, para evaluar las tendencias a medio y largo plazo.

#### **6.3.3.1 Caracterización de la contaminación en las Rías y plataforma continental.**

La gran superficie de la zona afectada, y la dificultad para identificar las acumulaciones de fuel-oil en los fondos marinos mediante métodos acústicos y sísmicos, hace necesaria una malla de transectos de control que facilite una visión espacial previa. Es por lo tanto de gran importancia la selección de transectos para el estudio. Para ello será de gran ayuda el mapa previo del IEO (Vigo), así como la estrategia del muestreo a seguir para llegar a una aproximación lo más ajustada posible al problema planteado.

##### Fases de actuación

En primer lugar se establecerán y delimitarán las zonas de trabajo y el diseño de las campañas de toma de muestras de sedimentos en las Rías y la plataforma continental. Una correcta ubicación de los puntos de muestreo geológico del fondo marino, exige realizar previamente un reconocimiento de la zona considerada mediante métodos acústicos y/o sísmicos de alta resolución (perfilador de fondos 3.5 KHz ), que identifique la presencia del lecho sedimentario y sus espesores, de la presencia de afloramientos rocosos y probables zonas de acumulación de fuel-oil en la superficie de los sedimentos y/o en su interior. Por otra parte, se hace necesario disponer de datos hidrodinámicos reales en las zonas de trabajo y/o el empleo de los ya existentes (obtenidos en el PT2) para la comprensión de los procesos de transporte. Para ello se tendrá en cuenta los datos disponibles en ambos sectores, lo que permitirá establecer con una mayor precisión la estrategia espacio-temporal a seguir.

Los muestreos geológicos tienen por objeto estimar la distribución espacial del fuel-oil y obtener niveles de fondo (naturales) que permitan la caracterización y el grado de contaminación existente. Junto con la determinación de las concentraciones de fuel-oil, se estudiará también la influencia del mismo sobre las propiedades físicas y composicionales del sedimento, mediante medidas de susceptibilidad magnética. Esta técnica permite valorar la incidencia de la contaminación de una forma muy rápida y eficaz.

Previa determinación de los niveles de interés en los testigos, entiéndanse aquellos afectados por el fuel-oil, se procederá a la obtención de muestras discretas para una mayor precisión y detalle del alcance de la contaminación. Se valorarán especialmente los niveles de contaminación por hidrocarburos y de metales pesados como el V, Ni, etc. y su pertenencia a la carga del *Prestige*.

Igualmente, en dichas muestras se propone el uso de las asociaciones de foraminíferos bentónicos para la monitorización a corto y medio plazo de las zonas afectadas por el vertido, en la línea de trabajo seguida en otras catástrofes semejantes (*Amoco Cadiz*, *Exxon Valdez*, *Erika*). La comparación de las asociaciones previas al vertido con las que se registran después del mismo en las zonas afectadas o la comparación de las asociaciones de las zonas afectadas con las de otras no afectadas permite estimar el impacto del vertido en zonas someras e intermareales.

Este tipo de estudios se puede complementar con experimentos controlados en laboratorio basados en evaluar el efecto de diferentes concentraciones de hidrocarburos sobre determinadas especies. Asimismo, se combinarán con el seguimiento de comunidades bentónicas en puntos seleccionados que se efectúen en el apartado 6.4.1.

Finalmente, se procedería a la integración de los datos sedimentológicos, sísmicos, hidrodinámicos, geoquímicos y biológicos, lo que permitirá la realización de modelos predictivos de evolución de la contaminación.

#### Objetivos concretos:

- Caracterización físico-química del sedimento.
- Distribución geográfica y vertical del fuel en el sedimento.
- Incidencia en los procesos biogeoquímicos naturales
- Dinámica sedimentaria y previsión de la evolución del impacto en el tiempo

#### Metodología:

1- Diseño de las campañas (sísmica, muestreo, hidrodinámica) y recopilación de datos y estudios previos en el área.

2- Técnicas de muestreo: empleo de diferentes tipos de testificadores de caja, gravedad y de pistón, según las necesidades definidas por las condiciones existentes en cada lugar.

3- Trabajos de laboratorio empleando las técnicas estándar para la caracterización del material sedimentario y técnicas analíticas específicamente indicadoras de la contaminación (XRF, ICP-MS, LECO, SEM, etc), además de la determinación de hidrocarburos (espectrofluorimetría, GC-MS, HPLC, etc.) y biomarcadores (foraminíferos).

4- Se considerarán los datos hidrodinámicos existentes y los resultantes del PT2 para valorar la movilización y dispersión actual del fuel-oil.

#### Cronología:

Un año, con posible extensión a tres en el margen costero, en función de los resultados obtenidos en las primeras campañas.

### **6.3.3.2 Caracterización de la contaminación en los sedimentos en el talud continental hasta la zona de hundimiento**

Para la evaluación de impacto ambiental en el talud continental hasta la zona de hundimiento, se procederá de forma similar a la expuesta en el apartado 6.3.3.1. Teniendo presente la fisiografía y características estructurales del área, en una primera fase se establecerán estaciones de muestreo mediante trampas de sedimentos y de obtención de testigos sedimentarios de longitudes variables que permitan alcanzar mayor resolución temporal y obtener niveles de fondo (naturales) como referencia. Será necesaria la realización de dos campañas: una mediante métodos de sísmica de alta resolución (Sparker) y otra de muestreo de sedimentos identificando previamente las estaciones sobre los registros sísmicos obtenidos.

Los trabajos de laboratorio se harán de modo similar al apartado 6.3.3.1.

#### **Objetivos:**

- Caracterización físico-química de los sedimentos
- Distribución geográfica y vertical del fuel-oil en el sedimento

#### **Metodología:**

Ver apartado 6.3.3.1.

Cronología: Un año, con posible extensión a tres en el margen costero, en función de los resultados obtenidos en las primeras campañas.

### **6.3.4 Procesos de degradación fotoquímica y microbiológica**

El principal objetivo de esta tarea es evaluar el efecto de las condiciones físicas, químicas y biológicas del entorno en el comportamiento y persistencia del fuel-oil en el medio abiótico.

Los trabajos realizados a raíz del accidente del *Aegean Sea* mostraron que al cabo de dos años los hidrocarburos procedentes del vertido habían desaparecido del medio, recuperando éste los niveles iniciales. Sin embargo, en aquella ocasión, el vertido fue de un crudo ligero, mientras que en el presente se trata de un fuel-oil pesado. Es necesario, por tanto, siguiendo un planteamiento similar, investigar la evolución del fuel del *Prestige* en la zona costera. Para ello se determinará la composición química de muestras seleccionadas, con el fin de identificar la presencia de nuevos compuestos, generalmente oxigenados, procedentes de la foto-oxidación, o bien la desaparición de otros, que puedan confirmar la existencia y alcance de los procesos de biodegradación.

Los estudios de campo deberán complementarse con estudios de laboratorio, para simular o confirmar los procesos observados. Unos y otros se llevarán a cabo en estrecha colaboración con las tareas contempladas en el apartado 6.3.5.2.

Los resultados obtenidos servirán de base para orientar la tareas de limpieza (ver tarea 6.3.5) y los estudios ecotoxicológicos sobre las especies de interés comercial (ver tarea 6.4.3).

### Metodología y plan de actuación:

#### Estudios de campo:

- recogida de muestras de manchas de fuel y sedimentos, en zonas seleccionadas en función de sus características, y aplicación de la misma metodología utilizada para la caracterización del producto (ver 6.1.1.2). Estos muestreos se efectuarán a lo largo de tres años, con periodicidad variable, en función de los resultados.
- análisis de la microbiota presente mediante conteo de microorganismos y utilización de técnicas de biología molecular. Determinación de actividades enzimáticas microbianas.

#### Estudios de laboratorio:

- determinación de la fracción soluble a diferentes temperaturas utilizando el método de la SINTEF de Noruega.
- estudio de la solubilización del fuel-oil en función de la presión a temperatura ambiente
- estudio de la composición química del residuo después de envejecimiento simulado mediante fotólisis en agua de mar y/o biodegradación. Identificación de indicadores de degradación.
- aislamiento de fracciones de polaridad creciente tanto del producto original como del envejecido, para su aplicación en los estudios de toxicidad aguda y crónica indicados en la sección 6.4.3.

### Cronología:

Tres años, con posible extensión en función de los resultados obtenidos.

### **6.3.5 Investigación sobre nuevos métodos de limpieza de playas y del litoral**

La recuperación de zonas contaminadas por petróleo o fuel tiene dos etapas bien diferenciadas. La primera es la recogida manual de todo el fuel que se pueda recoger. Esta es la etapa en la que actualmente se encuentra el problema. La segunda etapa puede requerir la utilización de métodos mecánicos o físico-químicos. Finalmente, se apela al paso del tiempo para que la acción natural de degradación acabe de eliminar los residuos. Pero esta labor puede acelerarse significativamente si se abordan determinadas estrategias sencillas que favorezcan dicha acción.

Existe, por tanto, un ámbito de trabajo relacionado con la evaluación de estas tecnologías de limpieza y su impacto en la flora y fauna autóctonas.

#### **6.3.5.1 Tratamientos físico-químicos**

El objetivo de este punto es el de evaluar las posibilidades de diferentes tratamientos en los entornos rocosos del litoral costero. Estas zonas presentan un grado de especificidad muy acusado que precisa un estudio concreto. Para ello, se parte del análisis de varios entornos diferentes:



- i) acantilados no expuestos a la acción del mar;
- ii) plataformas costeras en donde pueden proliferar numerosas formas de colonización biológica (algas, epifauna, infauna, etc.);
- iii) playas de gravas que constituyen uno de los entornos que pueden resultar más afectados (debido a su alta porosidad, el hidrocarburo pueda llegar a infiltrarse hasta 1 m.);
- iv) entornos rocosos en zonas resguardadas de la acción del oleaje.

Partiendo de una limpieza manual previa, resulta interesante la evaluación de la eficacia de métodos físico-químicos, no tan sólo sobre la capacidad de limpieza sino especialmente considerando su efecto sobre el ecosistema.

#### Objetivos:

Se consideran como alternativas de tratamiento algunas de tipo más convencional como el uso de agua fría a baja presión, así como otras menos conocidas como agua caliente a presión, uso de vapor, hielo seco y lavado con disolventes. Resulta de interés, además, el desarrollo de nuevos métodos de limpieza basados en la aplicación de adsorbentes, a aplicar en combinación con los anteriores.

Debe tenerse en cuenta la adecuación de cada método de limpieza en relación con el tipo de costa y su grado de afectación. El impacto se medirá estableciendo un diseño experimental que permita analizar la recuperación de las comunidades biológicas después del tratamiento. Se considerarán zonas control afectadas y no afectadas, que se mantendrán durante el tiempo necesario (estimado en dos o tres años) para permitir analizar el impacto de cada sistema empleado.

La información obtenida deberá incorporarse a los protocolos de respuesta a vertidos de petróleo que se elaborarán en el capítulo 6.5.2 del Programa de Intervención.

#### **6.3.5.2 Biorremediación: aproximaciones biotecnológicas para regenerar las zonas contaminadas por el derrame de fuel del petrolero *Prestige* en las costas de Galicia**

Es conocida la existencia, tanto en el mar como en tierra firme, de microorganismos capaces de degradar –metabolizar- fracciones del petróleo y convertirlas en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Su abundancia es incluso mayor en zonas crónicamente contaminadas por hidrocarburos. En el accidente del petrolero *Exxon Valdez* en las costas de Alaska en 1989, se ha comprobado que el número de estos microorganismos aumenta de forma espontánea en varios órdenes de magnitud en las zonas contaminadas, a las pocas semanas del accidente. Este crecimiento va acompañado, además, de la producción de distintos tipos de surfactantes que ayudan a solubilizar el fuel. Sin embargo, existen varios factores que dificultan y limitan el proceso de biodegradación. El principal es que el petróleo contiene mucho carbono y bastante azufre en formas asimilables por los microorganismos, pero tiene muy poco nitrógeno y nada de fósforo, lo que limita el crecimiento microbiano. Cuando se agotan las fuentes disponibles de nitrógeno y fósforo, los microorganismos dejan de crecer, aunque siga habiendo mucho carbono (hidrocarburos) disponible.

Existen numerosas pruebas experimentales que demuestran que la adición de estos nutrientes favorecen el crecimiento bacteriano. Sin embargo la efectividad de los

mismos depende de la forma de aplicación. Así, en el caso del *Exxon Valdez*, se observó que los fertilizantes granulados favorecieron la biodegradación en playas arenosas, mientras que los fertilizantes oleofinicos favorecieron la biodegradación en playas rocosas. También puede ser importante proveer hierro, ya que muchas de las enzimas que oxidan hidrocarburos utilizan hierro como co-factor. El resultado final es que se favorece mucho el crecimiento de microorganismos autóctonos capaces de degradar los hidrocarburos del petróleo. Es importante destacar que este método, que es sencillo y ha demostrado ser eficiente, no requiere añadir microorganismos degradadores de hidrocarburos obtenidos en el laboratorio o en otro lugar. La adición de microorganismos exógenos no suele dar buenos resultados, probablemente porque los microorganismos obtenidos en un ambiente dado pueden no ser competitivos cuando se les inocula en otro ambiente diferente.

Otro factor importante es la disponibilidad de oxígeno. La biodegradación de petróleo en suelos contaminados es relativamente eficiente en las capas superficiales, en las que hay oxígeno, pero es más lenta en zonas en las que el oxígeno escasea, como por ejemplo en sedimentos marinos. Esto se debe a que, aunque existen microorganismos capaces de degradar hidrocarburos en ausencia de oxígeno, el proceso es menos eficiente y el crecimiento bastante más lento que el de los microorganismos que usan oxígeno para metabolizar los hidrocarburos. En lugares bien confinados la eliminación anaerobia se acelera facilitando un aceptor final de electrones para distintos procesos como puede ser nitrato o sulfato.

En resumen, es factible explotar la capacidad microbiana de metabolizar hidrocarburos para la limpieza de zonas contaminadas por fuel y otros derivados del petróleo. Aunque esto no requiere añadir microorganismos exógenos a la zona contaminada, es muy importante el suministro adecuado de nutrientes (nitrógeno, fósforo y hierro) para estimular el crecimiento de los microorganismos que habitan el lugar. Los datos disponibles indican que la adición de estos nutrientes acelera la regeneración de las zonas contaminadas hasta unas 3 veces. Finalmente, hay que indicar que la biomasa de microorganismos que se genere se diluirá y decrecerá en el momento en el que se termine el fuel que constituye su alimento. En todo caso, es importante actuar con la máxima prudencia.

Este tipo de tratamientos de bio-remediación debe iniciarse cuando se haya eliminado el máximo de fuel por métodos mecánicos. En este contexto, se proponen las siguientes etapas.

- i) ***Primera etapa: programa exploratorio para valorar a escala de laboratorio el potencial de distintas estrategias biológicas para la aceleración de la recuperación de los ecosistemas afectados.***

#### Objetivos específicos:

Establecer si en las zonas afectadas por el vertido de fuel ha tenido lugar un incremento en número de los microorganismos degradadores de petróleo y si sus actividades metabólicas pueden aumentarse mediante "fertilización".

#### Metodología y plan de actuación:

Se propone tomar muestras en zonas afectadas y no afectadas por el vertido tanto en Galicia como en la cornisa Cantábrica. Las actividades específicas comprenderán los siguientes estudios básicos:

i) Ensayos *in situ*, en puntos seleccionados según el tipo de hábitat y el grado de afectación, para determinar la actividad biodegradadora de los microorganismos autóctonos. Se medirán actividades enzimáticas y se determinará la razón isotópica  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  del  $\text{CO}_2$  disuelto en agua y se establecerá si el proceso de conversión biológica del crudo está teniendo lugar. Se analizará la microbiota presente mediante conteo de microorganismos y utilización de técnicas de biología molecular.

ii) Selección de zonas representativas para valorar en ellas el efecto de la adición de distintos micronutrientes oleofílicos (P, N, Fe). En ellas se analizará periódicamente la microbiota presente y se evaluará su potencial para biodegradar la contaminación, mediante conteo de microorganismos y análisis y secuenciación de su ARN16S.

iii) Adición de nutrientes.

Teniendo en cuenta que la adición de los nutrientes (fósforo y nitrógeno) mejora sustancialmente el rendimiento de los procesos de biodegradación *in situ*, se probarán fertilizantes de demostrada eficacia y baja toxicidad, siguiendo los parámetros definidos por la EPA..

iv) Estudios sobre el efecto de la foto-oxidación en la degradación química de los fueles pesados y su efecto en la disponibilidad biológica de componentes mas recalcitrantes. Identificación de marcadores moleculares químicos para cuantificar la evolución de los procesos y biodegradación en los microcosmos y, posteriormente, en parcelas seleccionadas (ver apartado 5.3.3).

v) Seguimiento de las poblaciones.

