



XUNTA DE GALICIA

## **MEMORIA DO PROXECTO DE INVESTIGACIÓN APLICADA**

PROGRAMA DE RECURSOS MARIÑOS

DOCUMENTO Nº 1-B

### **INFORMACIÓN ADICIONAL SOBRE ESTE DOCUMENTO**

- ❑ Non engadir follas adicionais.
- ❑ Non engadir documentación adicional (teses, separatas, cartas, etc.).
- ❑ No caso de PROXECTOS COORDINADOS, especificar material, obxectivos, etc., correspondentes a cada subproxecto, facendo copias daquelas follas nas que sexa necesario separa-la información relativa a cada un deles.

TÍTULO	<b>A</b>
El registro de la contaminación del buque Prestige en los sedimentos: Seguimiento y evaluación en la zona del hundimiento del buque y en la zona litoral	
INVESTIGADOR PRINCIPAL	
RUBIO ARMESTO M. BELÉN	
INSTITUCIÓN	
UNIVERSIDADE DE VIGO	
ENDEREZO	
Dpto. Geociencias Marinas y Ordenación del Territorio. Facultad de Ciencias. 36200 Vigo (Pontevedra)	
PALABRAS CLAVE	
Prestige, sedimentos, contaminación, PAHs, AHCs, elementos traza, monitorización.	
RESUMIO	<b>B</b>
<p>Las rías constituyen eficaces trampas de sedimentos muy susceptibles a la retención de sustancias contaminantes. Esto se debe principalmente por su asociación con las partículas finas y la materia orgánica, lo que se acentúa por la capacidad de memoria del registro sedimentario. Trabajos previos realizados por el grupo de investigación de Geología Marina de la Universidad de Vigo que solicita este proyecto demuestran esta asociación con los metales traza contaminantes tales como el Pb, Zn y Cu. El impacto antropogénico más significativo y reciente en la costa de rías lo constituye el vertido del petrolero Prestige, donde, junto con los metales traza, los niveles actuales de contaminantes orgánicos en sedimentos, en especial hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) e hidrocarburos alifáticos (AHCs) son el objetivo clave para valorar dicho impacto. De igual modo las elevadas concentraciones de azufre del vertido pueden modificar los procesos biogeoquímicos naturales, así como la distribución de las especies metálicas en los distintos compartimentos del sedimento, que pueden convertirse en una fuente potencial de contaminación para las zonas de pesca y marisqueo en el futuro. Se propone realizar un seguimiento y evaluación del impacto producido por el vertido del Prestige desde la zona del hundimiento a la zona litoral, incluyendo el parque Nacional Illas Atlánticas.</p> <p>Desde el punto de vista metodológico se cuenta con la amplia base de datos del Dpto. de Geociencias Marinas de la Universidad Vigo, en la que se incluyen también testigos de la zona del hundimiento recogidos con fondos de la Acción Estratégica de las actuaciones de I+D contra vertidos marinos accidentales, recientemente aprobada. Este planteamiento se basa tanto en un amplio conocimiento del funcionamiento de los medios de sedimentación por el grupo de investigación, como en el seguimiento de la evolución de los niveles históricos de referencia de la concentración de hidrocarburos en alguna de las rías que ofrece la base de datos. Finalmente la realización de modelos predictivos de la evolución de la contaminación a largo plazo establecerá las bases para el control y monitorización futuros de las zonas más afectadas.</p>	

## ANTECEDENTES E ESTADO ACTUAL DO TEMA

El reciente accidente del petrolero Prestige frente a las costas gallegas es un suceso relativamente frecuente en los anales de agresiones catastróficas al medio ambiente causados por derrames de hidrocarburos (Tabla 1). El Prestige causó el vertido inicial de 15.000 toneladas de fuel en superficie antes de su hundimiento y una fuga continuada de fuel desde el fondo de un total de 77000 toneladas. En la actualidad todavía siguen saliendo unas 2 toneladas/día de fuel-oil desde el pecio.

