

## Los modelos de predicción de vertidos de crudos

### Seguimiento de las primeras manchas del Prestige

RAM



El petrolero Prestige provocó una marea negra en las costas gallegas al hundirse en el mes de noviembre del 2002 frente a sus costas

### Introducción

Hemos estado viviendo (y algunos padeciendo en sus propias "carnes") estos días la tragedia que ha afectado de lleno a las costas gallegas como consecuencia del vertido del crudo que transportaba el barco Prestige. A primeros de diciembre la marea negra llegaba también a las costas del cantábrico y portuguesas, con menor intensidad que en la gallega.

Desgraciadamente, y frente a acontecimientos de este calibre, han empezado a surgir informaciones contradictorias y mal enfocadas sobre el desplazamiento de las manchas y su relación con el viento reinante. Frases tan simples como "el viento traerá las manchas de crudo a las costas de la Muerte" o "la mancha principal se encuentra a 50 millas de la costa y desplazándose con vientos de hasta 80 km/h, hará que pronto la nueva marea negra afectará a la maltrecha costa gallega".

La suposición básica de estas informaciones radica, o al menos así se transmitía al público, que los vientos reinantes en la zona son los últimos responsables del desplazamiento del crudo vertido. Esta información es parcialmente cierta y nace de una falta de entendimiento de lo que acontece, simplificando la realidad hasta límites significativos. De hecho, al observar las imágenes de satélites del vertido del crudo se observa rápidamente que las estructuras de las diferentes manchas son mucho más complejas y son consecuencia, directa e indirecta, de muchos factores, no solo del viento reinante en superficie. Las corrientes marinas de la zona, el mar de fondo, el propio viento, el tipo y la densidad del crudo vertido, la temperatura del mar e incluso su salinidad son parámetros que conforman la forma del vertido, su evolución, desplazamiento, su división en manchas menores, deposición, etc.

Mientras que las observaciones directas (activas o pasivas) realizadas desde satélites polares de baja altura, aviones, helicópteros, barcos, etc.. nos permiten analizar y diagnosticar las propiedades de la mancha, su predicción y evolución a varias horas o días vista es un problema muy complejo donde uno de los factores es el viento reinante en superficie.

La modelización numérica de los diferentes procesos que controlan la evolución y la dinámica de las manchas de crudo ha sido una de las ramas que más han evolucionado en estos últimos años como consecuencia del número elevado de vertidos que se han dado en las cercanías de los países industrializados y en zonas de elevado interés económico y ecológico.

Analizaremos en este trabajo algunos puntos de especial interés en el tema de los vertidos incontrolados o accidentales.

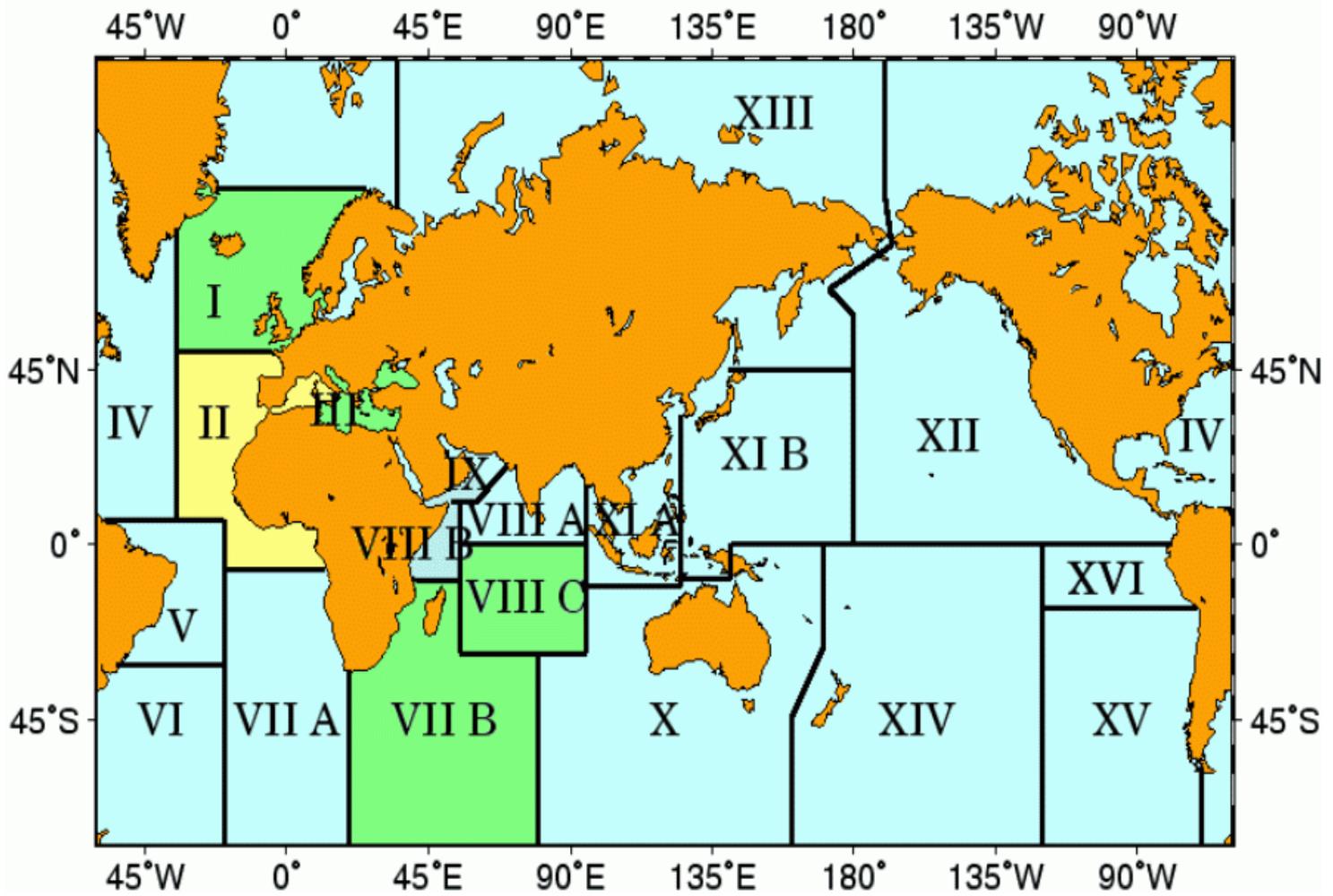
### **Convenio internacional meteorológico sobre el seguimiento y la predicción de vertidos: el programa MPERSS y las METAREAS**

