

**HERRAMIENTAS  
CIENTÍFICO-TECNOLÓGICAS PARA  
LA RESPUESTA ANTE  
DERRAMES EN EL MEDIO MARINO**

## ÍNDICE

1. CONTEXTO.....	1
2. DESCRIPCIÓN.....	2
2.1 Módulo de prevención.....	2
2.1.1 Resultados.....	3
2.2. Módulo de respuesta.....	5
3. COMUNICACIÓN.....	8
Proyectos de investigación.....	8
Publicaciones con índice de impacto.....	8
Ponencias en congresos.....	9
Páginas web.....	10



## 1. CONTEXTO

La gestión de la crisis originada por el hundimiento del petrolero *Prestige*, demostró la necesidad de contar con herramientas de planificación (prevención), que permitan reducir al máximo la improvisación en el momento de una emergencia, así como de respuesta, que ayuden a minimizar el impacto de la contaminación tanto desde el punto de vista ambiental como desde el socio-económico (Castanedo et al., 2006).

Con el fin de solventar alguna de las carencias existentes en este campo de la investigación, el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (en adelante IH Cantabria) ha desarrollado una metodología y unas herramientas numéricas para ser utilizadas en la gestión de derrames de hidrocarburos en el mar. Como ejemplo, en este documento se presenta el **Sistema de Prevención y Respuesta frente a derrames en la costa de Cantabria** (véase la figura 1). Sin embargo, la metodología desarrollada permite su implementación en cualquier tramo de la costa española.

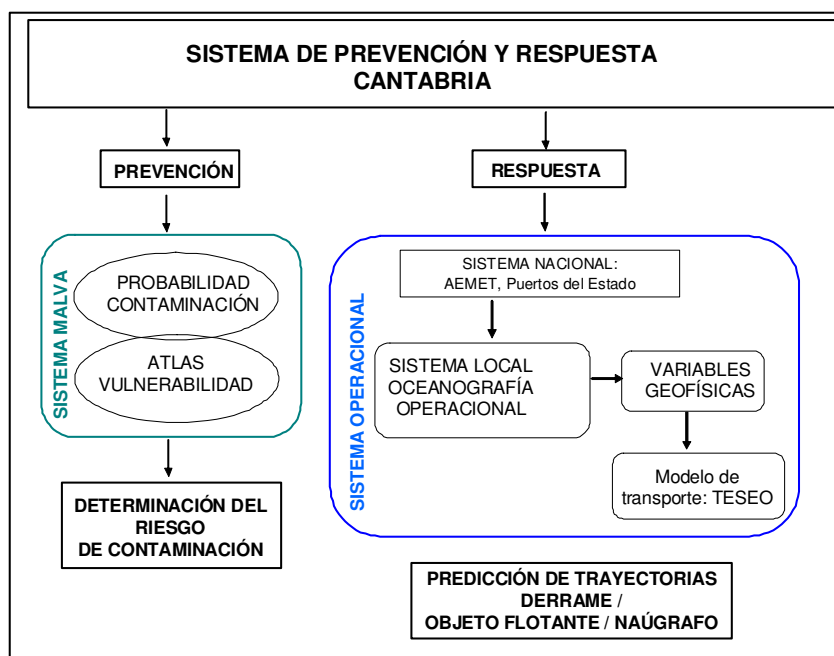


Figura 1. Esquema del sistema de Prevención y Respuesta frente a derrames en la costa de Cantabria

En los siguientes apartados se describe brevemente el trabajo realizado en cada uno de los módulos presentados en el esquema de la figura 1.

## **2. DESCRIPCIÓN**

### **2.1 Módulo de prevención**

En Febrero de 2004, la Fundación Marcelino Botín, el Gobierno de Cantabria y la Universidad de Cantabria pusieron en marcha un proyecto de investigación titulado “Sistema de predicción de contaminación marina de la costa de Cantabria por derrames de hidrocarburos”. El objetivo del proyecto ha sido el desarrollo de una herramienta que permita determinar el riesgo de contaminación en la costa por derrames de hidrocarburos. El cálculo del riesgo se ha basado en: (1) La determinación de la probabilidad de contaminación y (2) la vulnerabilidad al fuel de la costa. El conjunto de la metodología y herramientas que forman parte de este sistema se ha denominado MALVA (**M**odelo de **A**yuda para la **L**ucha contra **V**ertidos **A**ccidentales).