Según los análisis del CEDRE (Centro Francés de Documentación y Experimentación sobre la contaminación de las aguas) el vertido del Prestige es un fuel pesado (residuo de la destilación de los petróleos crudos). En la destilación se retiran distintas fracciones volátiles, 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. Estos estudios preliminares han puesto de manifiesto la naturaleza naften-aromática del producto vertido. En efecto, su composición elemental es: Carbono (86,8%), Hidrógeno (11,0%), Azufre (2,28%) y Nitrógeno (0,69%). El producto contiene, además, un 22% de hidrocarburos saturados, 50% de hidrocarburos aromáticos y un 28% de resinas y asfaltenos. Como elementos traza cabe destacar la presencia de Ni, V, Zn y en menor grado Cr.

Un producto petrolífero vertido al mar sufre una serie de procesos físicos (p.ej. disolución, evaporación 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. En cualquier caso, el petróleo es un producto orgánico natural que será reciclado, con mayor o menor rapidez, por procesos naturales. 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. La fracción de hidrocarburos aromáticos está constituida fundamentalmente por naftaleno, fenantrenos y sus derivados alquílicos, y la fracción de saturados por hidrocarburos lineales y cíclicos de distinta longitud de cadena. Estas fracciones son susceptibles de degradación biológica, tanto por organismos aeróbicos en aguas bien mezcladas y en capas superficiales de playas arenosas y rocosas, como por microorganismos anaerobios que eliminen estos compuestos en sedimentos y tras la precolación del fuel a capas más profundas de las arenas de las playas. En cambio la fracción de asfaltenos y resinas es, en general, resistente a la acción de los seres vivos. Sin embargo, esta fracción es susceptible de procesos de fotooxidación que dan lugar a hidrocarburos que si son asimilables por los seres vivos. No obstante la remediación por vía biológica, dada la magnitud del vertido, puede llevar bastante tiempo, en particular en las zonas con mayor grado de contaminación. Este proceso natural se puede acelerar si los lugares a ser tratados son fertilizados utilizando compuestos que liberen nitrógeno y fósforo que faciliten la biodegradación. No obstante los procesos de recuperación son lentos, por ejemplo en el caso del vertido del Amoco Cadiz, en Francia 1978 se calcula que la recuperación de los ambientes contaminados por residuos del vertido fue de más de 20 años. Otro ejemplo el del Torrey Canyon en el SW de Inglaterra en 1967, se calcula que la remediación tardó entre 2 y 10 años.

La gran superficie afectada por el vertido del fuel-oil, así como su persistencia en el tiempo, exige un planteamiento del trabajo que permita, inicialmente estimar la presencia del fuel-oil en los fondos sedimentarios marinos y a su vez poder caracterizar la contaminación producida en ellos. Los datos preliminares de hidrocarburos aromáticos en sedimentos superficiales obtenidos por el IEO-Vigo, ponen de evidencia la importancia del impacto (Figura 1). Es consecuentemente un objetivo primordial el evaluar y realizar un seguimiento de los niveles de contaminantes en el sedimento superficial, en función de las escalas temporales de variabilidad del margen costero y de cuenca oceánica. Así y con una densidad de muestreo adecuada, se trataría de reflejar tanto la variabilidad horizontal (distribución) como la vertical (tiempo) de la superficie afectada.

Existe un amplio número de datos plasmados en cartografías sedimentarias de las rías (textura, composición.....) así como de calidad ambiental y otros de tipo paleoceanográfico y de interpretación del registro sísmico de los sedimentos holocenos de las Rías Baixas y numerosos sectores de la plataforma continental. Todo ello permite conocer el funcionamiento de los medios de sedimentación de la costa de Galicia y su evolución en el tiempo, tanto en la zona litoral emergida e intermareal, como en la submareal.