La predicción sobre la evolución de vertidos de crudo y de contenedores en zonas de gran tránsito de barcos se ha convertido en una prioridad importante entre los países que, con costas y zonas de tránsito, están sometidos a estas problemáticas. La información analizada y prevista meteo - oceánicas sobre esta fenomenología es una realidad desde hace unos años. Normalmente, esta actividad se realiza en dos niveles:

- Nivel local o nacional. Los servicios meteorológicos nacionales suministran partes e informaciones a las autoridades competentes en la zona marítima costero litoral.
- Nivel internacional. Se suministra información para acontecimientos que acontezcan en aguas internacionales o nacionales, a requerimiento. Esta última información sirve de base para la toma de decisiones a nivel local o nacional.

En este sentido la *OMM* (Organización Meteorológica Mundial) estableció en 1994 **el Sistema de Soporte y Respuesta de Emergencias Marítimas de Polución (MPERSS)**. Su función principal es la de suministrar información y predicciones del tiempo y oceanográficas, cuando fuera necesario y a requerimiento, en situaciones de vertidos de crudo y fuera de las aguas marítimas territoriales de un país dado. Los océanos y mares se dividieron en áreas de responsabilidad, llamadas **METAREAS**. *En cada una de estas zonas la asistencia meteo-oceánica es llevada a cabo por un coordinador de meteorológico, que suele ser un servicio meteorológico nacional.*

Ver figura adjunta para la división de las zonas marítimas mundiales en METAREAS.



Áreas MPERSS. Las áreas marítimas próximas a España, la II y III-W, oeste, son coordinadas por Meteo-France

**Meteo-France** es el responsable meteorológico para las áreas METAREAS II y III oeste, y puede suministrar información complementaria a las áreas METAREAS II, III este, VII B y VII C.

Por lo tanto, las zonas marítimas internacionales próximas a España están dentro de las zonas anteriormente mencionadas por lo que es el servicio meteorológico francés, Meteo-France, el organismo responsable y encargado de suministrar el apoyo meteorológico que se requiera y a petición, activado su modelo operativo de análisis y predicción de vertidos de crudos.

### Tipo de vertido, su modelización: el caso del Prestige

Ni que decir tiene que para que estos modelos especiales de predicción funcionen debe existir un paquete informático que modelice el tipo, evolución, evaporación de componente, etc.. del crudo vertido. Este interactúa con el medio donde flota (en la superficie o dentro del agua) y con la atmósfera (evaporación de gases volátiles).

Si nos centramos en el crudo del Prestige, y según Michel Girin, Director del centro CEDRE (Centro de Documentación, Investigación y Experimentación sobre la Polución del Agua), el crudo vertido al océano por el Prestige tiene menos proporción de hidrocarburos aromáticos que el que contenía, por ejemplo el Erika. Estos hidrocarburos tienen cierto grado de volatilidad y pueden pasar a la cadena alimenticia. La toxicidad de estas sustancias, respecto al personal que limpia y retira los vertidos en la playa, es otro elemento a tener en cuenta.

Análisis realizado por el Seprona de la Guardia Civil española ha revelado que las primeras muestras analizadas no llevan la presencia de compuestos cancerígenos ni de policlorobencenos. Se han detectado altos contenidos de sodio, así como de azufre e hidrocarburos aromáticos.

Estos modelos de vertido pueden simular, a grandes rasgos y como se indico anteriormente, diferentes tipos de manchas: petróleo, crudo pesado o ligero, keroseno, gasoil,.. Además, son capaces de manejar evoluciones, deposiciones, evaporaciones de sus componentes, etc..

### Fundamentos del modelo de vertidos meteo – oceánico: el modelo MOTHY de Meteo-France

Vamos a describir brevemente el modelo de predicción MOTHY, que Meteo-France activa cuando ocurre acontecimientos como los del Prestige.

El modelo se activa a petición de cualquier organismo oficial que así lo solicite. Este servicio funciona las 24 horas del día durante todo el año. Las predicciones se pueden hacer hasta a cinco días vista y sólo lleva unos minutos su ejecución. Las salidas que da el MOTHY son predicciones de la deriva del derrame de crudo (o contenedores, si fuera el caso).

Para su correcto funcionamiento, el modelo utiliza información de varios subsistemas, o módulos, con datos que provienen de otros modelos y de los tomados in situ donde se encuentra la mancha. Así, los datos de viento provienen del modelo meteorológico francés (ARPEGE) y/o del modelo del Centro Europeo (ECMWF). El predictor francés puede seleccionar con que modelo se ejecutará el MOTHY. Los datos de corrientes marinas provienen de un modelo oceánico de área limitada. Ver diagrama adjunto, donde se especifican los diferentes módulos del modelo operativo de vertidos.