Un aspecto importante de este apartado es acumular la información necesaria para poder predecir el comportamiento del sistema en el tiempo. Para ello, es necesario estudiar las variaciones en la composición de la población con los distintos tratamientos para establecer en la medida de lo posible los factores que determinan los cambios en la capacidad biodegradadora.

## ii) **Segunda etapa: Programa Piloto de Biorremediación en parcelas seleccionadas.**

### Objetivo:

Establecer *in situ* a pequeña escala la bondad del proceso de biodegradación de fuel y establecimiento de un plan de seguimiento de la biodegradación.

### Metodología y plan de actuación:

Tras la parcelación de zonas seleccionadas, deberán añadirse el (los) fertilizante(s) que se considere(n) más apropiado(s) según las playas a tratar. La cantidad de nutriente que se añadirá estará por debajo del LD50 que se determine en la fase de laboratorio. Dado que los nutrientes en general se solubilizan rápidamente en las zonas en batiente se sugiere un seguimiento del nivel los nutrientes añadidos en el tiempo, y la reaplicación de éstos de manera sucesiva y una vez que sus niveles hayan bajado a los niveles iniciales. Entre aplicación y aplicación será necesario realizar controles que indiquen que no se está dando lugar a la eutrofización de las aguas o playas que se están tratando. Esta parte del programa requerirá de un plan de muestreos regulares y seguimiento de la diversidad microbiológica y enzimática de las zonas dañadas a lo largo del tiempo

junto con una valoración *in situ* de los procesos de biodegradación natural o inducida por fertilizantes. En base a los resultados obtenidos en las etapas anteriores se procederá a la adopción de protocolos de bio-estimulación a mayor escala.

### **iii) Tercera etapa. Ejecución de un plan extensivo de Biorremediación.**

#### Objetivo:

Aceleración de la restauración de sitios contaminados por vertido de fuel. A gran escala.

#### Metodología y plan de actuación:

Una vez determinada la mejor forma de actuar según la experiencia acumulada, las autoridades tendrán en su mano la posibilidad de materializar un plan de fertilización de las zonas afectadas a base de formulaciones de nutrientes más adecuadas. Un aspecto esencial de esta parte del trabajo es la cuantificación de la recuperación mediante marcadores moleculares desarrollados en etapas anteriores.

El tiempo estimado en el que las actuaciones de biorremediación pueden surgir efecto es de 3 años. A pesar de ello, se considera la técnica más adecuada para la regeneración de zonas de costa rocosa que no pueden limpiarse de otra forma. En cualquier caso, se desaconseja el empleo de detergentes sintéticos o solventes químicos, que pueden paliar el impacto visual pero acrecientan el problema por su impacto en el ecosistema.

### **iv) Potencial para la degradación anaerobia de crudos de petróleo. Impacto sobre la biota.**

La degradación aerobia de derivados del petróleo por bacterias es estrictamente dependiente de la presencia de cantidades de oxígeno saturantes, el cual llega a ser limitante en zonas de altas actividad microbiana o a partir de los primeros milímetros de sedimento. Recientemente se han descrito bacterias sulfato-reductoras capaces de mineralizar *n*-alcanos de cadena larga y compuestos aromáticos policíclicos en ausencia de oxígeno. Sin embargo, no existen estudios sobre su potencial real para la recuperación de sedimentos marinos contaminados con vertidos de petróleo.

Siguiendo un protocolo semejante al descrito en la fase 5.3.4.1.1, se analizará la presencia en los sedimentos anaerobios de cepas o poblaciones capaces de mineralizar compuestos modelo en condiciones de ausencia de oxígeno, y su efectividad para atacar distintos compuestos modelo. Se probarán distintos compuestos aceptores de electrones para determinar aquel aceptor con el que se obtiene un rendimiento óptimo de degradación del crudo por las bacterias autóctonas. De acuerdo con estos resultados, se harán ensayos piloto de inyección del aceptor de electrones seleccionados (sulfato, Fe, etc.) en sedimentos controlados y se seguirán los procesos de biodegradación.

#### Escala temporal de actuación:

La primera etapa sería de aproximadamente tres meses, la segunda de un año y la tercera de tres años, con posible extensión en función de los resultados.

### **6.3.6 Gestión de los residuos generados durante la limpieza**

Una de las consecuencias de un vertido de petróleo, especialmente cuando ha llegado a la costa, es la generación de importantes cantidades de residuos procedentes de las operaciones de limpieza, tanto en alta mar como en la costa. En el primer caso, se trata de residuos de fuel emulsionados con agua, mientras que en el segundo, junto con el producto derramado se recogen numerosos elementos ajenos al propio residuo, como algas, arena y los propios materiales de limpieza (plásticos, tejidos, etc.).

En accidentes anteriores (p.ej. el Erika) se ha estimado que por cada tonelada de petróleo recogido se generaron 10 toneladas de residuos, con los correspondientes problemas de almacenamiento, reciclaje o recuperación. En consecuencia, el Programa de Intervención debe implicar también estudios relativos a la gestión de todos estos residuos, con el fin de minimizar su impacto y, al mismo tiempo, favorecer su reutilización.

#### **6.3.6.1 Primera línea de investigación: el almacenamiento**

Con el fin de poder gestionar mejor la gran cantidad de residuos generados es necesario diseñar un sistema de almacenamiento selectivo que facilite su procesado por los métodos seleccionados. Como que el tiempo de almacenamiento puede ser muy elevado (varios años) debe prestarse especial atención a la minimización del impacto ambiental, principalmente por lixiviados o rebose de los sistemas de recogida. Asimismo, deberá tenerse en cuenta la posterior restauración de los espacios utilizados.

Dentro de este epígrafe se plantean, por tanto, dos líneas principales de actuación:

i) Estudios de sistemas de estabilización con finos inertes y/o cal viva, con el objetivo de conseguir un residuo con unas propiedades físicas que lo hagan más gestionable.

El material resultante no tiene ninguna utilidad pero, una vez reducido su poder contaminante, puede almacenarse sin mayores dificultades.

ii) Análisis de las condiciones del terreno de almacenamiento y estudio de las condiciones óptimas para el mismo.

En ambos estudios se realizarían los análisis obligados por la legislación actual o por los proyectos más avanzados de carácter europeo. En especial, cabe mencionar el RD 1481/2001, de 27 de diciembre, del Ministerio de Medio Ambiente, y el proyecto de decisión de la Comisión Europea por el que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo a las Directivas europeas correspondientes.

#### **6.3.6.2 Segunda línea de investigación: el reciclaje**

El residuo recogido directamente del mar o de la costa, conteniendo fuel en cantidades muy apreciables, puede tener diferentes destinos, en función de sus características. Estos estarán condicionados, básicamente, por la proporción de fuel que contengan. Entre otros destinos, pueden mencionarse los siguientes, en orden decreciente del contenido de fuel del residuo:

i) Recuperación directa del fuel de los residuos recogidos en el mar o en la costa. Para ello es necesario provocar la ruptura de las emulsiones y flóculos y posterior procesado para eliminar el agua.

ii) Valorización energética de residuos orgánicos, asegurando su viabilidad medioambiental.

iii) Recuperación de suelos o arenas contaminadas mediante procesos extractivos o térmicos.

iv) Incorporación de residuos conteniendo elevadas proporciones de materiales inorgánicos (p. ej. arena) a procesos productivos en sectores tales como el cerámico, cementero y otros.

Se trataría de estudiar la influencia de las características del residuo en las propiedades del producto resultante y desarrollar las técnicas de aplicación adecuadas para cada producto obtenido.

Escala temporal de actuación:

Un año, con posible extensión, en función de los resultados obtenidos en las primeras campañas.

## **6.4 Impacto sobre los sistemas biológicos (PT4)**

### **Consideraciones generales**

La evaluación del impacto de la marea negra sobre los sistemas biológicos y el seguimiento del proceso de recuperación de los ecosistemas y recursos biológicos afectados debe realizarse desde una doble perspectiva.

Por una parte, se deben describir y cuantificar los efectos ecológicos del vertido de hidrocarburos en diferentes niveles de organización biológica (poblaciones, comunidades). A nivel de comunidad el objetivo básico será cuantificar los cambios en los patrones de distribución y abundancia, mientras que a nivel poblacional el objetivo central será identificar los cambios en los procesos básicos que gobiernan su dinámica, como son la reproducción y crecimiento (entendidos en sentido amplio de tal modo que se incluyen los procesos de dispersión y supervivencia larvaria y de reclutamiento).

Por otra parte, se deberían analizar los mecanismos de toxicidad de los componentes del fuel a nivel de organismo para una comprensión adecuada de los efectos letales y subletales (con consecuencias sobre el crecimiento y reproducción, y por tanto en la demografía y dinámica poblacional). Estos estudios deben permitir comprender los mecanismos funcionales responsables de los efectos observados a nivel de los distintos componentes de los ecosistemas.

Por último, es de especial relevancia el estudio de los mecanismos básicos de introducción de los contaminantes derivados del vertido (hidrocarburos policíclicos aromáticos, PAH, y metales pesados) en las redes tróficas marinas, lo que permitirá entender la extensión de los efectos de los contaminantes y su persistencia en el tiempo. En último término, este estudio puede aportar información básica para la evaluación de las consecuencias en la seguridad alimentaria.

Dada la importancia que la pesca, el marisqueo y la acuicultura presentan en la costa gallega, se debería prestar especial atención a la evaluación del impacto del vertido sobre estos recursos, pero siempre desde la perspectiva de ecosistemas que se sugiere como aproximación básica al problema.

Existen dos escalas espaciales básicas de análisis de los efectos sobre los ecosistemas marinos que presentan consecuencias sobre las escalas temporales y la metodología de la investigación. En primer lugar es necesario realizar una evaluación global de los efectos de la marea negra sobre el conjunto del área geográfica afectada. Este objetivo requiere de métodos rápidos de monitorización (en muchos casos cualitativos o semicuantitativos), y debiéndose iniciar los estudios urgentemente dado que buena parte de la información (por ejemplo tasas de mortalidad de diferentes organismos) sólo pueden estimarse en el periodo inmediatamente posterior al vertido.

Los resultados de este primer objetivo a escala global, junto con la información previa sobre la estructura y dinámica de las comunidades y poblaciones marinas de la zona afectada, ayudarán a delimitar la segunda escala espacial de interés que permitirá la definición de zonas concretas impactadas con diferente nivel de afectación (alto, medio, bajo y nulo) y en diferentes ambientes, con distintos grados de hidrodinamismo y de exposición al oleaje (rocoso intermareal protegido, playas y roquedos expuestos, lagunas, acantilados, llanuras infralitorales sedimentarias, etc), en los que se puedan desarrollar estudios intensivos y cuantitativos mucho más detallados sobre los efectos biológicos de la marea negra. Este segundo objetivo, a medio y largo plazo debe

necesariamente por sus características desarrollarse en áreas más restringidas, siendo de especial importancia elegir zonas en donde exista la mayor información previa a la catástrofe, con representación de los hábitats más característicos y las que sean de particular interés por su valor biológico y económico. Debe tener un ámbito temporal mucho más amplio, de al menos 3-5 años, e idealmente más de 10 años.

La consecución de estos dos objetivos debe realizarse en el marco de equipos multidisciplinares e interinstitucionales que trabajen en las mismas zonas para conseguir robustez en los resultados y optimizar recursos materiales y humanos. En el mismo sentido es necesario mantener una estrecha relación con los grupos de otros programas de trabajo, en especial con los del Programa de Trabajo 3 (PT3), que estudiarán la distribución de hidrocarburos en la columna de agua, sedimentos y distintos compartimentos bióticos

Diversos OPIS, Universidades y Centros llevan a cabo de forma rutinaria y desde hace años, estudios y evaluaciones en las zonas afectadas, por lo que existe una información valiosa del estado del ecosistema y de los organismos previo al vertido. Esta información se considera fundamental y se recomienda que pueda estructurarse en bancos de datos con acceso a la comunidad científica.

### **Herramientas y necesidades comunes a todos los objetivos planteados**

El análisis del impacto sobre el medio biológico y posiblemente otros objetivos del PIC necesita una serie de bases de datos y herramientas comunes a muchos de los proyectos específicos que se desarrollen. Por esta razón, y en ocasiones por su complejidad técnica, sería especialmente adecuado que estas herramientas y bases se desarrollasen y mantuviesen de un modo centralizado por el grupo de coordinación del PIC para hacerlas accesibles, en un formato común, a todos los grupos de investigación participantes. Esta estrategia permitiría asimismo una mayor y mejor integración de la información obtenida, permitiendo un análisis integral más allá de los resultados individuales.

En la actualidad diversos organismos públicos de investigación en Galicia han avanzado de manera sustancial en el desarrollo de Sistemas de información Geográfica tanto de la zona marítimo-terrestre como en las áreas costeras y de plataforma, aplicables a las distintas líneas de investigación que se puedan desarrollar en este P.I.C. La capacidad y operatividad de estos sistemas, así como la del personal que los mantiene, le permite servir de base en el caso de que se necesitase integrar información de carácter multidisciplinar procedente de otros equipos de investigación.

En el área afectada por la marea negra, las Universidades y los Centros de investigación del IEO, IIM-CSIC, AZTI y Gobiernos Autónomos han realizado numerosos proyectos de investigación con el resultado de tesis doctorales, tesis de licenciatura, publicaciones de ámbito nacional e internacional, y otros muchos datos inéditos que figuran en las bases de datos de los investigadores.

Por consiguiente se dispone de abundante información previa al desastre del buque *Prestige* como consecuencia del estudio de los ecosistemas durante los últimos años. Se tienen pues argumentos suficientes para llevar a cabo una prospección periódica que proporcionará información científica objetiva sobre la situación actual y sobre la evolución de estos ecosistemas tras el vertido.

Se consideran de especial relevancia cuatro aspectos:



1. Un sistema de información geográfica (SIG) unificado incluyendo, al menos, datos cartográficos básicos (línea de costa, batimetría, tipos de fondo).
2. Los métodos analíticos para la caracterización e identificación de hidrocarburos en diferentes compartimentos bióticos y abióticos (como agua, sedimento o tejidos de organismos) presentan dificultades técnicas y son pocos los laboratorios que puedan abordarlos. Se recomienda establecer una intercalibración entre los diferentes laboratorios implicados en el PIC, y un grupo de trabajo que establezca protocolos de tratamiento de muestras y coordine el procesado analítico que los diferentes grupos participantes puedan necesitar.
3. Cartografía de la distribución y evolución temporal del fuel en el medio, incluyendo zonas intermareales y submareales. Idealmente esta información debería estar implementada en el SIG descrito previamente. En la actualidad existen numerosas fuentes de información y grupos (científicos, voluntarios, pescadores) que están abordando este problema, pero en general de un modo parcial en lo que respecta a su cobertura espacial. Se necesita identificar estas fuentes de información, establecer una metodología que permita la integración la información y el desarrollo de una metodología rápida para evaluar el grado de afectación de áreas geográficas amplias. Con respecto al último punto, los métodos hidroacústicos pueden resultar especialmente apropiados aunque se necesitaría una calibración previa. Existen algunas experiencias recientes del grupo de acústica del IEO que podrían aportar información de este interés.
4. Base de datos bióticos y abióticos previos al vertido. La costa gallega ha sido objeto de numerosos estudios científicos en las últimas décadas por lo que existe un gran volumen de información sobre las comunidades bióticas de esta área geográfica. Esta información es especialmente importante en el contexto de la marea negra dado que aporta datos de referencia de la situación previa al vertido. Por esta razón se debería hacer accesible esta información para la evaluación del impacto y, como criterio complementario, para la selección de zonas de estudio. Se debe diferenciar la zona costera de la plataforma continental. Las áreas de plataforma, tanto en el dominio pelágico como en el bentónico/demersal, han sido estudiadas de un modo continuado por el IEO durante los últimos 20 años (especialmente en campañas de evaluación de recursos pesqueros), por lo que se ha empleado una metodología estandarizada y existen ya bases de datos bien documentadas que recogen estos datos. En el caso de la zona costera gran parte del trabajo de investigación ha sido realizado por grupos de las Universidades y diferentes Centros de Investigación que en gran medida han trabajado de un modo independiente, por lo que se necesitaría un trabajo de recopilación, estandarización y documentación de las bases de datos existentes.

#### **6.4.1 Evaluación del impacto sobre la biodiversidad: Distribución y abundancia de poblaciones y comunidades. Seguimiento de la recuperación de los ecosistemas**

Para establecer una metodología de evaluación y seguimiento de los efectos del vertido es imprescindible establecer previamente una tipología de los ecosistemas afectados de forma que se puedan establecer programas de investigación para cada uno de ellos. A pesar de que la introducción de una clasificación de este tipo es en cierta medida arbitraria (dado que el medio marino es intrínsecamente abierto), es necesaria desde un punto de vista metodológico.