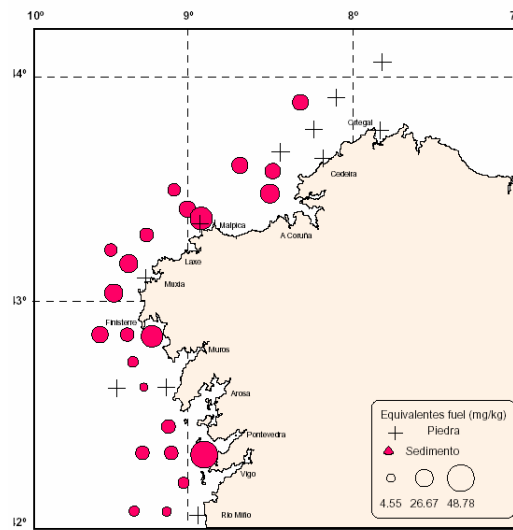
Trabajos previos (Rubio et al., 2000; Rubio et al., 2001 a,b) realizados por el grupo de investigación de Geología Marina de la Universidad de Vigo demuestran una asociación de las partículas sedimentarias más finas y la materia orgánica con los metales traza contaminantes tales como el Pb, Zn y Cu. En el caso que nos ocupa, junto con los metales traza, los niveles actuales de contaminantes orgánicos en sedimentos, en especial hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) e hidrocarburos alifáticos (AHCs), que frecuentemente se evalúan conjuntamente en sedimentos marinos contaminados (Migaszewski et al., 2002; Stark et al., 2003) son los objetivos a perseguir. Los AHCs derivan de modo natural de plantas terrestres y algas marinas, siendo los productos del petróleo la principal fuente antropogénica. Los PAHs tienen tres fuentes principales de origen: pirolítica (combustión de combustibles fósiles), petrogénica (vertidos de petróleo o fuel) y biogénica. Los PAHs deberían mostrar valores de fondo (background) comenzando a incrementarse con la revolución industrial y alcanzando máximos entre 1950 y 1960. Trabajos previos realizados en testigos de la Ría de Pontevedra (Pye et al. 1998 y Granier et al. 1998) demostraron niveles muy bajos de componentes alquilados y dibenzopirenos, poniendo de manifiesto la ausencia de la señal petrogénica en el pasado muy reciente (Figura 2). La única fuente detectable de los PAHs en ese momento correspondió a la señal del peryleno poniendo de manifiesto la incidencia de los incendios forestales en Galicia. En el presente proyecto se establecerá una comparación de los niveles de PAHs actuales con los niveles prácticamente naturales registrados en el pasado reciente en los sedimentos de la Ría de Pontevedra.

**Tabla 1.** Accidentes de petroleros que han tenido lugar en los últimos 25 años en nuestro entorno.

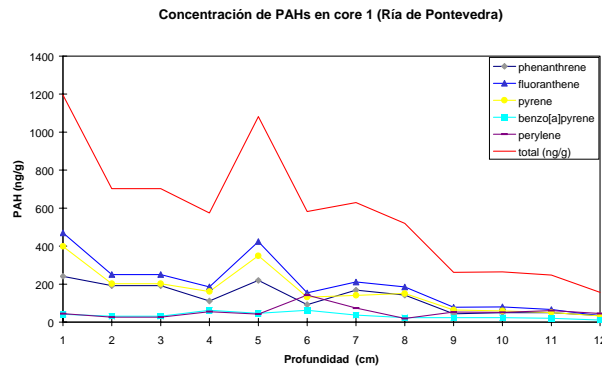
Buque	Año	Lugar	Derrame (Tn)
Urquiola	1976	A Coruña, España	100.000
Amoco Cadiz	1978	Bretaña, Francia	223.000
Sea Spirit	1990	Gibraltar	12.200 *
Haven	1991	Genova, Italia	144.000
Aegean Sea	1992	A Coruña, España	15.000 *
Erika	1999	Bretaña, Francia	10.000 *

\* petróleo derramado

**Fig 1.** Hidrocarburos aromáticos en sedimentos superficiales. Tomado de Campaña Prestige 1202 Instituto Español de Oceanografía.



**Fig. 2.** Concentración de PAHs en un testigo de la parte interna de la Ría de Pontevedra (modificado de Pye et al., 1998)