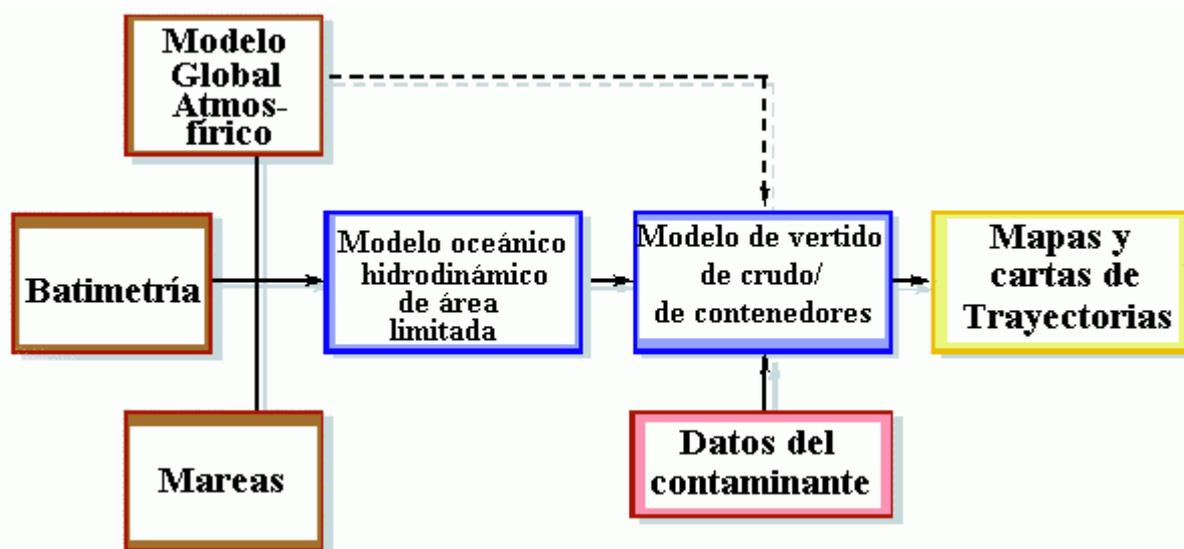


Diagrama de flujo del modelo MOTHY. Fuente Meteo-France/CEDRE

Como podemos ver, el modelo no solo necesita información sobre el tiempo reinante en la zona sino que utiliza otro tipo de información para realizar las predicciones.

En este sentido, se necesitan datos sobre las mareas y corrientes marinas, densidad y temperatura del agua marina, etc. Otra fuente de información, que debe ser modelizada, es el tipo de crudo vertido realizado. El MOTHY utiliza los datos del tipo de crudo derramado, extensión de la marea, profundidad, viscosidad, densidad, ... Estos datos son tomados *in situ*, normalmente por organismos oficiales y con procedimientos normalizados por la OMM. Los datos se ingestan en módulo específico. En él se tienen en cuenta la posible expansión, evaporación, disolución, ... del crudo manejado.

Las salidas de los modelos nos dan la evolución del contaminante previsto. En el sistema se modeliza la evolución de la densidad del contaminante, al estar inmerso en agua, su viscosidad, su posible llegada a las costas, etc. La flotabilidad de las manchas depende de su tamaño y espesor. Las manchas grandes tienden a quedar en la superficie mientras que las pequeñas tienden a descender al fondo marino. Cuando el crudo modelizado llega a la zona terrestre litoral, éste es eliminado por el modelo.

El movimiento de los trazadores del crudo está influenciado por diversos parámetros, entre los que cabe destacar: la velocidad de las corrientes marinas del modelo oceánico hidrodinámico, la velocidad del viento en superficie, la velocidad de esparcimiento del módulo de crudo y por una velocidad aleatoria.

Las salidas generadas por el modelo del organismo coordinador oficial (Meteo-France) son enviadas a los organismos y entidades que la solicitaron.

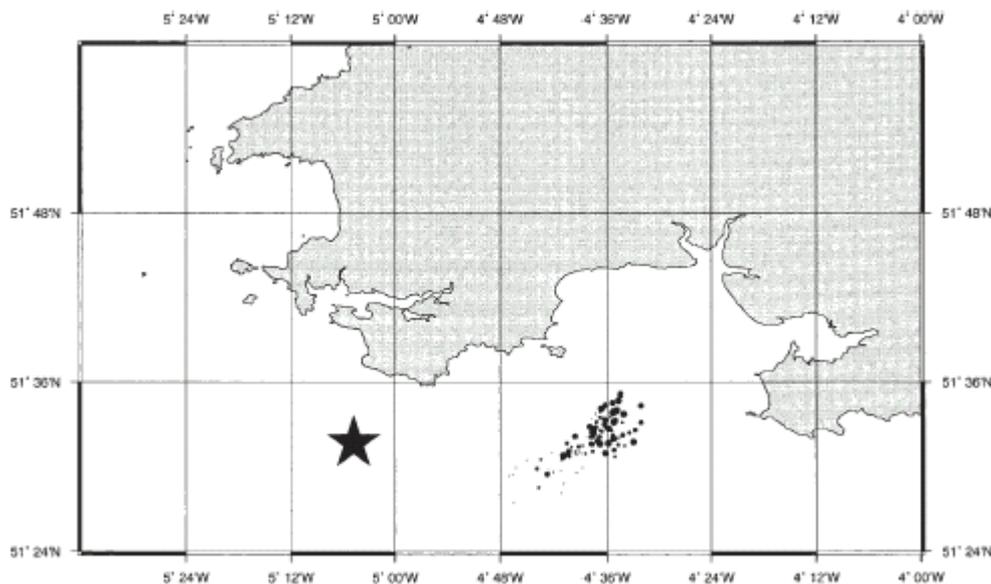
Además del modelo de vertido francés existen otros en otros tantos países. El servicio meteorológico inglés, la Met.Office y responsable de otras áreas marítimas, posee el suyo propio.