En primer término se debe considerar el hecho de que el vertido de fuel al medio se ha prolongado tanto en el tiempo y en el espacio, con episodios intermitentes de mayor o menor gravedad según las zonas, que ha provocado que las necesarias labores de limpieza lleven también implícitos efectos negativos sobre especies y comunidades, en el supralitoral y en la zona adlitoral adyacente.

En segundo término se debe diferenciar la zona costera, en sentido estricto, de la plataforma continental y talud superior (los fondos profundos son objeto de un apartado diferente: 6.4.5.). La transición entre ambas zonas es variable y depende del tipo de costa y otros factores pero se puede situar de un modo nominal en 60-100 m de profundidad. Además de las evidentes diferencias ecológicas entre ambas zonas existen diferencias entre los tipos de pesquerías que se desarrollan y en los métodos de estudio. La zona costera es explotada por el marisqueo (a pie y a flote) y por las pesquerías artesanales (altamente diversificadas en cuanto a artes y especies de interés), mientras que la plataforma es explotada por una flota semi-industrial (arrastre, volanta y palangre). La zona costera puede ser muestreada desde pequeñas embarcaciones y, en parte, mediante buceo con escafandra autónoma, y la plataforma debe ser estudiada con barcos de mayor porte. Campañas previas del IEO y de las Universidades han demostrado la presencia de fuel en los fondos de la plataforma y áreas costeras.

Tanto en la zona costera como en la plataforma conviene distinguir entre los sistemas pelágico y bentónico-demersal. Es necesario tener en cuenta que el sistema pelágico se estructura en una escala espacial mayor que el bentónico por lo que el grado de resolución espacial debe ser diferente. En este sentido, los vertebrados pelágicos que se sitúan como depredadores de alto nivel de la red trófica (grandes peces, tortugas, aves y mamíferos marinos) presentan escalas de movimiento muy superiores a otros componentes del ecosistema y por esta razón necesitarán aproximaciones metodológicas propias y diferentes. Dentro de la zona costera se deberían diferenciar, al menos en ciertos estudios dirigidos a organismos sésiles o poco móviles, los fondos sedimentarios, de los rocosos y los mixtos.

Se deben establecer dos fases. En primer lugar, de modo inmediato, evaluar los patrones de distribución y abundancia de las diferentes comunidades bióticas y de sus especies componentes en todo el área afectada. Definir las comunidades objeto de estudio y metodologías estandarizadas y rápidas (por ejemplo, métodos fotográficos en sustratos rocosos intermareales y submareales, transectos, arrastre para epifauna móvil en fondos blandos, etc). El análisis debería contar con una doble estrategia: comparación antes/después donde la información exista, y relación entre características ecológicas y grado de afectación.

En segundo término, se deberían seleccionar unas pocas zonas de trabajo representativas de las diferentes comunidades y grados de afectación para realizar una monitorización a medio-largo plazo de su evolución temporal.

#### 6.4.1.1 Sistema Costero-Terrestre: Adlitoral y Supralitoral

En el Sistema Costero-Terrestre se han producido dos tipos de impacto, uno directo por depósito y acumulación del fuel en las partes altas del litoral impulsado por el oleaje de los temporales, especialmente en periodos de mareas vivas, y otro derivado de los trabajos de limpieza y transporte del fuel.

Las labores de limpieza, recogida y transporte del fuel en playas y roquedos han causado en el medio terrestre un pisoteo excesivo, la apertura indiscriminada de vías de acceso, la utilización de maquinaria pesada en arenales, la instalación de campamentos en dunas, la acumulación de útiles de limpieza en ecosistemas frágiles y vertidos de fuel de poca entidad pero muy numerosos. Dos meses después, desde el inicio de las labores de limpieza, en muchas zonas son evidentes los daños que se están produciendo. En el Parque Nacional das Illas Atlánticas parte de sus comunidades vegetales de acantilados y playas, de reconocido valor ambiental y científico, están seriamente dañadas.

Además, se da la fatal coincidencia de que la gran mayoría de lugares de interés comunitario (LIC) del litoral gallego, que forman parte de la red Natura 2000, se solapan con las áreas de mayor impacto directo e indirecto del fuel. En todos estos lugares es fácil observar como algunas especies protegidas según normativas españolas y europeas (*Rumex rupestris*, *Omphalodes gallaecica*, *Teloschistes flavicans* etc.) están siendo seriamente afectadas.

El objetivo básico del estudio deberá ser la valoración del estado en que han quedado las comunidades vegetales y animales terrestres y las de las lagunas litorales, marismas, estuarios y arenales.

Los líquenes son muy sensibles a las variaciones ambientales y su respuesta a diversos contaminantes es tan conocida que se utilizan como bioindicadores. En la franja litoral se presentan muchas especies liquénicas que viven directamente sobre las rocas, sobre todo, en el supralitoral, donde son abundantes. Además se encuentran líquenes en las fisuras de las rocas, directamente sobre la arena en las dunas fijas y como corticólicas en las plantas leñosas de acantilados y arenales. Muchas de estos líquenes son exclusivos de estos ambientes claramente influidos por el mar.

Los briófitos (musgos y hepáticas) juegan un papel muy importante en el equilibrio y estructura del suelo de los sistemas arenosos del supralitoral, pioneros en la fijación e instalación en dicho ecosistema de otros vegetales (hongos, líquenes, algas y pequeñas especies de plantas fanerógamas) que encuentran entre los céspedes de los musgos un medio húmedo, rico en oxígeno, contribuyendo a los procesos de estabilización de las dunas, consolidando la arena.

Las algas (fundamentalmente cianofíceas, clorofíceas y xantofíceas) tienen gran representación en los suelos de marisma, consolidando éste para el asentamiento posterior de la vegetación vascular. En las rocas de los acantilados se puede encontrar, también, una flora algológica muy diversa y con requerimientos ecológicos muy estrictos, con especies raras y con áreas de distribución limitadas.

#### Objetivos:

A modo de síntesis los objetivos principales serían los siguientes:

- (a) Diagnóstico de los daños producidos por el fuel y derivados de las acciones de limpieza, considerando los distintos hábitats y espacios, y en cada caso con una evaluación cuantificada de los mismos de acuerdo con protocolos precisos.

- (b) El análisis comparativo entre las áreas con diferentes niveles de contaminación y la evaluación de los cambios producidos en relación con la situación previa a la marea negra, utilizando inventarios detallados con información sobre abundancia, superficie de cobertura o biomasa de las especies observadas, fenología, etc.
- (c) Seguimiento temporal de la evolución de los hábitats afectados.

#### Acciones a corto plazo

- Identificación y cartografía de los tramos costeros y de los ecosistemas afectados, con especial seguimiento de los espacios protegidos.
- Determinación y cuantificación de los daños en los hábitats y en sus componentes.
- Evaluación del impacto sobre las comunidades de las lagunas litorales, marismas y estuarios afectados por la marea negra.

#### Acciones a medio y largo plazo

- Evaluación periódica de los procesos de recuperación de los diferentes hábitats y tramos costeros afectados, con especial atención a las zonas prioritarias (LICs).

#### **6.4.1.2 Sistema Costero Bentónico-Demersal: Intermareal e Infralitoral.**

Existen numerosos estudios previos (Anexo) realizados por distintos organismos en estos ecosistemas, que pueden servir de base para evaluar el grado de afectación producido por el vertido, estos datos deberían disponerse en bancos de datos accesibles a la comunidad científica. Las zonas afectadas muestran una gran diversidad de tipologías y hábitats. En los acantilados se espera que el impacto en las comunidades intermareales sea de corta duración y se perfilan como los hábitats menos sensibles, aunque microambientes como grietas o zonas protegidas por grandes peñascos son zonas de acumulación persistente del fuel. En las plataformas batidas, numerosas charcas intermareales y enclaves protegidos por grandes rocas actúan como trampas de fuel. Incluso cuando el fuel no se adhiere fuertemente a las rocas, los organismos pueden morir por *smothering* o por exposición a las fracciones tóxicas del crudo. En las costas rocosas semiexpuestas o protegidas, el petróleo se adhiere a la superficie seca de las rocas en la línea de marea alta. El fuel pesado cubre las comunidades y las mata por asfixia. Dado que es un tipo de costa de baja energía el tiempo de permanencia del petróleo es largo.

En el caso de medios sedimentarios el comportamiento del fuel y sus efectos sobre los organismos va a depender de la granulometría. Así, en sedimentos gruesos el fuel percola con mayor facilidad acumulándose en capas más profundas del sedimento. En los sedimentos finos el fuel permanece en la superficie ralentizando la recolonización de los hábitats.

El efecto del vertido sobre las comunidades bióticas será complejo, y cabe esperar una importante reducción de la biodiversidad y cambios en la composición de la comunidad. Las especies más sensibles a este tipo de contaminante desaparecerán, otras pueden

ser indiferentes e incluso ciertas especies oportunistas pueden verse muy favorecidas incrementado su biomasa.

#### Objetivos:

A modo de síntesis los objetivos principales serían los siguientes:

- (a) Valoración del impacto de la marea negra sobre la biodiversidad marina en el sistema costero bentónico-demersal.
- (b) Evaluación global de los efectos de la marea negra sobre los distintos hábitats y comunidades afectadas.
- (c) Se deben desarrollar, en zonas concretas con diferentes niveles de afectación, estudios intensivos y cuantitativos detallados sobre los efectos biológicos de la marea negra.
- (d) Seguimiento temporal de la evolución de los hábitats afectados.
- (e) Evaluación del efecto de los métodos de limpieza y bioremediación sobre la recuperación de las comunidades afectadas. Es necesario para ello delimitar zonas control donde no se realice ninguna intervención humana.

#### Acciones a corto plazo:

- Evaluación global de los efectos de la marea negra sobre los distintos hábitats y comunidades afectadas: Muestreo de las comunidades bentónico-demersales en el conjunto del área afectada para la determinación de los patrones de composición, abundancia y distribución; estima de la mortalidad. Esta acción se desarrollará preferentemente sobre comunidades sésiles y sedentarias, sobre las que se espera un impacto inicial mayor.

#### Acciones a medio y largo plazo:

- Estudio temporal de la recuperación de las comunidades bentónicas y demersales, estimando la composición, abundancia, distribución y estructura de tamaños.
- Estudio de la recolonización del sustrato y de la sucesión de las comunidades. Comparación de la recolonización en función del tiempo de permanencia del petróleo en los hábitats y de las diferentes metodologías de limpieza y bioremediación empleadas.

#### **6.4.1.3 Sistema Plataforma Continental: Zona nerítica.**

Existe un conocimiento detallado de la composición, distribución y abundancia de las comunidades y recursos pesqueros de la plataforma de Galicia y de la cornisa Cantábrica, así como estudios de dinámica de las poblaciones explotadas. Por otra parte mediante métodos acústicos se ha estimado la abundancia y distribución de las especies pelágicas en la plataforma de Galicia y Mar Cantábrico. Se han publicado numerosos trabajos sobre el tema y en términos generales éstas se estructuran según unos gradientes batimétricos y sedimentológicos que determinan asociaciones de

especies características de comunidades costeras, de plataforma media, plataforma externa y borde continental. Se dispone de trabajos descriptivos de dichas comunidades previos a la catástrofe del *Prestige* y de cómo influyen los diferentes escenarios interanuales definidos por las características de las masas de agua (afloramiento, intensidad de la corriente de Navidad, etc.) sobre la estructura de dichas comunidades. Las comunidades de la plataforma media han mostrado en la última década patrones intra e interanuales más estables que las costeras y las del borde de plataforma. Estas últimas a su vez presentan una mayor biodiversidad. Se dispone del cartografiado de estas comunidades con una periodicidad anual desde 1990.

#### Objetivos:

A modo de síntesis los objetivos principales serían los siguientes:

- (a) Valoración del impacto de la marea negra sobre la biodiversidad marina en el Sistema Plataforma Continental.
- (b) Evaluación global de los efectos de la marea negra sobre los distintos hábitats y comunidades afectadas.
- (c) Se deben desarrollar, en fondos concretos con diferentes niveles de afectación, estudios intensivos y cuantitativos detallados sobre los efectos biológicos de la marea negra.
- (d) Seguimiento temporal de la evolución de los fondos afectados.

#### Acciones a corto plazo:

Es fundamental estudiar el estado de las comunidades en el primer periodo de máxima producción posterior al vertido que acontece en primavera, con lo que es necesario realizar nuevos muestreos durante esta etapa. Estos incluirían:

- Una nueva campaña multidisciplinar que abarque los distintos compartimentos de fondo de la plataforma cubriendo la zona de máximo impacto mediante al menos cuatro transectos a lo largo del gradiente batimétrico, tal y como se realizaron las campañas *Prestige* Plataforma.
- Se propone continuar con el seguimiento de la posible presencia de fuel entre aguas aprovechando las campañas de prospección acústica que se lleven a cabo en el 2003. La próxima se realizará en marzo-abril de 2003.

#### Acciones a medio y largo plazo:

- Se propone el seguimiento de la evolución espacio-temporal del impacto sobre la plataforma con la realización de dos campañas anuales multidisciplinarias durante, al menos, los dos años siguientes al vertido, y una posterior evaluación de la necesidad de prolongar este periodo de estudio.
- La información recogida en estas campañas permitiría una caracterización de los ecosistemas de fondo y una cartografía bionómica (comunidades, especies

comerciales) de los mismos en la zona estudiada con posterioridad al vertido. Los resultados se compararán con toda la información disponible previa al vertido para detectar posibles cambios en la estructura y distribución de las comunidades. Así mismo se estudiará la evolución de las comunidades a lo largo del periodo de seguimiento, valorando su recuperación.

- Por otra parte se prestará especial atención a la distinción entre los cambios naturales o debidos a la actividad pesquera de los debidos al impacto del vertido, a través de la información disponible en la serie histórica previa que dará una idea de la magnitud de esta variabilidad.

#### 6.4.1.4 Sistema Pelágico

Los efectos biológicos de las mareas negras en el medio pelágico están, en general, poco documentados debido a que los estudios suelen centrarse en la época inmediata a la catástrofe y raramente se estudian los efectos, a veces sutiles, que pueden tener lugar a más largo plazo. Además, no suele existir información previa acerca de la variabilidad natural de los ciclos planctónicos en el área afectada. Los procesos básicos y los mecanismos de control de la vida en los océanos están lejos de ser comprendidos incluso sin añadir la complejidad del fenómeno contaminante. La mayor parte de los ciclos vitales en el mar presentan una variabilidad espacio-temporal muy acusada de manera que resulta difícil concretar los efectos de la polución por hidrocarburos u otros contaminantes.

Además del hecho de la falta de información previa sobre el área afectada, debemos tener en cuenta que los vertidos asociados a fenómenos catastróficos (accidentes) son inesperados, tienen lugar en épocas de climatología adversa que dificulta o imposibilita la toma de muestras y generalmente ocurren en áreas donde no existen laboratorios costeros cercanos con equipos e infraestructura suficiente para llevar a cabo un estudio del seguimiento de los efectos. Los mejores estudios sobre vertidos de petróleo se han efectuado sobre vertidos relativamente pequeños, pero que han tenido lugar cerca de laboratorios costeros, y por tanto en áreas donde existía información previa.

El plancton está constituido por organismos de ciclo corto y las experiencias anteriores en este campo (accidente del *Aegean Sea*) indican que un vertido puntual en la época de mezcla invernal, probablemente no tenga un impacto importante dada la dinámica elevada de las masas de agua y la alta tasa de división del plancton. Sin embargo, las especiales características del accidente del *Prestige*, con sucesivas mareas negras a causa del fuel que todavía se vierte al mar desde el pecio, hace pensar en la seria posibilidad de efectos importantes si una marea negra tiene lugar en la época de la floración primaveral, cuando tiene lugar la reproducción de la mayor parte de los moluscos, crustáceos y peces de interés comercial y ecológico. Si la floración fitoplanctónica se ve afectada por los efectos del fuel, toda la cadena trófica pelágica puede verse seriamente dañada con consecuencias ecológicas y comerciales inimaginables.

#### Objetivos:

Considerando los ciclos anuales del plancton de cuya información se dispone antes del accidente, los objetivos planteados han de orientarse a encontrar las respuestas a las siguientes preguntas:

¿Se han encontrado diferencias significativas en los valores de abundancia y biomasa de los componentes planctónicos, bacterioplancton, fitoplancton, zooplancton e ictioplancton, después de la marea negra?

¿Han variado los niveles de producción primaria y de producción bacteriana como consecuencia del accidente?. ¿Se han encontrado cambios en los parámetros fotosintéticos del fitoplancton respecto a la época previa al accidente?