De igual modo las elevadas concentraciones de azufre del vertido pueden modificar los procesos biogeoquímicos naturales, así como las especies metálicas y su distribución en los distintos compartimentos del sedimento. La presencia y detección de escapes de gas en ambientes internos de ría (García-García et al., 1999; García-Gil et al, 1999) son prueba evidente de la intensidad en los procesos biogeoquímicos de degradación de la materia orgánica en las rías. Como ejemplo bien conocido, en las primeras etapas de degradación de la materia orgánica el primer oxidante que se consume es el oxígeno (Gaillard et al., 1989) lo que puede conducir a situación de anoxia con las consecuentes implicaciones que ello pueda tener. En concreto, las elevadas concentraciones de S pueden afectar a todos los procesos biogeoquímicos, e incluso influir en el modo en que los metales traza se ligan al sedimento, al modificar Eh y pH. Es por ello de gran interés determinar la fracción o fracciones del sedimento a que éstos están ligados mediante técnicas de extracción secuencial y determinación de propiedades magnéticas con la finalidad de conocer el destino de estos contaminantes y /o su biodisponibilidad. La primera de estas técnicas ha dado resultados muy satisfactorios en la llanura intermareal de la bahía de San Simón (Álvarez-Iglesias et al., 2000; 2003). Las técnicas de magnetismo ambiental se reconocen a nivel mundial como ideales en la detección de la contaminación por su rapidez y eficacia frente a las técnicas geoquímicas convencionales. Su aplicación a los sedimentos de las rías baixas hasta la fecha ha sido muy válida tanto para la caracterización de la contaminación como para la evidencia de cambios diagenéticos en el sedimento (Rey et al. 2001; Rey et al. 2003; Rubio et al. 2001).

La presencia de fuel sobre el sedimento además de los efectos tóxicos, tiene un impacto sobre la capacidad de difusión de gases en la interfase sedimento-agua. La posible anoxia producida en el sedimento afectará a la comunidad microbiana presente en el sedimento y a la infauna. Así se prevee una degradación de la calidad del sedimento, con acúmulo de fitotoxinas (e.g. sulfídrico). Esta posible anoxia y sus efectos determinarán cambios en la capacidad de mineralización y suspensión de elementos en el sedimento y por tanto afectarán a los ciclos biogeoquímicos.

Finalmente la participación por parte de varios de los investigadores de este proyecto en la Acción Especial del Ministerio de "Identificación de riesgos geoambientales potenciales y su valoración en la zona de hundimiento del buque Prestige", recientemente aprobada nos proporcionará un fondo de muestras de la zona del pecio, que nos permitirán valorar también la incidencia de la presencia del fuel-oil sobre los procesos biogeoquímicos en esta área. En concreto se dispondrá de al menos 6 testigos de unos 4 m de longitud en la zona del pecio y 1 testigo fuera del área. Se correlacionarán los datos obtenidos previamente de la acción especial tal como propiedades geotécnicas con los datos a obtener en este proyecto de investigación. Ello contribuye también a la optimización de recursos planteada ya previamente con la base de muestras y datos del grupo de Geología Marina de la Universidad de Vigo.

## BIBLIOGRAFÍA MÁIS RELEVANTE (Comentada)

Bibliografía citada y comentada ya en el apartado antecedentes y estado actual del tema:

- Álvarez-Iglesias, P., Rubio, B. y Vilas, F. (2000). Especiación de plomo en sedimentos y niveles de concentración en organismos de la zona intermareal de la ensenada de San Simón (Ría de Vigo, NO España). *Thalassas*, 16: 81-94
- Álvarez-Iglesias, P., Rubio, B. y Vilas, F. (2003). Pollution in intertidal sediments of San Simón Bay (inner Ría de Vigo, NW Spain): total heavy metal concentration and their speciation. *Marine Pollution Bulletin* (en prensa)
- Gaillard, J.F., Pauwells, H., Michard, G. (1989) Chemical diagenesis in coastal marine sediments. *Ocean Acta*, 12: 175-187.
- García-García, A., García-Gil, S., Vilas, F. (1999). A Seeping Seafloor in a Ría environment: Ría de Vigo (NW Spain). *Environmental Geology*, 38 (4): 296-300.
- García-Gil, S., García-García, A., Vilas, F. (1999). Identificación sísmico-acústica de las diferentes formas de aparición de gas en los sedimentos de la ría de Vigo (NO España). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12(2): 301-307.
- Granier, L. K., Rubio, B., Pye, K. (1998). Diagenetic evolution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in estuarine sediment cores. 8th Annual Meeting of SETAC-Europe, p. 15.
- Migaszewski Z.M., Galuszka A., Paslawski P. (2002). Polynuclear aromatic hydrocarbons, phenols, and trace metals in selected soil profiles and plant bioindicators in the Holy Cross Mountains, south-central Poland. *Environ.Int.* 28: 303-313
- Pye, K., Rubio, B., Granier, L., Nombela, M. A., McGenity, T., Rey, D., Pazos, O., Rae, J. E., Vilas, F. (1998). Sedimentological and diagenetic controls on the distribution of contaminants in the Ría de Pontevedra, NW Spain. 15th International Sedimentological Congress, p. 642.
- Rey, D., Rubio, B., Mohamed, K.J., Bernabeu, A.M., Vilas, (2003). Early Diagenesis of magnetic minerals in marine transitional environments: Hydrodynamical magnetic and geochemical signals. *Marine Geology* (en prensa).
- Rubio, B., Nombela, M. A., Vilas, F. (2000). Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ría de Vigo (NW Spain): An assessment of metal pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 40 (11): 968-980.
- Rubio, B., Nombela, M. A., Vilas, F. (2001a): A critical evaluation of the use of cluster analysis to identify contaminated sediments in the Ría de Vigo (NW Spain). *Ciencias Marinas*, 27 (2): 175-208.
- Rubio, B., Pye, K., Rae, J. E., Rey, D. (2001b). Sedimentological characteristics, heavy metal distribution and magnetic properties in subtidal sediments, Ría de Pontevedra, NW Spain. *Sedimentology*, 48: 1277-1296.
- Stark J S, Snape I, Riddle M J (2003). The effects of petroleum hydrocarbon and heavy metal contamination of marine sediments on recruitment of Antarctic soft-sediment assemblages: a field experimental investigation. *J Exp Mar Biol Ecol* 283 (1-2): 21-50.

A continuación se muestran un conjunto de referencias que versan sobre el estudio del destino de los productos del petróleo en sedimentos, relacionados con vertidos antropogénicos. Se han seleccionado tan sólo alguno de los trabajos más actuales, cabe destacar que en la última década existen aproximadamente 600 publicaciones sobre este tema, de las cuales la revista *Marine Pollution Bulletin* se identifica como la de más alta especialización en el tema. Los trabajos aquí citados hacen hincapié en la determinación e interpretación de los análisis de los hidrocarburos aromáticos y alifáticos. Algunos de ellos hacen referencia a la evaluación del efecto del tiempo para cuantificar la contaminación, mientras que otros corresponden a la puesta a punto de métodos para determinar contaminantes en sedimentos.

- Barakat A.O., Mostafa A.R., Qian Y.R., et al. (2002). Application of petroleum hydrocarbon chemical fingerprinting in oil spill investigations - Gulf of Suez, Egypt. *Spill Sci Technol B* 7 (5-6): 229-239.
- Baran S, Oleszczuk P (2002). Chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in sewage sludge, soil, and sewage sludge-amended soils *Pol J Environ Stud* 11 (6): 609-615.
- Beg M.U., Saeed T, Al-Muzaini S, et al. (2003) Distribution of petroleum hydrocarbon in sediment from coastal area receiving industrial effluents in Kuwait. *Ecotox Environ Safe* 54 (1): 47-55.
- Dachs, J.; Bayona, J. M.; Fowler, S. W.; Miquel, J. C.; Albaiges, J. (1996). Vertical fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine compounds in the western Alboran Sea (southwestern Mediterranean). *Marine-Chemistry*, 52(1), pp 75-86.
- DeFoe D.L., Ankley G.T. (2003). Evaluation of time-to-effects as a basis for quantifying the toxicity of contaminated sediments. *Chemosphere* 51 (1): 1-5
- Geffard O, Budzinski H, His E (2002) The effects of elutriates from PAH and heavy metal polluted sediments on *Crassostrea gigas* (Thunberg) embryogenesis, larval growth and bio-accumulation by the larvae of pollutants from sedimentary origin. *ECOTOXICOLOGY* 11 (6): 403-416.
- King AJ, Readman JW, Zhou JL (2003). The application of solid-phase micro-extraction (SPME) to the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Environ Geochem Hlth* 25 (1): 69-75
- Pastor D.; Sanchez J.; Porte C.; Albaiges J. (2001). The Aegean Sea oil spill in the Galicia coast (NW Spain). I. Distribution and fate of the crude oil and combustion products in subtidal sediments. *Mar. Pollut. Bull.*, 42(10): 895-904
- Rothermich MM, Hayes LA, Lovley DR (2002). Anaerobic, sulfate-dependent degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in petroleum-contaminated harbor sediment. *Environ Sci Technol* 36 (22): 4811-4817
- Tolosa, I., Bayona, J.M., Albaiges, J. (1996). Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons and sulfur/oxygen derivatives in northwestern Mediterranean sediments: spatial and temporal variability, fluxes, and budgets. *Environmental-Science-and-Technology* 30(8), pp 2495-2503.
- Tolosa, I.; Bayona, J.M.; Albaiges, J. (1995). Spatial and temporal distribution, fluxes, and budgets of organochlorinated compounds in northwest Mediterranean sediments. *Environmental-Science-and-Technology*, 29(10), pp 2519-2527.
- Tsapakis M, Stephanou EG, Karakassis L (2003). Evaluation of atmospheric transport as a nonpoint source of polycyclic aromatic hydrocarbons in marine sediments of the Eastern Mediterranean. *Marine Chemistry* 80 (4): 283-298