Hay que hacer notar que estos modelos no se corren operativamente todos los días y aunque se verifica la habilidad, destreza y capacidad de predicción de evolución de vertidos, no es menos cierto que sus salidas deben utilizarse con sumo cuidado y siempre conociendo sus limitaciones. **Son los técnicos en la materia los que deben evaluar las salidas objetivas de estos modelos.**

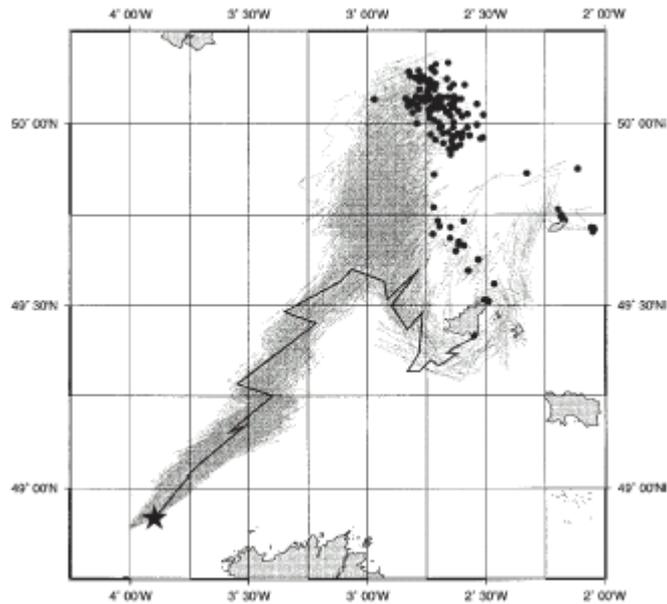
### Algunas salidas numéricas: Caso del vertido del Prestige

Estos modelos pueden proporcionar varios tipos de salidas. Se parte de un vertido observado formado por una o varias manchas independientes. Los desplazamientos previstos de las manchas son también independientes unas de otras, ya que cada una de ellas depende de los parámetros y variables comentadas con anterioridad. Estos factores intrínsecos a cada mancha están relacionados con su viscosidad, tiempo que ha permanecido en superficie, de su densidad, volatilidad, tipo de crudo, etc. Medidas de barcos, aviones y de satélites permiten suministrar las condiciones de partida para el modelo, seguimiento, evaluación y fiabilidad de las salidas previstas.

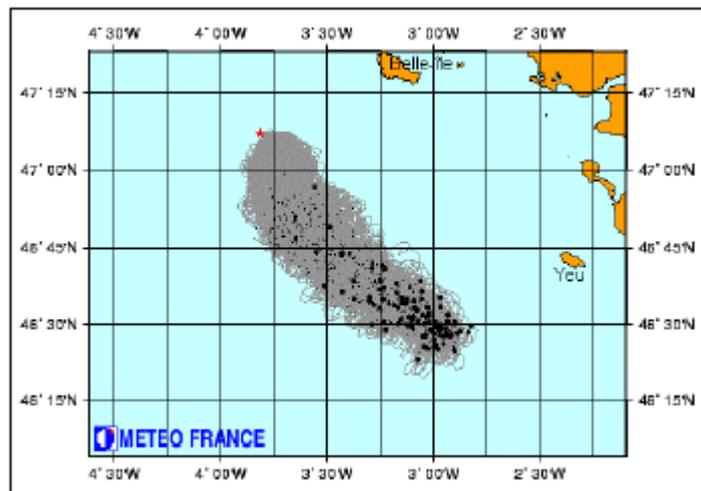
En este sentido el organismo español encargado de proporcionar ciertos datos del vertido fue *SASEMAR* (Sociedad del Salvamento y Seguridad Marítima, dependiente del Ministerio de Fomento). Estos datos, más los tomados por barcos específicos franceses, son los que sirven para inicializar al modelo. Las predicciones del *MOTHY* son de varios tipos. Veámoslas, con algunos ejemplos, pasados y los asociados al Prestige.



**Predicción a 16 horas del accidente del Sea Empress. La estrella indica la posición del vertido, el tamaño de las manchas está relacionado con su profundidad: a mayor tamaño, más próxima a la superficie. (Daniel, 1997)**



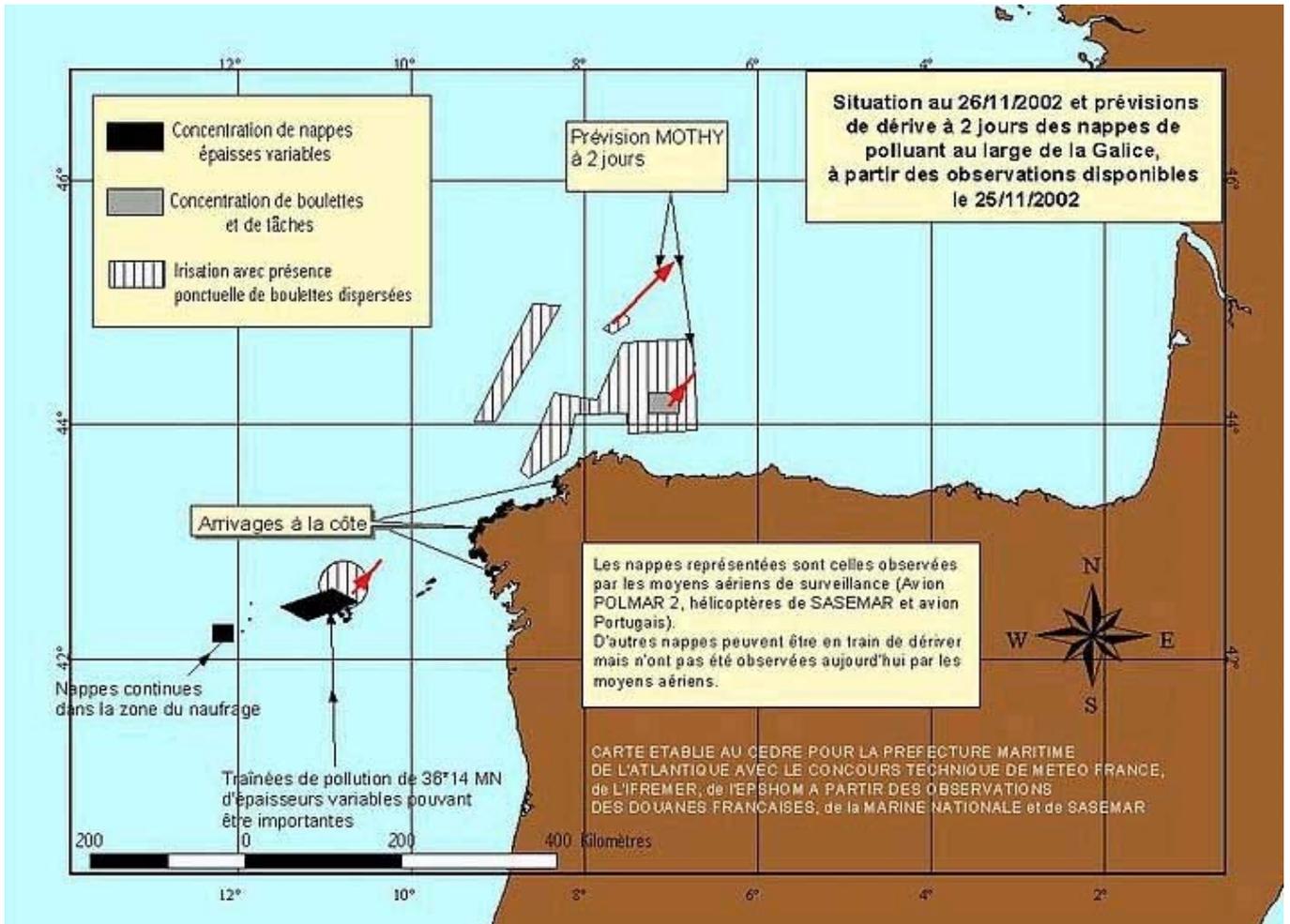
Trayectorias previstas para las manchas (en gris) y de una boya marina (línea oscura) durante el vertido del Antipol (del 3-17 de Octubre de 1995). La estrella indica la posición de la mancha y de la boya. Los puntos oscuros indican la posición final de las manchas. (Daniel, 1997).