¿Se ha visto alterada la composición específica del plancton (fitoplancton, zooplancton, ictioplancton) en la zona estudiada por la acción de la marea negra?

1. **Monitorización de la actividad bacteriana.** Las poblaciones naturales de bacterias degradan los hidrocarburos presentes en el agua de mar, lo que ocasiona un incremento de la actividad bacteriana y en consecuencia de su biomasa. Se comprobará si existe un efecto acelerador del metabolismo bacteriano y en el resto de la cadena trófica. Para ello, se llevará a cabo este estudio bacteriano en paralelo con los estudios de fitoplancton, zooplancton e ictioplancton. Se efectuarán seguimientos de la actividad bacteriana en puntos de control (Radiales Oceanográficos del Instituto Español de Oceanografía) y en campañas extensivas en toda la costa gallega durante la floración de primavera. Estas campañas se pueden extender, si fuese necesario, a otras épocas posteriores e igualmente importantes como el afloramiento estival o la de las intrusiones salinas de otoño (Poleward).
2. **Efecto sobre los productores primarios.** La presencia de hidrocarburos y otros contaminantes asociados al fuel, puede ocasionar alteraciones fisiológicas en los organismos fitoplanctónicos que tendrían su reflejo e los niveles de producción primaria y alteraciones de los parámetros fotosintéticos. Estas alteraciones podrían traducirse en cambios en la biomasa fitoplanctónica.

Si el impacto de estas mareas negras tiene lugar durante la época de la floración primaveral, los efectos sobre el fitoplancton y en consecuencia, en la cadena trófica pelágica pueden ser imprevisibles.

Dada la gran variabilidad espacial de la distribución de fitoplancton en el medio marino, la evaluación del impacto sobre una fase cualquiera del ciclo estacional puede ser complicada pese a disponer de datos de referencia en ciertas zonas (radiales del Instituto Español de Oceanografía). Por ello se proponen dos actuaciones complementarias: 1) Realizar un estudio interanual del ciclo anual de clorofila superficial a partir de datos SeaWifs de manera que se pueda comprobar si los niveles posteriores al vertido son significativamente inferiores a cualquiera de los acontecidos en años anteriores. 2) Una segunda aproximación rápida de bajo coste humano y económico sería el estudio de la correlación entre la distribución de hidrocarburos en agua y plancton frente a la actividad fotosintética medida usando fluorescencia de alta tasa de repetición (FRRF) complementada con una serie de experimentos de producción/irradiancia. Estas medidas se realizarían en las campañas/radiales destinadas a la evaluación de la distribución espacial y temporal de los niveles de contaminantes.

3. **Efecto sobre zooplancton e ictioplancton.** Se estudiarán los efectos en la abundancia general de micro, mesozooplancton e ictioplancton. Se prestará especial atención al meroplancton, sobre todo a las fases larvarias de organismos de interés tanto ecológico como comercial (moluscos, crustáceos, peces). También



se abordará el estudio de la biodiversidad de estos grupos con objeto de comprobar si se producen cambios importantes en las épocas críticas como la floración primaveral.

El control de la actividad bacteriana y de la composición y abundancia de los organismos planctónicos son importantes para conocer la evolución del ecosistema pelágico y también ayudaría a interpretar los resultados de los experimentos de toxicidad del fuel a través de experiencias de laboratorio (6.4.3. del apartado de impacto) en diferentes especies y el impacto sobre la red trófica (6.4.4.), ya que no siempre los resultados obtenidos en condiciones controladas son extrapolables al medio natural.

#### Acciones a corto plazo:

##### *Radiales Oceanográficos de A Coruña y Vigo.*

- ❑ Efectuar los estudios indicados de bacterias, fitoplancton, zooplancton e ictioplancton. Se puede intensificar la frecuencia de muestreo si se considera necesario y la climatología de esta época lo permite.
- ❑ Reforzar los radiales existentes en la actualidad con la inclusión de un nuevo radial oceanográfico en la Costa da Morte, por ser una de las zonas más afectadas. Se propone hacerlo en la Ría de Corme e Laxe, puesto que en esta zona existe un estudio completo de hidrografía, nutrientes y fitoplancton llevado a cabo en el año 2001 y que serviría de referencia. El nuevo radial abarcaría tanto la ría como la plataforma adyacente. El muestreo dentro de la ría puede efectuarse con barcos de pequeño porte. Sin embargo, dado lo expuesto de la zona, sería conveniente disponer de un barco de cierto porte para el muestreo en la plataforma continental. Los muestreos en este radial serían oportunistas y aprovecharían el tránsito de barcos durante otras campañas en la costa gallega.

##### *Campañas oceanográficas*

- ❑ En principio se contempla una campaña en primavera que abarcaría toda el área afectada desde la Ría de Vigo a Cabo Ortegal. La metodología de estudio sería del todo similar a la seguida en los radiales.

#### Acciones a medio y largo plazo:

- ❑ Las actuaciones son similares a las de corto plazo pero se alargarán en el tiempo si la situación así lo exige. Si los resultados de la campaña y de los muestreo periódicos en los radiales de A Coruña y Vigo indican que el fuel aún persiste en el agua, se efectuaría otra campaña durante la época del afloramiento estival e incluso otra en otoño.

#### **6.4.2 Evaluación del impacto sobre especies relevantes desde el punto de vista ecológico y comercial.**

La toxicidad del petróleo y sus derivados sobre los organismos marinos se debe principalmente a sus componentes aromáticos, en particular los de mediano peso molecular, ya que los muy volátiles desaparecen poco después de producirse el vertido y los de muy alto peso molecular (componentes del asfalto) son poco reactivos. Además de los diferentes hidrocarburos, el petróleo contiene otros componentes como azufre y metales pesados que pueden afectar negativamente a las especies. La gravedad de las alteraciones dependerá fundamentalmente del mayor o menor grado de contacto de los animales con el fuel. En una primera fase del vertido, los organismos marinos sésiles o sedentarios son los más afectados por el crudo siendo las fases embrionarias, larvianas y los propágulos varios órdenes de magnitud más sensibles a los hidrocarburos que los adultos. Como ejemplo, el fuel causa toxicidad letal aguda sobre crustáceos decápodos, y en particular juveniles y larvas, a niveles de unidades de 1 mg/kg, y sobre los huevos y larvas de bivalvos a niveles entre 0,5 y 10 mg/kg.

Las especies marinas, y especialmente aquellas costeras, constituyen metapoblaciones meroplanctónicas, es decir, cadenas de poblaciones locales postlarvianas conectadas por dispersión larviana. Dada la extensión de la marea negra, han sido severamente afectadas numerosas poblaciones locales consecutivas de ciertas especies, especialmente sésiles o sedentarias algunas de gran interés comercial como percebe, mejillón o erizo, por lo que, una vez eliminado el fuel de su hábitat, puede existir una reducción drástica del reclutamiento por falta de stocks de reproductores próximos o por un retraso en los procesos de maduración. Estos retrasos pueden ser debidos a una inhibición del desarrollo gonadal o a los efectos que los contaminantes puedan tener sobre el crecimiento de los individuos; una disminución en la tasa de crecimiento conllevaría un retraso en la incorporación a la población madura de los juveniles.

Hay que tener en cuenta también que el vertido del *Prestige* ha incidido de forma directa o indirecta en los stocks de las principales especies de interés comercial y el sector extractivo relacionado, la gran mayoría de ellos ya en una situación de reducción crítica reconocida previa al evento, como son la merluza, los rapas o la sardina.

Tras un gran vertido uno de los principales problemas que se plantea en el análisis de la evaluación del impacto sobre las especies es la dificultad para concluir si los posibles efectos negativos son consecuencia del propio vertido o se deben a fluctuaciones naturales ya que las poblaciones, tanto las explotadas como las que no, sufren grandes oscilaciones de abundancia que son debidas fundamentalmente a la gran variabilidad de los reclutamientos. Por todo ello deben elegirse cuidadosamente aquellas especies a estudiar teniendo en cuenta una serie de consideraciones. Se considerarán especies prioritarias para evaluación del impacto:

- Por su interés ecológico, especies que por su abundancia y su actividad estructuran el ecosistema.
- Por sus características biológicas, las que son más sensibles a la presencia de fuel o las que tienen capacidad de asimilación del contaminante.
- Especies de interés comercial: pesquero, marisquero o de acuicultura extensiva.
- Aquellas de las que existan datos previos, preferentemente series históricas.

- Especies vulnerables, raras, endémicas o contempladas en planes de conservación y de las que se conocen escasas poblaciones.
  - Existen poblaciones nidificantes de aves amenazadas de extinción en España, algunas en estado crítico como es el caso del arao y la gaviota tridáctila, otras vulnerables, como sucede con el cormorán moñudo. Este último merece especial atención por la importancia de las poblaciones ibéricas frente a la población mundial de la especie y por el declive continuado que está sufriendo en la mayor parte de su área de distribución. También las poblaciones de limícolas nidificantes en islotes (ostrero), dunas y arenales (chorlitejo patinegro y alcaraván) cuentan con muy pocos individuos y algunas de sus zonas de cría están sufriendo graves alteraciones con motivo de las labores de limpieza.
  - Los mamíferos marinos que pueden verse más fácilmente afectados por la presencia de fuel son las especies de hábitos costeros, especialmente la marsopa (*Phocoena phocoena*) y el delfín mular (*Tursiops truncatus*), ambas catalogadas como especies prioritarias en la Directiva europea HABITAT. La presencia estacional en los meses de invierno de tortugas marinas, especialmente de la especie *Caretta caretta* (especie prioritaria en la Directiva europea HABITAT), es también importante en las aguas gallegas, que suponen un punto crucial en sus rutas migratorias a través de la corriente del Golfo.

#### Objetivos:

A modo de síntesis los objetivos principales son los siguientes:

1. Evaluación global y seguimiento temporal de los efectos de la marea negra sobre las distintas fases del ciclo biológico (reproducción, desarrollo embrionario y larvario, reclutamiento, crecimiento) de especies de interés ecológico y económico.
2. Evaluación de la influencia del vertido en la distribución de especies en peligro de extinción, raras, endémicas o con poblaciones relictas.
3. Evaluación de la influencia del vertido en la distribución, abundancia y estructura demográfica de especies de interés comercial: análisis de la situación de los recursos explotados. Se debe de realizar una descripción y análisis de la situación previa y compararla con la nueva situación que ha provocado el vertido, analizando las series históricas disponibles de las actividades pesquera y marisquera.
4. Determinación de la posible función de algunas especies como organismos bioindicadores de contaminación por vertidos de fuel.

#### Acciones a corto plazo:

- Evaluación del impacto sobre especies de especial importancia ecológica (especies en peligro de extinción, raras, endémicas, bioindicadoras, estructuradoras de las comunidades): cambios en la abundancia, biomasa y estructura de tamaños de la población.

- ❑ Cambios en los patrones de distribución y abundancia de las especies explotadas. También se recomienda especialmente realizar esta acción en las especies que inicialmente se han visto más afectadas, entre otras semilla de mejillón, percebe y erizo.
- ❑ Seguimiento de la actividad extractiva de las flotas que componen las actividades pesqueras de Galicia y el Cantábrico. El vertido del *Prestige* ha incidido de forma directa o indirecta en los definidos por el ICES como stocks sur de las principales especies de interés comercial, la gran mayoría de ellos ya en una situación crítica previa al evento como son merluza, rapas, sardina.
- ❑ Recogida de la información de desembarcos, esfuerzo, y muestreos de tallas de las principales especies explotadas en la zona afectada posteriores al vertido.
- ❑ Monitorización de las poblaciones nidificantes de aves marinas y limícolas en las zonas afectadas en la primavera y verano de 2003, en lo que se refiere a tamaño poblacional, distribución y parámetros reproductivos.
- ❑ Manejo adaptativo de poblaciones de aves marinas y limícolas nidificantes para evitar la cría en zonas donde el riesgo de contaminación sea extremo.
- ❑ Trabajos de prospección costera, recogida de avifauna petroleada, asistencia a varamientos y estudios post-mortem.
- ❑ Acciones urgentes en el caso de los grandes vertebrados con el fin de preservar material biológico de interés.

#### Acciones a medio y largo plazo:

- ❑ Efectos del fuel sobre las tasas de fotosíntesis y respiración; variabilidad en el contenido de pigmentos en algas marinas.
- ❑ Alteración en la reproducción y fases tempranas del desarrollo de las especies de interés económico y ecológico. Uno de los efectos más importantes que la exposición al fuel y a sus componentes puede tener sobre las especies es reducir el potencial reproductivo de los individuos y por lo tanto de la población. Los posibles efectos en los individuos incluirían alteraciones en los niveles de las hormonas reproductivas, inhibición del desarrollo gonadal, reducción de la fecundidad y reducción de la viabilidad de huevos y esporas (calidad del huevo: tamaño, peso, componentes energéticos).
- ❑ Determinación de anomalías tanto embrionarias como larvarias que pueden afectar a la supervivencia e interferir en el nivel del reclutamiento en los sucesivos años. Seguimiento temporal de la producción de huevos y larvas de las especies de interés comercial.
- ❑ Alteraciones en el reclutamiento.

- Analizar cambios en la abundancia, biomasa, estructura de tamaños, crecimiento, distribución y patrones migratorios de las especies raras, endémicas o con interés ecológico.
- Estudio de la evolución de las flotas que operan en la zona afectada: Segmentación de las flotas que operan en las divisiones estadísticas del ICES (VIIIc y IXaN), renovación por subvenciones, desaparición, redistribución, desaparición de algún segmento.
- Estudio del impacto en las pesquerías: modificaciones en el patrón de explotación y en el esfuerzo (artes, tiempo y capacidad) ejercido por la flota afectada por el vertido. Análisis temporal de los índices de abundancia / densidad (CPUE) de las principales especies explotadas en el área afectada obtenidos a través de la actividad extractiva.
- Estudio del efecto indirecto en las especies de interés comercial causado por la imposición de las vedas espacio-temporales impuestas como consecuencia del vertido.
- Elaboración de planes de conservación de las especies amenazadas de aves marinas y limícolas. El estatus de las especies susceptibles de ser objeto de un Plan de Conservación ha de definirse en el área geográfica afectada y en función de los datos obtenidos en los censos de nidificantes. Muy probablemente será obligado realizar Planes de Conservación de las siguientes especies: cormorán moñudo, arao común, gaviota tridáctila, pardela balear y chorlito patinegro.
- Continuación del programa de monitorización de las poblaciones de cetáceos y, especialmente del delfín mular (*Tursiops truncatus*) y la marsopa (*Phocoena phocoena*), con el objeto de evaluar la influencia directa de la presencia de fuel, barreras anti-petróleo en las manadas costeras de estas especies.

### **6.4.3 Toxicidad del fuel, sus componentes, y sus productos de degradación sobre aspectos biológicos de especies relevantes para el ecosistema.**

El impacto de una marea negra como la provocada por el *Prestige* sobre el ecosistema marino incluye un amplio abanico de efectos tóxicos (letales y subletales), que van de los agudos e inmediatos, hasta efectos a medio y largo plazo, en ocasiones difíciles de cuantificar. Tanto el fuel que se encuentra en la superficie del océano como el que arriba a las playas, puede directamente causar la muerte de organismos bentónicos, aves y mamíferos marinos, que entren en contacto directo con el fuel. Algunos organismos bentónicos pueden sobrevivir, pero sin duda acumularán en sus tejidos concentraciones importantes de productos tóxicos, que pueden ser transferidos a sus depredadores. Los organismos que viven en la columna de agua (plancton, peces) están también afectados, al dispersarse y solubilizarse una fracción del fuel. La cantidad y toxicidad de esta fracción soluble varía con el tipo de fuel y si bien algunos organismos móviles pueden alejarse del producto tóxico (peces), otros, como el plancton, pueden verse directamente afectados.

A corto-medio plazo, dadas las características de persistencia de algunos de los componentes del fuel, se espera la acumulación de estos componentes en el tejido de la fauna expuesta, con los consiguientes efectos tóxicos. Es importante monitorizar entre otros la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos, debido a su toxicidad y potencial carcinogénico. Estos compuestos, dada su hidrofobicidad, una vez en el agua se adhieren fuertemente a pequeñas partículas, que acaban acumulándose en el sedimento. Esto conlleva una mayor exposición con el tiempo de los organismos bentónicos, que buscan su alimento en los fondos marinos.

Desde el punto de vista de la transferencia de estos compuestos en la cadena trófica, es importante señalar que los PAHs se acumulan de modo significativo en moluscos, pero no en vertebrados que son capaces de metabolizarlos y excretarlos. Por el contrario, los vertebrados son mucho más sensibles a los efectos tóxicos (alteraciones en lípidos, carcinogénesis, alteraciones del sistema inmune, y otras patologías) a corto y medio plazo, precisamente por su capacidad de metabolizar estos PAHs, aumentando así su toxicidad.