## OBJETIVOS CONCRETOS E INTERESE DOS MESMOS

E

Los objetivos principales se centran en:

1) Estimación del impacto ambiental en zonas afectadas por el vertido del fuel-oil, en particular en: \*fondos sedimentarios de ría, \*la plataforma continental proximal, \*zona del hundimiento y \*áreas emergidas, incluyendo el parque Nacional de las Illas Atlánticas.

Esto conllevaría los siguientes apartados:

- a) Caracterización de la calidad analítica del sedimento: composición, textura, estructura, mineralogía, etc.
- b) Determinación del grado y extensión de la contaminación por fuel-oil en el sedimento: Distribución geográfica y vertical del fuel en el sedimento.
- c) Determinación de contaminantes orgánicos e inorgánicos específicos, en particular PAHs, AHCs y elementos traza con especial énfasis en V, Ni, Zn y Cr.
- d) Desarrollo de indicadores magnéticos para la detección rápida y de bajo coste de la contaminación.

2) Incidencia en la evolución diagenética natural y su potencial alteración por la presencia y difusión del fuel en la columna sedimentaria. Modelización de los procesos geoquímicos, tanto de su evolución vertical (tiempo) y variabilidad horizontal (distribución), que permita interpretar su evolución post-sedimentaria, para evaluar las tendencias a medio y largo plazo.

3) Modelizar el comportamiento morfodinámico de las zonas intermareales afectadas por el vertido del Prestige estimando profundidad de enterramiento del fuel-oil y desarrollando una herramienta predictiva para valorar la probabilidad de exhumación.

4) Integración de los datos sedimentológicos, sísmicos, hidrodinámicos y geoquímicos que permitirá la realización de modelos predictivos de evolución de la contaminación.

## APLICABILIDADE E UTILIDADE PRACTICA DOS RESULTADOS PREVISTOS

F

\*\* Determinación del alcance espacio-temporal de la contaminación de fuel-oil del vertido del Prestige en fondos de rías, plataforma proximal adyacente, zona del hundimiento del buque Prestige y áreas emergidas. Esto conlleva la evaluación de la localización, extensión e intensidad del impacto y por tanto tendrá utilidad para facilitar las tareas de los efectivos de lucha contra la contaminación. Esto tendrá especial interés en las zonas arenosas intermareales por el desarrollo del modelo predictivo de exhumación del fuel-oil. Concretamente el análisis de la difusión del fuel enterrado junto con la determinación del espesor de enterramiento permite acotar zonas favorables para el marisqueo a pie.

\*\* Incidencia de la presencia del fuel-oil en los procesos biogeoquímicos naturales, que puede dar lugar a que sean una fuente potencial de contaminación futura para las zonas de interés pesquero y marisqueo.

\*\* Realización de modelos predictivos de evolución de la contaminación a largo plazo, que establece las bases para un control y monitorización futura de las zonas más afectadas.