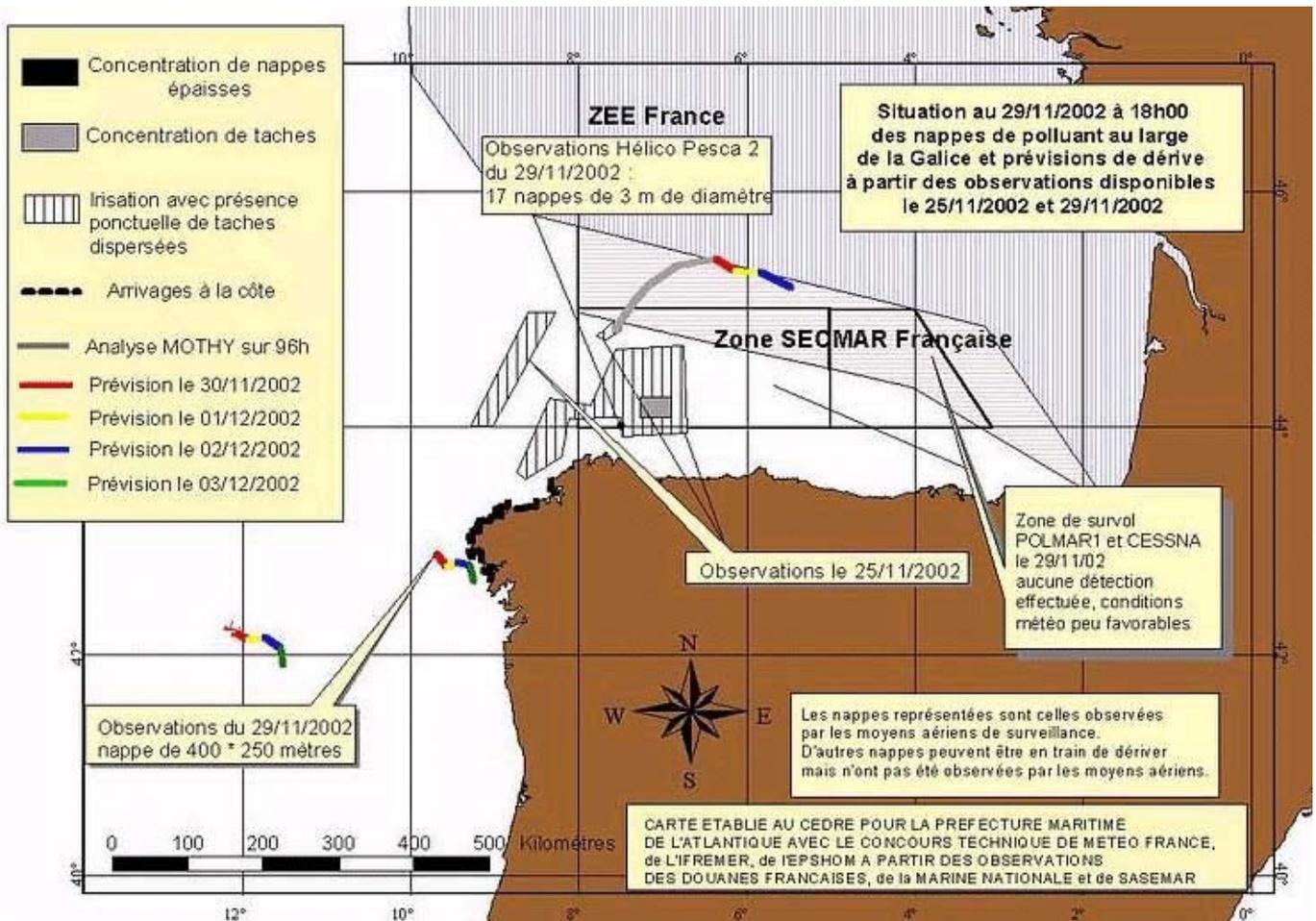
Predicción a 10 días (escenario más probable) del vertido observado el 13 de diciembre del 1999 a la 16 UTC del Erika. Una estrella en rojo indica la posición del vertido. Los puntos oscuros indican la posición final de las manchas modeladas por MOTHY. Las trayectorias previstas están en gris. (Daniel et al, 2001)