Desde el punto de vista de la respuesta morfológica de los organismos cabe la posibilidad que diversas irregularidades ocurridas durante el desarrollo de un individuo, y originadas por la acción tóxica de los contaminantes, puedan provocar que su morfología final no se adapte al patrón de simetría preestablecido. Estos casos se pueden cuantificar midiendo los niveles de la llamada "asimetría fluctuante", que se produce cuando aparecen ligeras diferencias no direccionales entre los lados de una estructura bilateralmente simétrica o entre estructuras pares a ambos lados del cuerpo en los individuos de una población. El análisis de la estabilidad del desarrollo, a través de la asimetría fluctuante, suministra información sobre daños netos ocasionados a las poblaciones, frente a los daños potenciales que revelan la mayoría de los biomarcadores disponibles (bioquímicos o moleculares) que presentan el inconveniente de su alta variabilidad natural, que necesita ser eficientemente ponderada, tanto en el tiempo como inter e intrapoblacionalmente.

Asimismo entre las aproximaciones que utilizan a los organismos individualmente, el análisis de los casos teratológicos, es decir el estudio de la frecuencia, la gravedad y las causas de la aparición de deformidades en los individuos de las poblaciones ha

demostrado, en un buen número de casos, su potencial para ofrecer un panorama completo y ecológicamente relevante de la salud de los ecosistemas acuáticos. En general, la prevalencia (porcentaje de animales afectados) en organismos intermareales, es muy baja y dependiendo de la especie objeto de estudio no suele superar el 0.7 %. Cuando se supera este nivel de fondo y las deformidades se hacen más frecuentes, afectando a un número de individuos sensiblemente superior al esperado, intervienen, con frecuencia, otras causas que deben de ser analizadas con minuciosidad.

Cabe destacar también la existencia de problemas reproductivos en algunas especies. Estudios realizados tras el vertido del *Exxon Valdez* mostraron una menor viabilidad de huevos y malformaciones en larvas de arenque al comparar zonas afectadas y no afectadas por el vertido. Observaron también mayor incidencia de enfermedades víricas, que junto con una disminución de la producción de plancton, contribuyeron a una fuerte disminución de la población en los años siguientes al vertido. Ciertamente, no podemos extrapolar estos resultados, y esperar el mismo tipo de efectos en especies de las costas gallegas; pero debemos ser conscientes de que huevos y fases larvianas - independientemente de que sean pelágicas o bentónicas-, son mucho más sensibles a la exposición a compuestos tóxicos, que los organismos adultos.

#### Herramientas disponibles para los estudios toxicológicos

La estrategia más adecuada para estudiar el impacto toxicológico del vertido del *Prestige* consiste en la integración del seguimiento químico (estudios de trayectoria de manchas, biodisponibilidad y bioacumulación de sus componentes) y la medida de una serie de respuestas a distintos niveles de organización (molecular, subcelular, fisiológico, individual, poblacional, etc.) que permitan determinar el grado de exposición al fuel y el grado de afectación/impacto.

Se tendrán en cuenta para ello los siguientes puntos:

- Selección de especies. Los estudios toxicológicos se deben efectuar sobre especies de interés comercial, y especies relevantes desde el punto de vista ecológico. Estas últimas se seleccionarán en base a su abundancia y amplia distribución, de modo que permitan la realización de estudios espaciales y temporales. Se deben seleccionar tanto especies pelágicas –que proporcionan información de los contaminantes biodisponibles en columna de agua y sus efectos tóxicos-, como bentónicas, que informarán de aquella fracción del fuel disponible en sedimentos y sus efectos tóxicos.
- Los estudios toxicológicos deben incluir estudios de laboratorio, y estudios de campo. La finalidad de los primeros será evaluar la toxicidad de la fracción de fuel soluble en agua, sus componentes aislados o en combinación, y sus productos de degradación, en aquellos organismos que se juzgue necesario (bacterias, fitoplancton, huevos y fases iniciales de desarrollo larvario, etc.); pudiendo así servir de base a estudios de campo, de mayor complejidad. Estos estudios incluirán huevos y fases larvianas de los organismos seleccionados, normalmente mucho más sensibles, y adultos, fito y zooplancton.
- Se deben efectuar estudios espaciales y temporales (hasta 3 años, con periodicidad a determinar según el tipo de ensayo) que permitan evaluar el impacto del vertido (extensión) y su evolución en el tiempo y posible recuperación.

## Estudios que se deben abordar para evaluar el impacto del vertido desde un punto de vista toxicológico.

1. Marcadores: de esta lista los dos primeros son indicadores de exposición, y el resto determinan lesiones, y por tanto efecto tóxico:

- ❑ Determinación de PAHs excretados en bilis de peces, puesto que estos organismos no acumulan PAHs en sus tejidos, sino que los metabolizan.
- ❑ Alteraciones bioquímicas: biomarcadores de contaminación orgánica; actividad de enzimas inducibles degradadores de hidrocarburos (EROD, AHH) y enzimas antioxidantes (GST, catalasas) en peces; inhibición de la actividad acetilcolinesterasa en peces.
- ❑ Alteraciones moleculares: DNA, lípidos, proteínas.
- ❑ Genotoxicidad (daños cromosómicos, aductos de ADN). Valoración de la variabilidad genética y estructura de población. Tras el vertido del *Prestige*. La pérdida de potencial de diversidad genética limitará la recuperación de las poblaciones y la respuesta eficaz a futuros cambios ambientales.
- ❑ Citotoxicidad y neoplasias en peces y moluscos bivalvos. Alteraciones histológicas: carcinomas, necrosis, etc.
- ❑ Alteraciones del sistema inmune.
- ❑ Alteraciones sobre la reproducción: alteraciones hormonales, efectos sobre la biosíntesis y metabolismo de hormonas, alteraciones en la gametogénesis.
- ❑ Efectos tóxicos sobre las tasas de crecimiento.

2. Valoración biológica de la contaminación en agua y en sedimentos.

- ❑ Bioensayos sobre los efectos de fuel en el crecimiento, desarrollo y germinación de esporas de *Chondrus crispus* y otras macroalgas marinas
- ❑ Bioensayos en fase líquida con embriones de invertebrados marinos (principalmente bivalvos y equinodermos).
- ❑ Eficiencia fotosintética del fitoplancton (fase líquida).
- ❑ Enterramiento de bivalvos (fase sólida).
- ❑ Supervivencia de anfípodos (fase sólida).

3. Respuesta morfológica de los organismos.



- La comparación de las poblaciones afectadas, en función de los métodos de análisis morfológico que se propone (estudio de las deformidades y análisis de los niveles de asimetría fluctuante) constituyen, quizás, los sistemas más prometedores desarrollados hasta el presente momento. Esta técnica permitirá estimar los distintos grados de alteración del desarrollo que el vertido de fuel ha provocado sobre ellas, en la medida en que se han visto sometidas a diferentes grados de estrés ambiental. Dentro del amplio espectro taxonómico que permite el estudio de las deformidades y de los niveles de asimetría fluctuante, lo cual es precisamente una de las principales ventajas de esta técnica, el análisis que se propone se realizará utilizando especies que sinteticen las condiciones de relevancia ecológica e interés comercial impuestas en el Programa de Intervención. Además, han de cumplir otras condiciones impuestas por la propia naturaleza del estudio, entre las que cabe destacar su amplia y variada distribución, abundancia, su tolerancia a altos niveles de contaminación y el detallado conocimiento que hoy día se posee de su morfología y biología

#### Cronología y Plan de Actuación:

Estos estudios deben comenzar de forma inmediata, y tener una duración en el tiempo de aproximadamente 3 años, con una periodicidad trimestral durante el primer año, y más espaciada durante los años 2 y 3.

#### **6.4.4 Evaluación del impacto sobre redes tróficas y procesos de bioacumulación**

El objetivo básico será el estudio de los cambios en las relaciones tróficas en el ecosistema marino derivadas del vertido y de los mecanismos de introducción de los contaminantes derivados del vertido (hidrocarburos policíclicos aromáticos, PAH, y metales pesados) en las redes tróficas marinas, lo que permitirá entender la extensión de los efectos de los contaminantes y su persistencia en el tiempo en los diferentes niveles tróficos, y en especial en los grandes depredadores y recursos pesqueros. En último término, este estudio puede aportar información básica para la evaluación de las consecuencias en la seguridad alimentaria.

#### **Consideraciones metodológicas**

El estudio de las redes tróficas del área afectada requiere la realización de análisis comparativos tanto en el tiempo (con respecto a información previa, a lo largo del proceso de recuperación de los efectos de la marea negra) como en el espacio (entre áreas con diferentes niveles de afectación por el vertido de fuel).

El estudio de las relaciones tróficas en organismos marinos utilizando métodos tradicionales (basados en análisis de contenidos estomacales u otros restos de presas consumidas, o bien observando el comportamiento depredador) requiere muestreos extensivos y un trabajo de laboratorio intensivo que están fuera de los objetivos básicos de este PIC. Ahora, existe abundante información previa sobre las relaciones tróficas de organismos de diferente nivel trófico (invertebrados, peces, aves, mamíferos) tanto en el área afectada como en zonas próximas ecológicamente similares obtenida empleando estos métodos que puede ser útil para la construcción de modelos tróficos representativos de la situación previa al vertido.

En la última década la aplicación de la metodología de determinación de isótopos estables de nitrógeno ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) y carbono ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) ha supuesto un gran avance en el estudio de las redes tróficas en ecosistemas marinos. De esta metodología existe en la actualidad una información amplia y contrastada y está siendo utilizada por diversos grupos españoles (incluyendo estudios en ecosistemas marinos gallegos). La obtención de muestras para análisis isotópicos permite la realización de muestreos extensivos de un modo rápido y sencillo. Por otro parte los datos isotópicos son representativos de las relaciones tróficas en periodos prolongados de tiempo, en organismos de vida larga, y, mediante análisis de diferentes tejidos con tasas metabólicas diferenciadas permiten obtener información de la dieta en diferentes escalas temporales.

Dado que esta actividad necesitará de la participación de diferentes grupos de investigación, se recomienda establecer una metodología común de procesamiento de muestras para análisis isotópicos, en aspectos como los métodos de conservación (liofilización y congelación o secado), acidificación para eliminación de carbonatos o extracción de lípidos previa a la determinación de isótopos. También sería conveniente coordinar la metodología de muestreo en cuestiones como los tipos de tejidos a analizar o los métodos de separación de las fracciones de tamaños de plancton y de obtención de materia orgánica disuelta en la columna de agua y de materia orgánica disuelta y particulada en sedimentos.

### **Actividades actualmente en curso**

El IEO ha realizado ya dos campañas de evaluación del impacto del *Prestige* en Galicia (diciembre 2002 y enero 2003) y se cuenta con una base de datos de 2600 estómagos (principalmente merluza, gallo, bacaladilla, gallineta, pintarroja, merlón y faneca), que puede aportar información básica para comprender los efectos tróficos inmediatos.

La Universidad de A Coruña se encuentra en la actualidad realizando estudios tanto en el Golfo Artabro (zona poco afectada) como en la zona costera de Carnota en la Costa da Morte (zona fuertemente afectada) con el fin de analizar la red trófica del ecosistema costero (identificación de niveles tróficos y de transferencias de nutrientes entre hábitats) mediante el análisis de isótopos estables. Se han obtenido muestras de los diferentes compartimentos tróficos (organismos planctónicos y bentónicos, materia orgánica en sedimento y columna de agua) localizados en diferentes hábitats costeros (característicos de los ambientes estuáricos, costeros y de la plataforma continental próxima). Estos muestreos servirá al mismo tiempo para determinar los niveles iniciales de contaminantes en organismos de diferente nivel trófico (en periodos sucesivos se analizarán los procesos de bioacumulación).

Por otra parte, la Universidad de A Coruña está también realizando en estos momentos una evaluación a gran escala (en toda la zona costera de la provincia de A Coruña) de los niveles de hidrocarburos en las especies de recursos pesqueros y marisqueros más importantes. Al mismo tiempo se analizará la variabilidad espacial e interespecífica en la composición isotópica de estos organismos con el fin de identificar patrones de incorporación inicial de contaminantes en función del nivel trófico, hábitat y localización geográfica.

La Universidad de Vigo se encuentra en estos momentos estudiando las redes tróficas de la zona intermareal de Aguiño y Punta Sobreira en la Ría de Vigo mediante análisis de isótopos estables.

### Objetivos:

Basándonos en las consideraciones anteriores, esta acción persigue dos objetivos básicos y complementarios:

1. Construcción de modelos de redes tróficas representativos de los ecosistemas de plataforma y zonas costeras de zonas afectadas y referidos a las condiciones previas a la marea negra, y de modelos posteriores al vertido en zonas con diferente grado de afectación. Se debe prestar especial atención a la descripción cuantitativa de las relaciones tróficas entre especies y de los niveles tróficos de los diferentes componentes de las comunidades bióticas, flujos de nutrientes y energía entre hábitats (tanto el acoplamiento bento-pelágico como los aportes oceánicos y continentales). Se debe combinar información previa obtenida mediante análisis de presas, estudios de tasas de ingestión e isótopos estables con estudios nuevos utilizando estas mismas herramientas.
2. Procesos de bioacumulación de compuestos tóxicos procedentes de vertidos de hidrocarburos (hidrocarburos policíclicos aromáticos, PAH, y metales pesados) en componentes de la red trófica situados en diferentes niveles tróficos.

#### Acciones a realizar:

1. Construcción de modelos tróficos de los diferentes ecosistemas afectados antes y después del vertido. Esta actividad debe organizarse siguiendo la tipología de ecosistemas presentada en la actividad 5.4.1 (Evaluación del impacto del vertido sobre los ecosistemas). Como unidades de trabajo se utilizará la plataforma continental y diferentes tramos costeros. Cada zona costera de estudio deberá comprender zonas intermareales y submareales, fondos rocosos y sedimentarios y áreas de diferente grado de exposición (desde estuarios a zonas oceánicas). Se plantean los siguientes objetivos concretos:
  - Construcción de una base de datos de relaciones tróficas y de un modelo de red trófica referido al ecosistema de plataforma. Se utilizará información previa sobre relaciones tróficas obtenida mediante análisis de contenidos estomacales y otros tipos de restos de presas (en peces, aves y mamíferos y, en menor medida en algunos grupos de macroinvertebrados); información sobre el sistema pelágico (plancton y peces) obtenida mediante isótopos estables, y otro tipo de información relevante de ésta u otras áreas geográficas. Los datos de contenidos estomacales e isótopos estables han sido obtenidos tanto para la zona atlántica gallega como para el Cantábrico (básicamente por el IEO). El producto final sería un modelo cuantitativo de la estructura trófica del ecosistema (abundancia de diferentes componentes, relaciones tróficas y orígenes de la materia orgánica) con el mayor grado de resolución espacial posible.

Entre la información existente se debe resaltar que se dispone de una amplia información previa sobre la estructura trófica de la comunidad de peces demersales en la zona de Galicia, con análisis anuales de las dietas de las principales especies desde 1990 (centradas en la zona de Galicia norte y el Cantábrico, excepto en los últimos 3 años en que también se abordó este estudio en la zona de Galicia Sur). Estos estudios se han realizado en las campañas anuales de evaluación de recursos demersales realizadas por el IEO. Se ha construido un modelo trófico de la plataforma continental de la costa cantábrica en

que se sintetizan los datos descritos previamente. Este trabajo se ha desarrollado siguiendo el modelo ECOPATH, y podrá ser utilizado como herramienta fundamental para la incorporación de nueva información y la comparación con la información post-vertido.

- Construcción de una base de datos de relaciones tróficas y de modelos tróficos de ecosistemas costeros. Se identificarán zonas costeras en las que existe información disponible que pueda ser empleada en la construcción de modelos tróficos de los ecosistemas costeros. Esta información puede provenir tanto de estudios previos sobre relaciones tróficas como otros dirigidos a la descripción de comunidades que aportan información sobre la distribución y abundancia de diferentes grupos funcionales (clasificados desde el punto de vista trófico, como es el caso por ejemplo de la infauna bentónica). Se construirán modelos similares a los descritos para la plataforma.
- Reconstrucción de modelos de redes tróficas en plataforma y zonas costeras mediante isótopos estables: identificación de niveles tróficos y descripción de los flujos de nutrientes y energía entre hábitats (acoplamiento bento-pelágico; aportes oceánicos y continentales). Los modelos de redes tróficas obtenidos en las acciones anteriores presentarán lagunas tanto en lo referente a las relaciones tróficas de algunas especies importantes en el ecosistema como, especialmente a los procesos de transferencia de materia y energía del sistema pelágico al bentónico como entre sistemas costeros y continentales. En este objetivo se trata de obtener una imagen cuantitativa e integrada de la red trófica en cada tipo de ecosistema y área geográfica utilizando la metodología de isótopos estables, que complemente los datos de las actividades previas.