## METODOLOGÍA, HIPÓTESE E PLAN DE TRABAJO

## 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 material sedimentario y técnicas analíticas específicamente indicadoras de la contaminación (XRF, ICP-MS, LECO, SEM, k, etc), además de la determinación de hidrocarburos (PAHs y AHCs).
- 4.-Modelización de las condiciones hidrodinámicas para valorar la movilización y dispersión del fuel-oil.

## Hipótesis de trabajo:

- 1) El fuel vertido a la columna de agua se difunde y mezcla con el material en suspensión alterando sus propiedades físicas y químicas, en especial la densidad se ve incrementada con lo que su destino último son los sedimentos.
- 2) El fuel presente en los sedimentos sufre procesos de degradación y transformación físico-química mediada por bacterias, reaccionando con los minerales que constituyen el sedimento, alterando y modificando por tanto los procesos biogeoquímicos naturales. Este aspecto es de gran relevancia en zonas de alta productividad biológica y de importancia económica.
- 3) Es posible predecir y / o modelizar los procesos mencionados desde un punto de vista biogeoquímico e hidrodinámico para poder llevar a cabo una actuación racional sobre las zonas impactadas.

## Plan de trabajo:

Una primera fase plantea la organización y evaluación de las bases de datos, los archivos de muestras de las zonas afectadas y fondos bibliográficos disponibles.

En segundo lugar se establecerán y delimitarán las zonas de trabajo y el diseño de las campañas de toma de muestras de sedimentos en los fondos de las Rías Baixas, la plataforma continental proximal adyacente, y áreas emergidas de interés. Es de destacar que se cuenta con 6 testigos de la zona del hundimiento para el estudio de los procesos biogeoquímicos. 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, desde la zona costera más interna hasta la plataforma proximal. Para ello será de gran ayuda el mapa previo del IEO-Vigo (Figura 1), así como la estrategia del muestreo a seguir para llegar a una aproximación lo más ajustada posible al problema planteado. 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 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.

Una tercera fase está constituida por la realización de las campañas de muestreo geológico, sísmico e hidrodinámico y de la delimitación de las zonas de trabajo. Los muestreos geológicos tienen por objeto obtener muestras superficiales y testigos: Las primeras debido a que es donde tiende a acumularse una alta concentración de fuel-oil. Los testigos tienen por objetivo estimar la distribución temporal del fuel-oil y obtener niveles de fondo (naturales) como referencia que permitan la caracterización y el grado de contaminación existente.

Una cuarta fase, comprendería los trabajos de laboratorio que tienen por objetivo cuantificar la concentración total de fuel-oil y la influencia del mismo sobre las propiedades físicas y composicionales del sedimento. En primer lugar se obtendrá un registro de la composición elemental (XRF) y otras propiedades magnéticas tal como la susceptibilidad magnética, que permita ver la incidencia del vertido. Esta última técnica permite valorar la incidencia de la contaminación de una forma muy rápida y eficaz y no destructiva.

En una quinta fase y una vez establecidas las zonas principales de los testigos, se procederá a la obtención de muestras discretas sobre los niveles de interés determinándose con total precisión y en más detalle las propiedades físicas y la composición de las muestras, valorando especialmente los niveles de contaminación orgánica (PAHs y AHCs) y de metales pesados como el V, Cr, Ni, Zn, etc. En aquellas muestras en las que las concentraciones superen los valores de fondo naturales para la zona se procederá a determinar la fracción o fracciones del sedimento a que están ligadas mediante técnicas de extracción secuencial con la finalidad de valorar su biodisponibilidad. En función de los resultados, se plantea la realización de una serie de dataciones como por ejemplo con  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{60}\text{Co}$ , polen, etc. con el objeto de estimar las tasas de sedimentación en las zonas estudiadas y el alcance temporal de la contaminación.

Una última fase, comprendería la etapa de modelización que se basa en la definición de facies sedimentarias, sus asociaciones y distribución. Lleva consigo la modelización de los procesos geoquímicos, tanto de su evolución vertical (tiempo) y variabilidad horizontal (distribución), como la modelización hidrodinámica sobre datos reales, con la consecuente importancia en la determinación de los procesos de transporte, la integración de datos sedimentológicos, sísmicos, hidrodinámicos y geoquímicos permitirá la realización de modelos predictivos de evolución de la contaminación a largo plazo.