### Salidas numéricas para el caso del Prestige

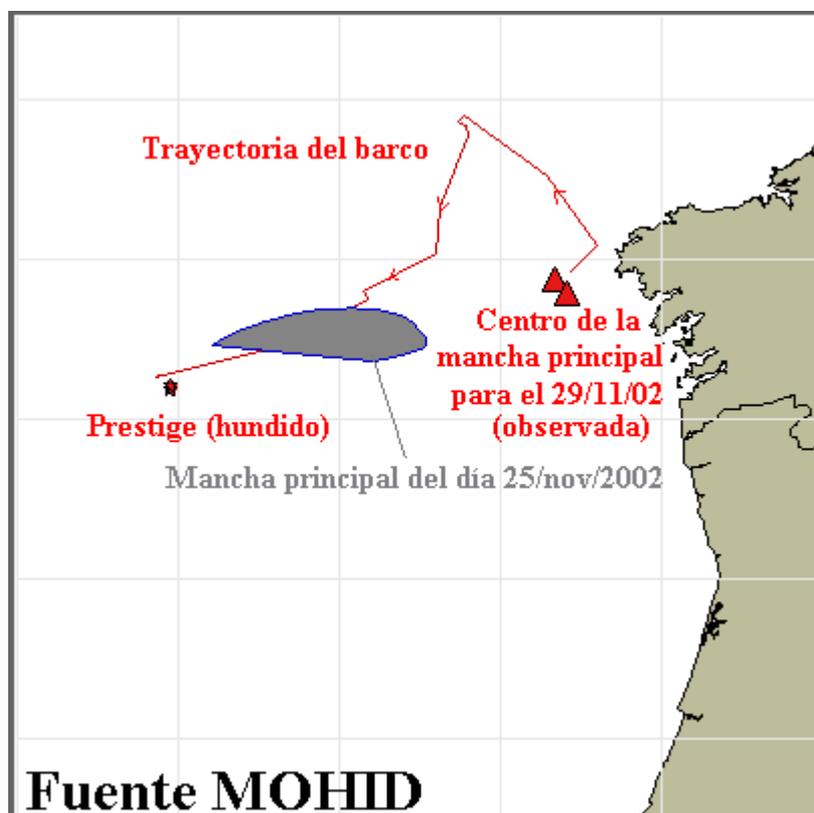
Mostraremos algunas salidas del modelo MOTHY de Meteo-France tomadas de la pagina web del CEDRE. También mostraremos las salidas del modelo portugués equivalente al francés, el MOHID.



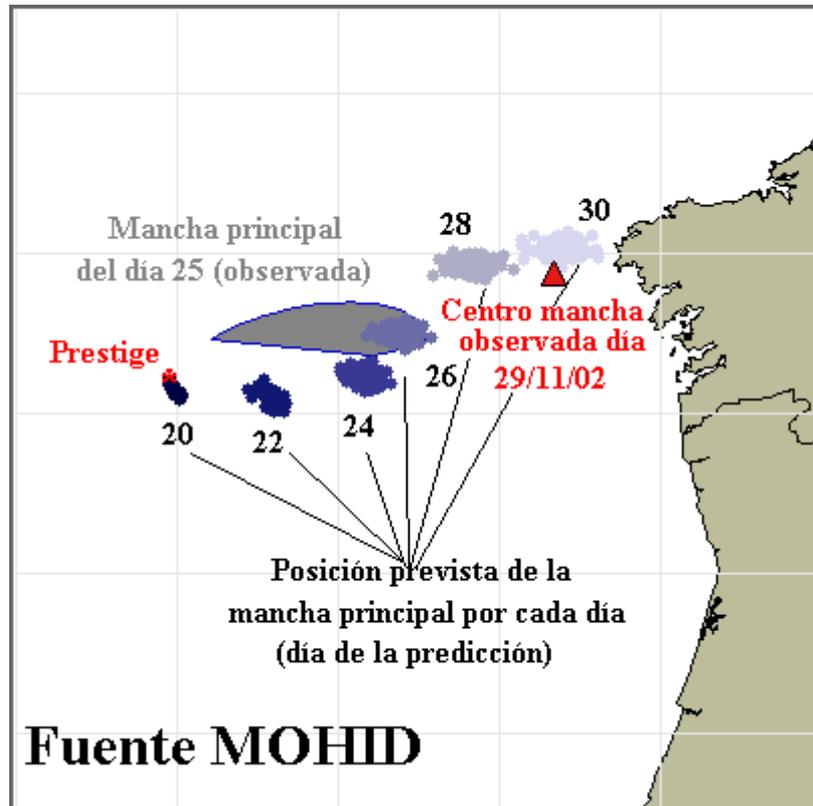
Mapa generado con las observaciones del día 25/11/02, para el día 26 /11/02. La concentración de las manchas viene marcada por la leyenda superior izquierda: negro, manchas muy concentradas, gris, concertaciones medias, rallado vertical indica presencia de manchas superficiales iridiscentes de menor concentración de crudo. Trayectorias previstas en rojo. Fuente, página del CEDRE.