Se utilizará como información de partida la caracterización de hábitats y comunidades bióticas obtenida en los objetivos 5.4.1 y en las acciones anteriores, que permitirá definir los componentes tróficos (organismos y materia orgánica) de interés en cada área.

Dentro de algunos de los grupos anteriores se deberán seleccionar las especies de interés para posteriores análisis. La selección se realizará en función de su dominancia, y deberán ser representativas de los grupos funcionales existentes y del espectro de tamaños de las comunidades.

Se deberá realizar un muestreo extensivo en cada zona de estudio para obtener muestras de cada uno de los componentes identificados previamente. Este muestreo puede completarse con muestras ya existentes procedentes de estudios previos (por ej., en el caso de aves y mamíferos). La obtención de estas muestras debe iniciarse inmediatamente para conseguir información de referencia, dentro de lo posible, de la situación previa o en las fases iniciales del vertido. En muchos casos, las muestras podrán obtenerse de estudios dirigidos a otro tipo de objetivos (por ejemplo, actividad 5.4.1.) que se estén desarrollando.

Un único muestreo puede permitir obtener una información integrada en el tiempo, dado que se emplean isótopos estables y, en algunos casos, en tejidos con diferente tasa metabólica y/o de renovación. Pero, en el caso de organismos de vida corta (fundamentalmente plancton) será necesario completar un ciclo anual de muestreo dado que las relaciones isotópicas varían en función de la disponibilidad

de nutrientes en el medio. Sería imprescindible obtener, al menos, muestras correspondientes a las siguientes épocas hidroclimáticas: floración primaveral, afloramiento estival, estratificación y mezcla invernal. Por otra parte la escala espacial del muestreo debe ser variable para los diferentes tipos de componentes en función de la escala de movimientos de los organismos o de transferencia de materia, con una mayor resolución en organismos sésiles y bentónicos y menor en organismos móviles y pelágicos.

Los resultados obtenidos permitirán definir el nivel trófico de los distintos componentes tróficos del ecosistema y el origen de la ruta trófica empleada por cada componente (diferenciando origen de la producción primaria y/o materia orgánica y nutrientes: fitoplancton vs. productores primarios bentónicos; materia orgánica y nutrientes de origen oceánico vs. origen terrestre). Se utilizarán modelos de mezcla conservativa para determinar las relaciones tróficas entre componentes.

Finalmente se deberán integrar, para cada ecosistema, la información procedente de esta y de las dos acciones anteriores mediante modelos tróficos cuantitativos y espacialmente explícitos (tanto en la columna de agua como geográficamente y diferenciando hábitats).

- Monitorización de la evolución post-vertido de las redes tróficas de los ecosistemas afectados. Partiendo de los datos sobre relaciones tróficas obtenidos en los objetivos anteriores, referidos a condiciones previas al vertido o la fase inicial del vertido en zonas con diferente grado de afectación, se seleccionarán zonas de estudio para una monitorización de la recuperación. Así se recomienda seleccionar el ecosistema de plataforma y, al menos, tres sistemas costeros (situados en un gradiente de impacto del vertido; por ejemplo tres zonas situadas en Rías Altas, Costa da Morte y Rías Baixas/Islas Atlánticas).

En cada uno de los ecosistemas seleccionados, se deberían de realizar muestreos periódicos después de la finalización del vertido. Utilizando análisis isotópicos con el fin de detectar cambios tróficos respecto a la situación descrita en las acciones anteriores. En esta fase se podrán seleccionar componentes con especial relevancia en el ecosistema, tanto por su abundancia como por su papel de indicadores (por ejemplo, los predadores tope), para reducir el esfuerzo de muestreo y analítico. La temporalidad y cobertura temporal de los muestreos deberá ser adaptada a las características biológicas de los diferentes organismos (así en el caso del plancton se necesitan muestreos estacionales mientras que en aves marinas es adecuado recoger muestras durante el periodo reproductor en primavera y verano) lo que puede hacer variar los tiempos nominales de muestreo propuestos previamente.

En el caso de la plataforma continental se deberían realizar estudios tróficos de peces bentófagos e ictiófagos basados en análisis de contenidos estomacales dado que, a pesar del esfuerzo necesario (que, como se comenta anteriormente, impide su generalización como método de trabajo en este PIC), el IEO cuenta con un grupo de investigación que ha desarrollado este tipo de estudios durante los últimos 20 años y poseen la infraestructura, metodología y experiencia necesarias. Los muestreos se realizarán junto con las campañas de evaluación del impacto sobre los ecosistemas de plataforma programados por el IEO en primavera y otoño (épocas de especial importancia al corresponder respectivamente con los periodos

de reproducción y de reclutamiento de las principales especies), al menos durante los dos primeros años, variando después su periodicidad en función de los resultados obtenidos. Se analizarán de forma más detallada las especies que se identifiquen como potenciales receptoras del impacto, bien por acumular más hidrocarburos como por alimentarse de las presas más afectadas.

2. Análisis de los procesos de incorporación a la cadena trófica y de bioacumulación de compuestos tóxicos procedentes de vertidos de hidrocarburos. Esta actividad analizará la incorporación de hidrocarburos policíclicos aromáticos y metales pesados procedentes de la marea negra del *Prestige* en organismos y se describirán los procesos de bioacumulación y biomagnificación que puedan suceder.

Los modelos tróficos obtenidos previamente permitirán seleccionar organismos de diferentes niveles tróficos para el seguimiento de la evolución de los niveles de contaminantes en tejidos. Se prestará especial atención a los organismos predadores y de ciclos vitales largos, en los que los procesos de bioacumulación pueden ser especialmente importantes. Se recomienda coordinar la selección de especies objetivo con otras actividades dentro del PIC (como pueden ser los estudios toxicológicos, o los estudios del impacto en ecosistemas y especies de interés). Estos organismos deberán ser muestreados, simultáneamente al estudio de monitorización mediante isótopos, periódicamente tras la finalización del vertido.

Los objetivos finales son identificar las vías de introducción de contaminantes en las redes tróficas (columna de agua vía fitoplancton vs. sedimento; transferencias horizontales entre hábitats mediadas por la dispersión y migración de organismos), cuantificar la bioacumulación y biomagnificación en distintos niveles tróficos, cuantificar la evolución temporal de los niveles de contaminantes en recursos pesqueros (información básica para estudios y acciones en relación a la seguridad alimentaria).

#### **6.4.5 Evaluación del impacto sobre los ecosistemas profundos en la zona de hundimiento**

Los fondos batiales y abisales del sistema profundo son a menudo considerados como un reino para unos pocos organismos muy especializados. Científicos norteamericanos estimaron que el número de especies que habitan en las profundidades se eleva a 10 millones y aunque esta estimación pueda ser discutible, aun reduciéndola a la mitad, representa un número muy importante. No deben de asombrarnos las cifras potenciales sobre el número de especies, ya que sin duda las regiones profundas presentan una elevada riqueza específica y no son tan pobres como se creía. Es necesario tener en cuenta que considerando todos los muestreos realizados hasta la actualidad, sólo se conocen en total unos 5 km<sup>2</sup>, de los aproximadamente 303 millones de km<sup>2</sup> correspondientes a estos dominios marinos, que comprenden el más vasto, y menos explorado, de los ambientes de la Tierra. No olvidemos que los altos índices de biodiversidad de estos fondos suponen que cualquier muestreo que se realice contiene siempre nuevas especies para la Ciencia.

Numerosas expediciones han demostrado que existen diferencias en la composición específica de las regiones profundas. ¿Cuán grandes son estas diferencias? ¿A qué son debidas?. Son estas cuestiones candentes que influyen no sólo en la riqueza faunística global calculada por métodos de extrapolación sino también en nuestro conocimiento o entendimiento básico sobre el funcionamiento de las comunidades bentónicas abisales y batiales. La mejora de los métodos de muestreo y, sobre todo, la extensión de las investigaciones a una mayor variedad de hábitats han convulsionado nuestra comprensión de los fondos profundos, poniendo de manifiesto una clara variación geográfica a escalas espaciales de 100 a 1000 km.

La mayor parte de nuestro conocimiento de la biodiversidad en el bentos profundo deriva de estudios de la macrofauna a escala regional o se restringen a menudo a uno o pocos taxones, siendo mucho menos conocido el gran contingente de especies que representa la meiofauna.

Sin duda, la evaluación del impacto debería realizarse en el marco de un estudio multidisciplinar e interinstitucional, que permita una detallada comprensión de las interacciones entre los factores ambientales y la composición y estructura de comunidades profundas batiales y abisales en una amplia área alrededor de la zona de hundimiento. Estas condiciones ambientales deben incluir las características físico-químicas del agua de fondo y de los sedimentos, la hidrodinámica, la naturaleza y composición de los sustratos, topografía y cartografiado del fondo y la cuantificación del nivel de hidrocarburos en los sedimentos.

Es notablemente importante aunar esfuerzos científicos y logísticos, promoviendo la coordinación y la colaboración científica más amplia posible de Universidades y Centros de Investigación de Galicia y de otras universidades e Institutos españoles y extranjeros, puesto que se trata de un ambiente de gran dificultad y complejidad de acceso, en el que los procesos de muestreo tienen que ser precisos y efectivos, con una buena formación y conocimiento del funcionamiento y manejo de los muestreadores y de su comportamiento en el fondo, ya que un ensayo fracasado supone mucho dinero y tiempo perdidos.

Considerando la escasa información que se posee de los fondos donde se ubica el pecio, en la ladera sudoeste del Banco de Galicia, una montaña submarina que está propuesta como área marina protegida por el convenio OSPAR, y de la Cuenca Abisal Ibérica en la planicie abisal adyacente, los principales aspectos que deberían ser evaluados son:

#### Acciones a corto plazo (2003)

- ❑ Descripción de las comunidades bentónicas en la zona de hundimiento, en la planicie de la Cuenca Abisal Ibérica y en la ladera SW del Banco de Galicia.
- ❑ Estimación de los parámetros biocenóticos (abundancia, dominancia, densidad, riqueza específica) aplicando análisis que pongan en evidencia estaciones afines y análisis específicos que permitan separar las especies en núcleos de afinidad.
- ❑ Variación latitudinal y batimétrica de la biodiversidad a lo largo de un amplio transecto desde la cumbre del Banco de Galicia, pasando por sus estribaciones

sur-occidentales, donde yace el *Prestige*, hasta la planicie de la Cuenca Abisal Ibérica.

- ❑ Evaluación del impacto en los fondos batiales y abisales, en la zona de hundimiento y área próximas afectadas, a partir de estaciones testigo en zonas no impactadas.

#### Acciones a medio y largo plazo (2004-2007)

- ❑ Seguimiento de la recuperación a partir de estaciones control y con diferentes grados de impacto, en la zona de hundimiento y área próximas afectadas.
- ❑ Estimación del tiempo de recuperación de las comunidades bentónicas profundas hasta el restablecimiento de una situación similar a la original .

La ausencia de referencias del estado inicial de los ecosistemas en la zona de hundimiento hace necesario que la evaluación del impacto ecológico se aborde en dos etapas. La primera, a corto plazo (2003), realizando un amplio transecto que permita determinar zonas afectadas y zonas testigo de condiciones similares a las afectadas por el vertido. Se considera que esta acción debe ser de ejecución inmediata, bien cuando las fugas del pecio sean totalmente selladas o, preferiblemente, después de la resolución del vaciado del fuel en el barco hundido. La segunda, a medio y largo plazo (2004-2007), debe ser más dilatada en el tiempo, con estaciones control en las zonas impactadas para determinar la respuesta de los ecosistemas a la recuperación. Al menos, el seguimiento debería realizarse en 1, 3 y 5 años.

No obstante, sería deseable un seguimiento de la recuperación de los fondos profundos hasta el restablecimiento de las comunidades a una situación semejante a la original, pues se sabe que otras actividades antrópicas sobre estos fondos (arrastres, extracción de nódulos ferromanganesicos, etc) perturban fuertemente el lecho marino y a las comunidades bentónicas, principalmente de sustratos blandos. Experimentos llevados a cabo recientemente sugieren que, a veces, son necesarias décadas para el restablecimiento de la comunidad alterada. Además, ello permitiría a la comunidad científica el desarrollo y normalización en nuestro país de las investigaciones en ecosistemas profundos, como realizan otras naciones de nuestro entorno geográfico y cultural, así como el desarrollo de técnicas de observación, estudio y experimentación *in situ* con barcos oceanográficos de eslora, diseño y equipamiento adecuados y la utilización de ROVs y batiscafos.



## **6.5 Valoración económica del efecto del vertido sobre el medio marino y el litoral (PT5).**

Los vertidos de fuel en elevadas cantidades y en circunstancias como las ocurridas con el buque *Prestige*, generan importantes daños económicos en la sociedad, que se despliegan a través de la economía en su conjunto, desde los consumidores hasta las empresas, siendo particularmente afectadas las actividades económicas más relacionadas con el medio marino y costero. La valoración de los efectos económicos de la marea negra de fuel supondrá un importante esfuerzo de identificación de bienes y servicios comerciales y ambientales sobre los que pueden recaer uno o más grupos de valor.

La valoración de los daños del *Prestige* ha de partir de los informes más recientes sobre vertidos catastróficos en el mar. La marea negra del *Erika* por haberse producido en un área de notables usos activos comerciales y no-comerciales ha de servir de ejemplo más próximo a las costas gallegas. La experiencia del *Exxon Valdez* constituye, sin duda, la más relevante desde el punto de vista de la valoración económica ambiental, al haber incorporado el valor de uso pasivo para estimar las pérdidas de renta y bienestar debidas al vertido del fuel, y en consecuencia incluir dicha pérdida ambiental en las demandas judiciales de compensaciones.

La producción de informaciones físicas y económicas para la valoración de los daños de la marea negra del *Prestige* va a requerir la colaboración de científicos especializados en los diversos recursos naturales implicados, además de las empresas de todos los sectores afectados. Un cierto grado de coordinación en el diseño y recogida de la información para uso económico será indispensable para poder llevar a cabo de una forma eficiente la valoración económica.

La valoración económica ha de hacerse desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto, y conviene a estos efectos distinguir los valores económicos privados de los públicos. Las subvenciones, las donaciones, el trabajo voluntario, el trabajo del ejército y otras transferencias públicas han de ser contabilizadas por separado. Los valores económicos, aunque se presentarán en forma agregada, deberán individualizarse con un criterio mercantil decreciente, desde aquellos valores directamente observables en los mercados, hasta los que carecen de la posibilidad de ser objeto de transacción, como es el caso de la pérdida de bienestar por usos pasivos debida a la pérdida de patrimonio natural.

La valoración del producto interior neto (PIN) cesante ha de partir del momento anterior al vertido y continuar con un análisis prospectivo a medio y largo plazo de las dos situaciones comparadas sin y con vertido del fuel, fundamentalmente en los complejos mar-industria y en el de turismo-hostelería y restauración, así como en las múltiples actividades con las que mantienen encadenamientos productivos.

El impacto económico tiene diversos componentes, según se trate de pérdidas de renta por los consumidores, o por las empresas o actividades económicas. Para llegar a estimar las pérdidas de bienestar económico debidas al vertido del fuel será preciso evaluar el efecto comercial en actividades de mercado, el efecto en los usos de actividades no-comerciales en los recursos naturales afectados, y el efecto económico sobre los valores de usos pasivos.

Estos componentes de valor se podrán combinar para evaluar los daños a nivel agregado a través de la estimación de los flujos de las pérdidas de rentas futuras. También se podrán utilizar para la evaluación de posibles compensaciones, así como para el análisis coste beneficio de las actuaciones dirigidas a la recuperación del patrimonio natural a su estado anterior al momento del impacto y de la evaluación de los beneficios sociales de las medidas de prevención de nuevos vertidos.

## **6.5.1 Actividades económicas y de consumo afectados**

### **6.5.1.1 El efecto económico comercial**

Este beneficio cesante corresponde a las actividades comerciales, a las pérdidas de ingreso y aumento de costes de producción. Tal como se indica en el apartado metodológico, puede medirse mediante la estimación de las pérdidas de rentas de trabajo y excedente del productor.

Las principales áreas de actividad afectadas por los cambios en costes e ingresos comerciales pueden ser:

- Gastos asociados a la limpieza del fuel, sanitarios y otros.
- Complejo productivo mar-industria.
- Actividades turísticas y recreativas.
- Transferencias públicas a los agentes económicos afectados.
- Otras.

Debería ponerse especial cuidado en no incurrir en doble contabilidad (sumar un mismo coste o beneficio más de una vez) al valorar este apartado y los apartados posteriores.