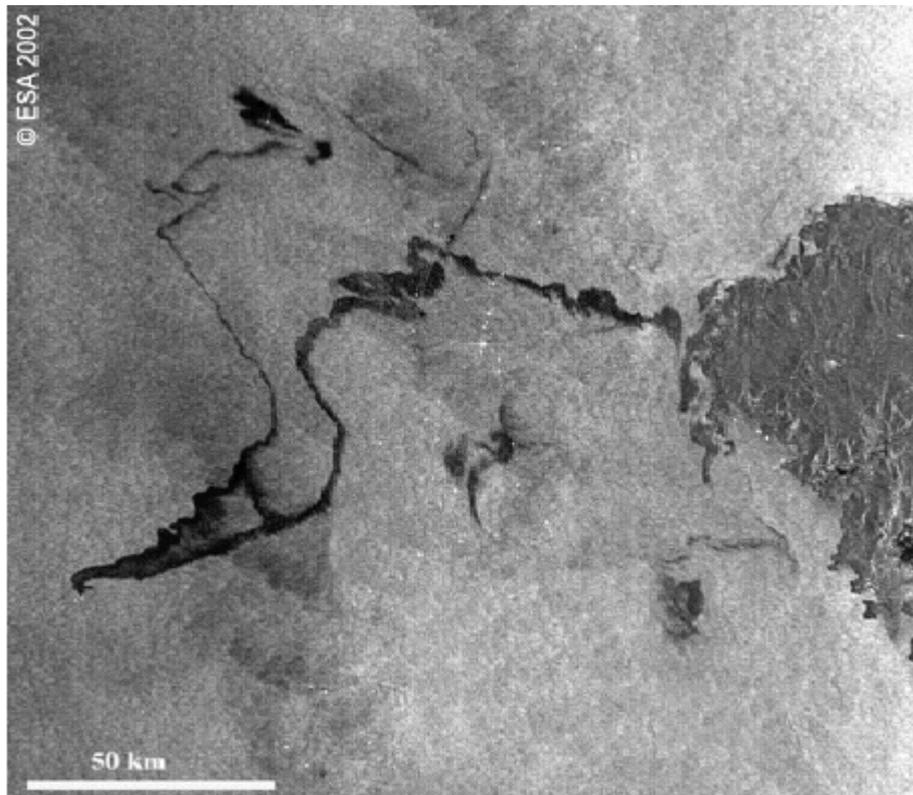
Idem que el caso anterior pero para observaciones y predicciones a diferentes días, según la posible trayectoria de las manchas en código de colores adjuntos. Fuente, página del CEDRE.  
La costa gallega, especialmente la coruñesa, está afectada por la llegada de las primeras oleadas de crudo.



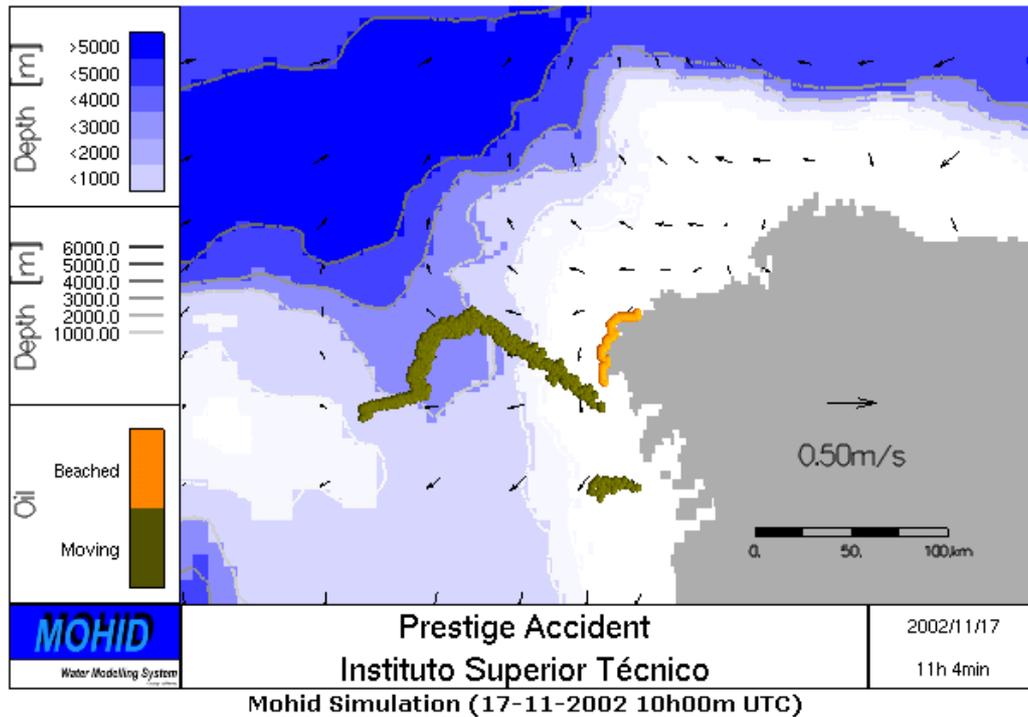
Salidas del modelo MOHID. Trayectoria del buque Prestige en línea roja hasta su hundimiento (estrella roja). En gris, extensión aproximada de la mancha para el día 25. Triángulos rojos están asociados a los centros más importantes de las manchas el día 29 de noviembre. Fuente página del MOHID.