La pronta obtención de datos de campo puede ser crucial para la calidad de los resultados obtenidos. No se obtiene la misma precisión de respuesta al preguntar a una muestra de establecimientos por su actividad en el día de ayer o en la última semana que hacerlo por su actividad en los últimos meses. Ello es válido también para el apartado siguiente.

### **6.5.1.2 El efecto económico no-comercial de usos activos actuales**

Además de las pérdidas ligadas a los negocios, se suelen registrar pérdidas no-comerciales. Por ejemplo, la disminución de visitantes que van a pasear a la playa supone una pérdida de negocio en ciertas zonas (y un aumento parcial en otras zonas o actividades similares), pero también supone una pérdida de disfrute para quien deseaba simplemente pasear por la playa, sea de la población residente o foránea.

Entre las actividades principales no-comerciales a tener en cuenta tanto para residentes como para no residentes en las zonas españolas afectadas se encuentran:

- Actividades recreativas.
- Actividades culturales
- Otras.

Dada la complejidad de la recolección de datos, la cantidad de personas que debe movilizarse, y la importancia del periodo estival, resulta especialmente crucial recolectar datos durante el verano, con lo que el diseño cuidadoso del muestreo y la logística debe realizarse en la primavera de 2003 como muy tarde.

### **6.5.1.3 El efecto económico sobre los valores de usos pasivos**

Aparte de las pérdidas comerciales y no-comerciales contempladas en los dos apartados anteriores, se puede dar una pérdida de bienestar en personas que ni viven en los lugares afectados, ni son visitantes de los mismos, ni consumen productos afectados procedentes de ahí. Esta pérdida de bienestar por este uso pasivo se puede dar por ejemplo por saber que hay ecosistemas o determinadas especies que han soportado daños, o por solidaridad con el sufrimiento de otras personas en España.

Debería analizarse la pérdida de bienestar en no-usuarios activos debido a daños en:

- Ecosistemas.
- Poblaciones vegetales y animales.
- Estrés de la población humana.
- Otras.

En estos aspectos es crucial la información que puedan proveer los demás estudios científicos de las ciencias naturales, teniendo además en cuenta que los daños pueden proceder del vertido y de su limpieza. La coordinación horizontal debería garantizar que la información estará disponible en un formato utilizable para la valoración económica de los daños.

### **6.5.1.4 Otros estudios de interés**

Otros estudios de interés desde el punto de vista de las ciencias sociales, la seguridad alimentaria y la salud pública son:

- Impacto sobre la estructura de las comunidades españolas afectadas.
- Estrés Individual y familiar de las personas afectadas.
- Aspectos jurídicos, de seguridad y calidad alimentaria y salud pública.

De nuevo, el trabajo debe empezar pronto y coordinarse con los demás estudios científicos, para tener el ejercicio final bien diseñado en 2005.

#### Metodología:

La valoración monetaria de cada tipo de pérdida o coste (o beneficio) reclama la aplicación del método más adecuado, que suele variar de un tipo de daño a otro. Para las pérdidas derivadas de la actividad comercial, los métodos más frecuentes involucran la estimación de variaciones de las rentas de trabajo y del excedente de productores en las distintas actividades económicas afectadas. Para ello se precisa recoger datos fiables de las actividades comerciales antes y después del daño, lo cual exige celeridad en la obtención de los datos y en especial la inclusión de la campaña de verano, cuando

se producirán seguramente buena parte de las pérdidas. Los datos de la situación de referencia se pueden derivar de informaciones previas, análisis de la situación en lugares no afectados, y con datos en años posteriores cuando se considere la recuperación como completa, si ello ocurre. Los análisis deben contemplar no sólo los lugares directamente afectados, sino también los lugares sustitutivos.

Los efectos indirectos e inducidos, en ausencia de información *ad hoc*, pueden apoyarse en la contabilidad nacional ampliada, mediante el análisis de las tablas *input-output* regionales y española, las cuales deberían incorporar factores ambientales o recursos naturales.

La utilización de diversas metodologías puede hacer incurrir en la doble o múltiple contabilidad de los daños, lo cual debe evitarse con un buen diseño de las aplicaciones. Con el fin de homogeneizar la toma de información, evitar las omisiones o las dobles contabilizaciones y transferir los resultados a los agentes implicados y a la sociedad, se seguirán los criterios de la contabilidad nacional en todo el proceso de recogida de información comercial. En cualquier caso, a las pérdidas producidas en determinados sectores hay que sustraerles los beneficios extras que recibirán las actividades que actúen como sustitutas. El estudio debería realizarse a lo largo de tres años por lo menos, excepto en el caso de que en el segundo año quede claro que ya han desaparecido las pérdidas comerciales.

Para la estimación de las pérdidas no-comerciales que experimenta la sociedad, éstas se pueden cuantificar primero en unidades físicas o cualitativas (como tonelada transportada o día de actividad recreativa perdido) y aplicar el valor unitario correspondiente a partir de estudios *ad hoc* o de valores obtenidos en otros estudios, siguiendo los métodos de transferencia o de meta-análisis. De nuevo, es crucial que la recogida de datos empiece pronto, y que todo el diseño esté listo antes de la campaña de verano de 2003. Tres años parece también un periodo de tiempo razonable para capturar la mayor parte de los daños comerciales y no-comerciales mencionados anteriormente.

La valoración de las pérdidas sobre los valores de uso pasivo del patrimonio natural, entendidas como la afectación sobre el conjunto de la sociedad no contemplada en los aspectos comerciales y no-comerciales anteriores, debe incluir por lo menos al conjunto de la población española. Al tratarse de impactos sobre el bienestar de estas personas que no son residentes en las zonas directamente afectadas de España o visitantes de las mismas o consumidores de sus productos, parece adecuado aplicar un método de los llamados de preferencias declaradas, como la valoración contingente o la elección contingente, u otros que se consideren apropiados al caso estudiado.

Los métodos de valoración de las pérdidas derivadas del uso pasivo de los recursos naturales exigen un diseño muy cuidadoso y la utilización de información fiable procedente de los demás trabajos científicos, por lo que el calendario y la coordinación son muy importantes. Los datos básicos deben empezar a recogerse pronto (tres primeros meses) y con ellos elaborar un cuestionario adecuado (de seis a nueve primeros meses). Una vez probado el cuestionario en grupos reducidos, requiere de una primera encuesta piloto (una estimación realista la situaría en los 12 meses aproximadamente). La mejora del diseño con la incorporación de nuevos datos de los trabajos científicos, nuevas consultas reducidas y pruebas pilotos suele durar varios meses (quizás otro año). Poseer una buena información sobre los daños totales

ocasionados en lugar de utilizar sólo previsiones, es esencial para obtener un valor del daño que no esté ni infravalorado ni sobrevalorado, sino ajustado a la realidad.

Finalmente, la versión definitiva de la valoración de los usos pasivos puede quedar lista en el tercer año, y proceder a la recolección de los datos y su análisis, obteniendo finalmente una valoración fiable. Dejar pasar un cierto tiempo (como dos años) es una de las recomendaciones del *NOAA Blue Ribbon Panel* para valorar daños naturales, con el argumento de que permite realizar estimaciones estabilizadas desde el punto de vista de su dinámica temporal desde el momento del impacto.

Algunos estudios deberían realizarse en horizontes de dos y seis meses, como la estimación de los gastos de gestión posterior al derrame, limpieza y en su caso reposición del estado ambiental o medidas de fomento económico.

La calidad de los estudios, sea cual sea la metodología adoptada, puede mejorarse con la coordinación con las otras ciencias, con el establecimiento de equipos de distinta procedencia dentro de una misma disciplina y con la ayuda de revisores que analicen las etapas metodológicas más importantes, como los sucesivos diseños del ejercicio y el análisis de resultados.

#### Estudios, recursos y calendario

Se plantean tres estudios coordinados integrados cada uno por varios equipos de investigación, que en el marco administrativo esbozado actualmente por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, podrían realizarse uno de ellos incluido en la acción especial y los otros dos a integrar en la acción estratégica anunciada para un futuro inmediato.

Un primer estudio debería incluir las secciones 6.5.2.1. Debería realizarse de forma urgente, de manera que el diseño metodológico se realizase antes de verano y la recolección de datos empezara a inicios de verano como muy tarde.

El segundo estudio debería incluirse entre los proyectos de la acción estratégica de por lo menos tres años de duración.

El tercer estudio corresponde a las mismas secciones que el primero y representa la continuación del trabajo para los años siguientes.

Sería conveniente la acción coordinada de diversos equipos de investigación. Estos equipos deberían incorporar el asesoramiento de científicos con experiencia en la valoración de daños catastróficos por vertidos de productos petrolíferos.

#### **6.5.2 Protocolos de actuación y planes de contingencia para vertidos de sustancias contaminantes en el mar**

La gran extensión de las costas españolas, su situación geográfica y la intensidad de transporte marítimo que navega cerca de nuestro litoral, hace que nuestro país presente un riesgo importante de contaminación marítima con considerables repercusiones sobre la economía de las comunidades costeras así como graves daños en el ecosistema litoral. El accidente sufrido por el petrolero *Prestige* es un claro ejemplo de la vulnerabilidad de nuestras costas frente a la contaminación marítima.

Los vertidos de productos derivados del petróleo en nuestros mares ya sean debidos a accidentes en alta mar como en puertos, plantas refinadoras o lugares de extracción, son seguramente la mayor fuente de contaminación accidental puntual que sufren nuestras costas.

La prevención de estos accidentes con controles y una legislación nacional e internacional apropiada es la mejor estrategia para evitar los daños producidos. Pero una vez ha ocurrido el accidente, la mejor –y quizás única- estrategia para minimizar los daños es una respuesta **adecuada** a la situación, **rápida** y **bien organizada**. Esto únicamente será posible con unos planes y protocolos de actuación avalados científicamente y una organización adecuada para llevarlos a cabo.

En los planes de contingencia se describen las actuaciones, medios –materiales y humanos- y coordinación con el objetivo de minimizar los daños ambientales causados y acelerar la recuperación de los ecosistemas que hayan resultado dañados.

Un plan de contingencia debería tener en cuenta todas las posibles situaciones y escenarios que pueden aparecer durante y después de un vertido con numerosos detalles para responder al vertido y cubrir todo el litoral. A pesar de esta complejidad, el plan de contingencia debe ser realista y factible. La utilización de herramientas científicas (modelización, GIS, etc.) favorece a que sea así.

Un plan de contingencia debe tener en cuenta cuatro grandes elementos:

- Identificación de los daños
- Análisis de vulnerabilidad
- Valoración de riesgos
- Acciones de respuesta

Además es necesario la mejora y desarrollo posterior del plan mediante ejercicios de simulacro, lecciones aprendidas de vertidos sucedidos y aportaciones científicas constantes.

Los recientes ejemplos de los derrames producidos por los petroleros *Exxon Valdez* (Alaska, 1989) y el *Erika* (Francia, 1999) han demostrado la necesidad de la existencia protocolos de actuación y planes de contingencia adecuados. En ambos casos sirvieron para que los países afectados mejoraran sus mecanismos de actuación.

### **El ejemplo de los Estados Unidos de América**

Como respuesta al accidente del petrolero *Torrey Canyon* (1967) a 15 millas de Inglaterra, el gobierno federal norteamericano legisló (1968) un plan de actuación frente a un derrame de hidrocarburos y sustancia tóxicas que ocurra en cualquier lugar de los Estados Unidos y que involucra a diferentes administraciones locales, estatales y federales. A partir de este plan, llamado *National Oil and Hazardous Substances Pollution Contingency Plan*, o *National Contingency Plan* (NCP) se constituyó el *National Response System* donde se establece el protocolo a seguir en el caso de un vertido de hidrocarburos y está diseñado para coordinar los esfuerzos y recursos ante el derrame para asegurar la efectividad del control del vertido y las actividades de limpieza.

Los tres grandes componentes del *National Response System* son:

- *Scene Coordinators (OSC)*
- *National Response Team*
- *Regional Response Teams*

En el caso que el derrame se produzca en aguas costeras, el coordinador (OSC) responsable es la agencia federal *US Coast Guard* mientras que si se produce en aguas interiores, el responsable es *US Environmental Protection Agency (EPA)*

### **El ejemplo de Francia**

En Francia, la respuesta ante un vertido de sustancias contaminantes en el medio marino está organizada por el plan *POLMAR* publicado oficialmente en 2002 a partir de un plan anterior de 1978. En este caso, se distinguen las actuaciones en el mar (*Polmar-mer*), coordinadas por las autoridades de la *Marine nationale*, y en tierra (*Polmar-terre*), responsabilidad de los Prefectos de los Departamentos implicados.

Es importante señalar que en los planes de ambos países se establece la cooperación, responsabilidad y apoyo de organismos de investigación públicos tales como la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) americana y el CEDRE (*Centre de Documentation, de Recherche et d'Expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux*) y el IFREMER franceses.

Los ejemplos del *Exxon Valdez* y el *Erika* nos muestran los resultados del apoyo y su inclusión en los planes de actuación de los organismos de investigación científica tanto durante como en las tareas de recuperación posteriores del ecosistema tras estos accidentes y en donde se demostró la necesidad de aplicar el conocimiento integral, multidisciplinar científico. En el caso de nuestro país, tenemos el caso reciente del vertido de Aznalcollar en donde el CSIC cooperó en las tareas de coordinación y ejecución llevadas a cabo así como en el control y monitorización posterior de la zona.

#### **6.5.2.1 Implantación de Planes de contingencia**

Un plan de contingencia integral debería contener los siguientes elementos fundamentales:

- a) Actuaciones destinadas a la prevención de accidentes.
- b) Actuaciones para la reducción de daños tras el accidente.
- c) Sistema de ayuda a la toma de decisiones tras el accidente.

Cada una de estas propuestas se desarrollaría atendiendo a los contenidos que se explicitan a continuación.

##### **a) Actuaciones destinadas a la prevención de accidentes**

- Reglas de seguridad para la navegación.
- Dispositivos de separación de tráfico.
- Formación de las tripulaciones y vigilancia.
- Uso de equipos de navegación modernos.
- Normas de construcción de los buques.
- Normas en las técnicas de explotación.

- Procedimiento de control.

**b) Actuaciones para la reducción de daños tras el accidente**

- Mejora de la supervivencia de los buques accidente.
- Limitación de las dimensiones de las cisternas.
- Facilidad para la transferencia de la carga.
- Establecimiento de planes de lucha nacionales e internacionales.
- Definición de modelos de comportamiento de los contaminantes y de sistemas de ayuda en la toma de decisiones.
- Contar con personal experto y con los dispositivos necesarios para aplicar las técnicas de lucha adecuadas en cada caso.

**c) Sistema de ayuda a la toma de decisiones tras el accidente**

El sistema de ayuda a la toma de decisiones debe estar compuesto por cinco módulos o subsistemas interactivos, a saber:

- 1- Información
  - Geográfica
  - De sustancias peligrosas
  - De buques
  - De medios humanos y materiales disponibles
- 2- Simulación del Comportamiento del Contaminante
  - Simulación en condiciones medias y extremas
  - Simulación en tiempo real
- 3.- Simulación de Métodos de Lucha
- 4.- Evaluación de Riesgos y Actuaciones y Daños Producidos
- 5.- Selección de Respuestas Optimizadas

**i) Estructura Operativa**

Paralelamente a estas actuaciones debe existir una estructura operativa que contemple los siguientes agentes: técnicos de operaciones, dirigentes y gestores y agentes externos. El plan debe considerar también las relaciones entre los elementos fundamentales y los agentes operativos.

Además, muchas de esas actuaciones se completan con los trabajos de otros grupos, por lo que deben trabajar en paralelo y perfectamente coordinados. Así, por ejemplo, las tareas correspondiente al sistema de información y simulaciones se corresponden con el programa de trabajo del Grupo 2 "Trayectorias de las manchas de fuel en la zona del hundimiento" del PIC-*Prestige*.

**ii) Propuesta de actuaciones**

Para implantar en España un sistema global de estas características, las actuaciones a desarrollar deben de tener dos perspectivas bien diferenciadas. Una enfocada a dar solución inmediata a los problemas de contaminación con los medios y las herramientas actualmente disponibles. La otra debe centrarse, a más largo plazo, en crear un verdadero sistema experto operacional con amplia aceptación en Europa. Aspecto, este último, que conviene destacar por considerarlo principal.

Esas acciones se pueden agrupar en:

**Actuaciones a medio plazo.**



Formación de un grupo estable de trabajo que evalúe el estado de conocimiento y ponga a punto, en España, un sistema de ayuda ante la contaminación accidental, basado en un desarrollo propio y en los programas ya generados y aceptados en otros países.

Este sistema puede crearse considerando, en primer lugar, los accidentes con mayor probabilidad de ocurrencia. A partir de la evolución de cada accidente real, se seguirán y dará respuesta a las necesidades que aparecen en cada caso. El sistema debe dar solución ágil a estas necesidades.

Por último, las características antes expuestas aconsejan iniciar este trabajo con la creación de un «sistema experto operacional» específico para un solo tipo de accidente previamente elegido. En las condiciones actuales, se propone comenzar con el “estudio operacional de la contaminación accidental por vertidos frente a la costas de Galicia”.

Además, en ocasiones los vertidos de hidrocarburo debido a su degradación y dispersión plantean la dificultad de la utilización de buques anticontaminación, aspecto éste que se ha puesto de manifiesto con el *Prestige*. Para estas situaciones es necesario diseñar sistemas y equipos de contención y recuperación específicos para atender a: pequeñas manchas, irisaciones, extracción del fondo marino, etc.

#### **Actuaciones a largo plazo.**

La creación de un verdadero «sistema experto operacional» de previsión y ayuda en la toma de decisiones ante riesgos de contaminación accidental, implica, por su complejidad y amplitud, un trabajo y unos costes importantes. Si se considera, además, su ámbito de aplicación y la conveniencia de que sus resultados tengan una aceptación internacional, es claro que estamos ante una tarea que debe abordarse a largo plazo y en colaboración con Organismos y Centros de otros países interesados en el tema.

#### **Coordinación**

Debido a la amplitud y ámbito del plan de contingencias y protocolo de actuaciones objeto de este informe se considera conveniente que su gestión, coordinación y ejecución completa se canalice a través de un único órgano o institución. Este tendrá capacidad de coordinar y obtener datos de las distintas regiones marítimas y comunidades españolas. La coordinación podría considerar la distribución de las distintas fases y tareas del plan entre distintos grupos de trabajo de todas las comunidades litorales.

A continuación se comentan brevemente alguno de los componentes del plan:

#### **Sistema de información centralizado**

El sistema de información tendrá una fuerte referencia geográfica con el fin de representar todo recurso (coordinadores, unidades móviles, bases de coordinación, material de LCC, depósitos, ...) en base a sus coordenadas geográficas, y permitirá la representación conjunta o individual de los diferentes conceptos. Esta representación será lo más gráfica posible, pudiendo convertir los conceptos en iconos y viceversa. El sistema deberá estar dotado de herramientas de aplicación general que permitan realizar cálculos sobre componentes geográficas (distancias, áreas, volúmenes, ...), y herramientas de aplicación específica que permitan realizar tareas como la localización de objetivos y determinación de áreas de búsqueda o la simulación de posibles comportamientos o consecuencias de una contaminación o vertido.

## **Sistema de predicción de riesgos ante la posibilidad de contingencias**

La finalidad de este sistema es la de suministrar información sobre los riesgos que se pueden presentar ante distintas posibles contingencias. El procedimiento se realizaría mediante simulaciones de diversos escenarios probables (Situación climática, tipo de accidentes marítimos, situación, etc.) y su resultado permitirá catalogar el riesgo, valorándolo atendiendo a: incertidumbre, alerta, seguro, gravedad, ámbito de influencia.

### **i) *Sistema de seguimiento de la emergencia***

El sistema de seguimiento constará de un subsistema de adquisición de datos que permita en tiempo real ubicar y cuantificar todos los elementos del accidente ( buque, derrames o vertidos...). Además, este sistema debe contener procedimientos de simulación que permitan predecir la evolución del accidente en el muy corto y corto plazo.

### **ii) *Acciones inmediatas ante una situación de emergencia***

A partir del accidente se contemplarán las acciones inmediatas que los agentes operacionales han de ejecutar: avisos, alarmas, movilización de población, recursos materiales y humanos a movilizar, coordinación entre los responsables de las distintas Administraciones, etc.

Cuando se produce un accidente de las características como las del "PRESTIGE", existen 3 tipos de agentes que se relacionan de la siguiente manera con la información:

- Técnicos de Operaciones: controlan los escenarios afectados y los recursos (humanos y técnicos) destinados a esos escenarios, sabiendo como identificar e inventariar, distribuir y, finalmente, ubicar dichos recursos. Tienen una visión parcial, delimitada por el área de influencia de su escenario, y conocen en todo momento el estado de los recursos. Por lo tanto deben interactuar con un sistema de información tanto para extraer como para introducir nueva información o mantener la información existente. El personal técnico de operaciones suele rotar con cierta frecuencia con lo que el sistema debe estar dotado de herramientas que faciliten la puesta al día de la situación al nuevo equipo de técnicos. Luego parece lógico que el sistema de información tenga una importante componente gráfica.

- Dirigentes y Gestores: encargados de la toma de decisiones, tienen una visión global de los escenarios. Necesitan estar informados, prácticamente en tiempo real, de cuántos recursos han sido o están siendo utilizados, su ubicación, su estado y a quiénes se deben dirigir para reubicar recursos o cualquier otra gestión, como por ejemplo, solicitar información. En ocasiones, estos agentes podrán realizar propuestas operativas para que su viabilidad técnica sea validada por los técnicos, por lo que deben interactuar con un sistema de información tanto para extraer como para introducir y modificar información.

- Agentes externos: medios de comunicación, organismos y organizaciones, y público en general. Estos agentes se limitan a consumir la información generada, con solicitudes espontáneas, no programadas, que varían en función del interés que suscita la situación. En la actualidad, esta información es requerida de forma continua, obligando a Técnicos y Dirigentes a dedicar un importante porcentaje de tiempo al suministro de esta información en lugar de enfocarse a la solución operativa y técnica

del problema. Se deduce entonces que estos agentes deben de interactuar con el sistema de información con el fin exclusivo de consultar la información. Esta solicitud de información tiene como características esenciales que puede producirse en cualquier momento, en numerosas ocasiones y desde cualquier lugar.

### **iii) *Relación entre los elementos fundamentales y los agentes operativos***

Para satisfacer la necesidad de información de los 3 tipos de agentes bien diferenciados, sería conveniente la implantación de un Sistema de Información Geográfica, acompañado de otras funcionalidades (como mensajería), que pueda ser accedido bajo estricto control de acceso, desde cualquier lugar de cualquier ámbito (local, regional, nacional o internacional) y en cualquier instante de tiempo (día y noche local). Parece obvio que, en función de lo anterior, el acceso a este sistema de información deba hacerse desde Internet, es decir, vía web. Es importante resaltar el hecho de que la posibilidad de ser accedido desde Internet no implica que todo visitante del sitio web pueda acceder a la misma información. Lógicamente, pasado el control de acceso mediante la tecnología que se estime más adecuada (usuario y contraseña, certificados digitales, identificación mediante hardware, ...), el visitante tendrá acceso a la información a la que se le haya autorizado previamente y de forma expresa. Con un sistema de estas características habremos conseguido:

1. Ampliar la capacidad de informar.
2. Incrementar la precisión de la información.
3. Reducir la solicitud de información de forma directa a Gestores y Dirigentes desde otros organismos u organizaciones (agentes externos).
4. Reducir la solicitud de información de forma directa a Técnicos de Operaciones por parte de Gestores o Dirigentes.
5. Centralizar la información, haciéndola única y normalizada (en los mismos términos, con las mismas unidades de medida si es aplicable).
6. Mayor eficacia en la gestión operativa y técnica.

La Comisión Europea ya maneja estas cuestiones (PROCIV-NET, TESTA-II, y otros proyectos).

## **6.6 Coordinación general, gestión y aspectos horizontales (PT6)**

El **Programa de Intervención Científica** del MCyT implicará la participación de cientos de investigadores de muy distintos Centros de investigación del sistema español de I+D+I, lo que hace imprescindible establecer un sistema eficaz de coordinación de las actuaciones.

En relación a la adopción final de este Programa de Intervención Científica del MCyT, se convocará una Comisión Científica de Expertos que tendrá como misión proponer los investigadores responsables de la coordinación de cada sub-tarea definida en el Programa. La Comisión identificará los objetivos científicos y los priorizará en urgentes y en medio y largo plazo. Los urgentes serán ejecutados por un método de urgencia, mientras que los otros serán incluidos en convocatorias especiales del Plan Nacional del MCyT (2003 y 2004).

Esta Comisión podrá más adelante desempeñar un papel de relevancia ya que a través de reuniones de trabajo periódicas se analizarían los progresos realizados, reorientándose en su caso las acciones necesarias.

Se establecerá la figura de un Coordinador del Comité, cuya designación corresponderá al MCyT, que estará asistido por un Comité científico constituido por especialistas de prestigio. En este Comité científico, que será designado por el MCyT, deberán estar convenientemente representados los organismos e instituciones que vayan a tener un papel de importancia en la ejecución de las investigaciones incluidas en el PIC.

El equipo de Coordinación (Coordinador, Comité Científico y Coordinadores de programa de trabajo (PT)) velará especialmente por la coordinación entre los equipos y por la transmisión de la información a los agentes operativos 'in situ'. En este sentido, se establecerán los medios materiales y humanos necesarios para garantizar una coordinación eficaz.

Es importante tener presente la complejidad científica de este Programa del MCyT y la complejidad de la coordinación de un equipo interdisciplinario formado por cientos de investigadores. Son evidentes por tanto las necesidades de gestión y de respuesta inmediata que requiere un proyecto como este por lo que será sin duda necesario arbitrar medidas específicas que permitan la contratación de personal así como facilidades de forma general en la gestión.

La coordinación externa se responsabilizará también de que exista una transmisión adecuada de la información hacia los distintos agentes. Internamente, se establecerá una estructura de coordinación, que se responsabilizará de la ejecución del plan de trabajo propuesto y aceptado.

La misión del *Equipo de Coordinación* es asignar las distintas tareas y objetivos y su distribución geográfica y temporal, priorizar los objetivos y promover la evaluación científico-técnica y económica de los resultados que se vayan obteniendo, y crear y mantener vías de comunicación para asegurar el flujo de información y resultados entre los participantes y a la sociedad, facilitando para ello las interacciones necesarias entre los participantes del proyecto y entre éstos y otros actores nacionales internacionales interesados en el problema abordado por el *PIC\_Prestige*.

El *Equipo de Coordinación* favorecerá el carácter interdisciplinar de la investigación, en su planificación y ejecución, con el fin de facilitar la optimización de las tareas y la optimización de los recursos científicos y económicos.

El *Equipo de Coordinación* llevará a cabo mediante ejecución directa o en su caso encargo específico a terceros las siguientes tareas:

- Asistir al Plan Nacional de I+D en el proceso de definición de objetivos científico-técnicos de la Acción Estratégica en preparación, la selección de las propuestas, la coordinación entre ellas y la valoración de los informes de resultados de los proyectos financiados.
- Construcción, mantenimiento y gestión de una base de datos geo-referenciada (i.e. plataforma SIG) que contenga toda la información, datos y metadatos generados por el *PIC\_Prestige* así como toda la información existente previamente relevante y útil para la consecución de sus objetivos. La gestión de esta base de datos asegurará el control de su calidad, su accesibilidad y disponibilidad en plazos de tiempo operativos y fijará normas de uso que atiendan a los códigos deontológico y de respeto al medio ambiente intrínsecos a la actividad científica.
- Control de calidad de los resultados y estandarización de protocolos (e.g. analíticos, de monitorización, de transmisión de información) utilizados en el *PIC\_Prestige*.
- Facilitar la coordinación, interacción y diálogo entre los participantes en el *PIC\_Prestige*, fomentando el carácter interdisciplinar de las actividades del proyecto. Para esto último se organizarán encuentros (e.g. talleres, jornadas, congresos científicos) y se utilizarán tecnologías de comunicación electrónica (e.g. página web, e-boletines, actualizaciones de noticias, listas de discusión, videoconferencia). El Equipo de Coordinación fijará en un primer momento la periodicidad de estas actividades.
- Evaluación científico-técnica y económica de los resultados, formulando modificaciones al plan de trabajo cuando sea necesario.
- Identificar actuaciones que trascienden el marco temporal inicial del *PIC\_Prestige* (i.e. actuaciones como monitorización, mantenimiento de la información y bases de datos que se deben extender más allá del año 2005) y proponer al MCyT mecanismos apropiados.
- Elaborar un protocolo de toma de decisiones por el *Equipo de Coordinación* que asegure su operatividad.
- Promover foros de reflexión que, a partir de la experiencia del *PIC\_Prestige*, propongan mecanismos de respuesta frente a situaciones de emergencia que afecten al medio marino.
- Elaborar un protocolo de evaluación externo del *PIC\_Prestige*.
- Asesorar al Comité Científico Asesor, al MCyT, otros organismos, administraciones y agentes sociales en asuntos derivados del *PIC\_Prestige*. Crear un foro estable de diálogo e intercambio de información con estos agentes.
- Compilar y distribuir las memorias de actividades parciales y finales del *PIC\_Prestige*.
- Valorar la demanda de infraestructuras esenciales para la ejecución del proyecto y anticipar posibles deficiencias en su disponibilidad.
- Divulgar de forma ágil y rigurosa los resultados derivados del *PIC\_Prestige* a la sociedad.

**Comisión Interdisciplinaria de Expertos del PIC del MCyT *que han intervenido en la redacción de este documento.***

Emilio Lora Tamayo, vicepresidente del CSIC  
Joaquín Tintoré, Coordinador de Recursos Naturales del CSIC

Por PTs:

**1)**

Jose Luis Garcia Fierro, CSIC  
Josep M. Bayona, IIQAB, CSIC  
Belen Alonso, CSIC  
Pedro García Ybarra, CIEMAT  
Federico Vilas, Univ. Vigo  
Antonio Pérez de Lucas, IZAR  
Francisco Fernandez González, UPM  
Juan Acosta, IEO  
Victor Díaz del Río, IEO  
Juanjo Dañobeitia, UTM  
Ignacio Diez de Ulzurrun, UPM  
Miguel Angel Herreros Sierra, UPM  
M<sup>a</sup> Mercedes del Coro Fernández (UDC)  
M<sup>a</sup> Luisa Fernández (UDC)  
Luis Somoza (IGME)  
Diego Cordoba, UCM  
Joseph Gallart, ICTJA-CSIC

**2)**

Iñigo Losada, Univ. de Cantabria  
Alberto Alvarez, CSIC  
Jordi Font, CSIC  
Ignacio Rodríguez, Puertos del Estado  
Enrique Alvarez, Puertos del Estado  
Gregorio Parrilla, IEO  
Manuel Ruiz, IEO  
José Manuel Cabanas, IEO  
Ramiro Varela, Univ. Vigo  
Vicente Perez Muñuzuri, Univ. Santiago/MeteoGalicia-Xunta.

**3)**

Joan Albaiges, IIQAB, CSIC  
Fiz Fernandez, CSIC  
Marta Estrada, CSIC  
Emilio Fernandez, Univ. Vigo  
Angel Guerra, CSIC  
Adolfo Uriarte, AZTI  
Ricardo Anadon, Universidad de Oviedo  
Jaime Rodríguez, Universidad de Málaga  
Juan José González, IEO  
Lucía Viñas, IEO  
José Salgado, CSIC  
Juan R. Acinas (GPYC, Univ. da Coruña)

Sergio Rodríguez. Carbonell (SASEMAR-Mº Fomento)  
José Cidrás Pidre (Universidad de Vigo)  
Amancio Landín Jaraiz (CETMAR-Vigo)

**4)**

Antonio Figueras, CSIC, toxicología.  
Juan Luis Ramos, CSIC  
Francisco Sanchez, Santander, IEO  
Manuel Varela, IEO  
Cinta Porte, CSIC  
Dolors Blasco, CSIC  
Jose Mora, Universidad de Santiago  
Juan Freire Botana, Universidad de Coruña  
Elsa Vazquez, Universidad de Vigo  
Daniel Oro, CSIC  
Julio Arrontes, Universidad de Oviedo

**5)**

Experto/s designado por CETEMAR  
Manuel Varela, Universidad de Vigo  
Pere Riera, Univ. Autonoma de Barcelona.  
Rafael Sardá, CSIC  
Carmelo León, Univ. Las Palmas de Gran Canaria  
Pablo Campos Palacín, CSIC  
Antoni Riera, Universidad Islas Baleares  
Salustiano Mato, Universidad de Vigo  
José Cidrás Pidre, Universidad de Vigo

**6)**

Enrique Macpherson, Coordinador del CSIC en el Programa científico Aznalcollar.  
Eduardo López-Jamar, Subdirector General de Investigación del IEO  
Jerónimo Corral, ex Subdirector General de Investigación del IEO  
Beatriz Morales, CSIC, gestora del programa de Ciencias Marinas, Plan Nacional de I+D  
Fernando Hiraldo, CSIC  
Miguel Losada, Univ. Granada.  
Carlos Duarte, CSIC  
Raul Medina, Univ. Cantabria