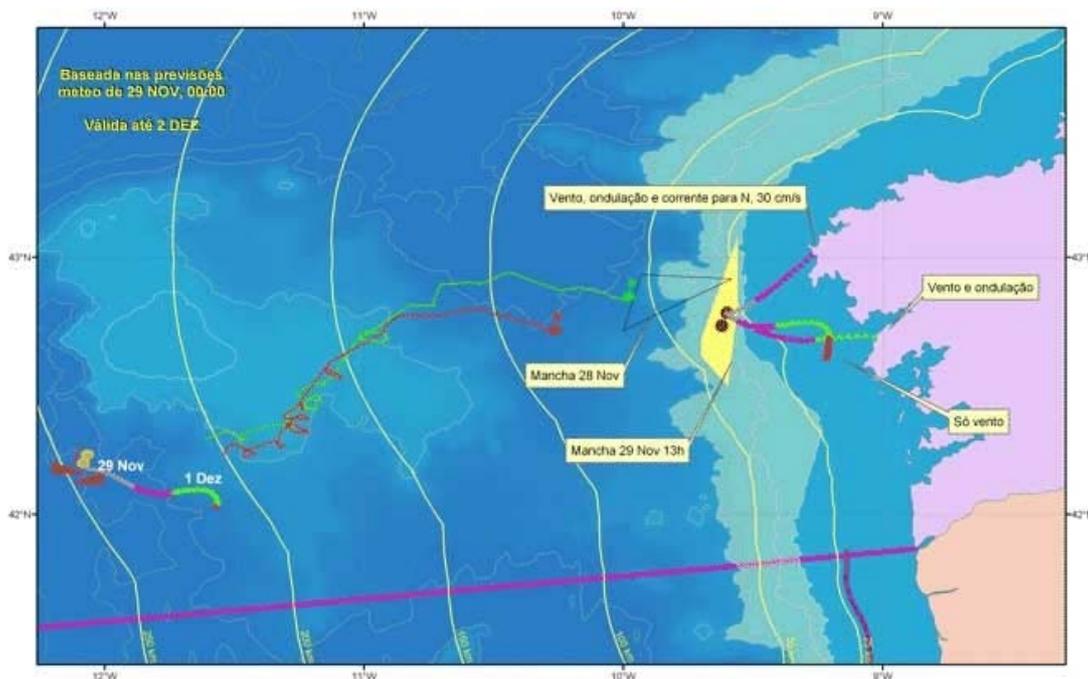
Evolución de las manchas previstas para los distintos días señalados bajo ellas a partir del hundimiento del Prestige, según el modelo MOHID. La mancha observada el día 25 esta en gris. El centro de la mancha principal del día 29 está en un triángulo rojo. Fuente página del MOHID.



[ESA's Envisat Satellite Radar Image \(17-11-2002 10h45m UTC\)](#)



Simulaciones del MOHID para el día 17 de noviembre del 2002 a las 10 horas UTC e imagen del ENVISAT de la ESA. Zonas oscuras en las zonas marítimas están asociadas a las áreas donde existe el vertido del crudo. Las zonas verdes de las salidas numéricas indican la posición de las manchas principales. Fuente ESA y MOHID.



Salidas del modelo del INSTITUTO HIDROGRÁFICO portugués, basadas en las predicciones de viento del día 29 de noviembre para el 2 de diciembre. La mancha principal está marcada en amarillo. En este caso se plantean salidas para tres escenarios de evolución: sin viento, viento y mar de fondo, viento, mar de fondo y corrientes marinas. Los peores presagios confirman la llegada de las manchas a las costas gallegas. Líneas amarillas indican la distancia a costa en km.. El Prestige se hundió al oeste de Galicia a casi 250 km de distancia (barco roto rojo en la izquierda)

## Conclusiones

La presencia de vertidos incontrolados en zonas oceánicas, hundimientos de barcos con contenedores que flotan a la deriva, de grandes petroleros que generan grandes y devastadoras mareas negras ha hecho que la comunidad meteorológica coordine sus esfuerzos para realizar modelizaciones meteo-oceánicas que sirvan para prever la evolución de estos vertidos líquidos o sólidos incontrolados. Al poseer, en el primer caso, un impacto ambiental y ecológico muy importante, se han creado diversos modelos relativamente complejos que permiten ayudar a la toma de decisiones oportunas ante estos acontecimientos devastadores. Las aguas

marítimas próximas a España, tanto en el Atlántico y Mediterráneo, están dentro de las zonas cuyo coordinador meteorológico es el servicio francés: Meteo-France. Este puede activar su modelo, MOTHY, a petición de países que se vean potencialmente afectados.

Las salidas de este modelo, y de otro que hemos presentado aquí, son de gran valor estratégico. La experiencia desafortunada de la marea negra del buque Prestige nos ha permitido acercarnos y analizar cómo funcionan básicamente estos modelos, ver los diferentes módulos que lo componen, etc. Se han presentado algunas salidas y escenarios de evolución de los vertidos según un conjunto de variables que inicializan al modelo.

Ni que decir tiene que estos modelos predictivos funcionarán tanto mejor cuanto mejor sean las condiciones iniciales de partida que describan al completo las características de la mancha o manchas de crudo (extensión, profundidad, forma, tipo de crudo, etc.), así como las propiedades océano-meteorológicas en donde se muevan las manchas (salinidad, temperatura del agua del mar, viento reinante, corrientes marina, mar de fondo, etc.). Aunque el viento superficial marítimo es fundamental para la evolución del crudo vertido, no es menos cierto que existen otras variables claves que determinan hacia donde y cómo evolucionan dichos vertidos.

Esperemos que estos modelos sean utilizados para simular casos ideales y no reales como el que está ocurriendo actualmente en las costas españolas.

#### **Direcciones útiles:**

Centro francés CEDRE.

<http://www.le-cedre.fr>

Página con mapas previstos de trayectorias del vertido

[http://www.defense.gouv.fr/marine/actu/prestige/f\\_index.htm](http://www.defense.gouv.fr/marine/actu/prestige/f_index.htm)

Página del modelo MOHID de Portugal

<http://www.mohid.com>

Más sobre el hundimiento y links de interés.

<http://www.iim.csic.es/Prestige/Enlaces.htm>

SASEMAR

<http://www.sasemar.es/quees.html#top>

#### **Bibliografía.**

- *Forecasting the Erika oil spills, 2001.* Pierre Daniel, Patrick Josse and Philippe Dandin, Vicent Gouriou, Michel Marchand and Claudine Tiercelin. Conferencia Internacional sobre vertidos de crudo.

- *Forecasting oil spill drift at Meteo-France, 1997.* Pierre Daniel Conferencia internacional sobre vertidos de crudo.

[\*\*ram@meteored.com\*\*](mailto:ram@meteored.com)