MALVA permite determinar la probabilidad de que un derrame de hidrocarburo, producido en un punto aleatorio del mar, alcance una determinada zona del litoral de Cantabria. Esta “probabilidad de alcance” permite dar respuesta a preguntas tales como: ¿Cuales son las zonas del litoral con una mayor probabilidad de ser alcanzadas por un derrame? o, una vez producido el derrame, ¿Cuales serán las zonas del litoral más afectadas? ¿Cual será el coste del impacto producido? y/o ¿De cuanto tiempo se dispone para instalar los equipos y sistemas de contención de la contaminación?

Para realizar este trabajo se ha utilizado una metodología similar a la utilizada por la NOAA en diferentes localizaciones de EEUU (Barker y Galt, 2000). Sin embargo, la novedad radica en que, debido a la falta de series largas de datos medidos, ha sido necesario utilizar datos generados numéricamente. Para ello, una de las tareas de este estudio ha consistido en la recopilación/generación de series temporales de variables de dinámica marina y atmosférica. Para obtener una correcta representación estadística de los procesos de transporte se ha utilizado datos del proyecto europeo, HIPOCAS (Guedes Soares et al., 2002). El objetivo de HIPOCAS fue obtener 44 años de reanálisis de viento, oleaje y nivel del mar para aguas Europeas. Estos datos, una vez calibrados (Tomás et al.,

2006), se han utilizado para forzar el modelo oceánico DIECAST (Dietrich, 1997) que proporciona las corrientes. Una vez obtenidos los 44 años de reanálisis de forzamientos tanto meteorológicos como oceanográficos, se ha generado una base de datos de series de evolución de vertidos hipotéticos en un punto del mar mediante un modelo de transporte y transformación de hidrocarburos. Finalmente, se ha realizado el análisis estadístico de esta base de datos (Abascal et al., 2010).

Además de esta aplicación, el sistema MALVA tiene integrado un atlas de vulnerabilidad a la contaminación de fuel para la costa de Cantabria. Para elaborar este atlas se ha desarrollado una metodología novedosa que integra en un único índice,  $V$ , los diferentes aspectos de la costa (físicos, ecológicos, socio-económicos) que pueden ser afectados por un derrame. La integración de todos los indicadores se ha llevado a cabo mediante la realización de una encuesta en la que han participado representantes de la administración (central y autonómica) con responsabilidad en la gestión de la costa, asociaciones de hosteleros y comerciantes, organizaciones ecologistas, centros de investigación y representantes del sector pesquero y marisquero (Castanedo et al., 2010).

### **2.1.1 Resultados**

El sistema da respuesta a diferentes cuestiones que podría plantearse un gestor ante un vertido accidental. Por ejemplo, el Modo 1 calcula la probabilidad de llegada del fuel desde un punto de vertido determinado a todos los puntos receptores en un tiempo  $t$ , el Modo 2 responde a la pregunta de cuánto fuel puede llegar a una localización concreta y el Modo 5 calcula para un punto receptor dado, la probabilidad de llegada de fuel a ese punto, desde todos los puntos de vertido en un tiempo dado,  $t$ .

Para facilitar la conexión entre usuario y resultados, el sistema de visualización elegido ha sido el sistema de información geográfica ArcGIS 9.1 de ESRI. Como ejemplo, en la figura 2 se presenta la visualización de la pantalla de interacción usuario- sistema. En esta pantalla el usuario elige la pregunta que quiere formular entre varias opciones como las descritas anteriormente y selecciona el

HERRAMIENTAS CIENTÍFICO-TECNOLÓGICAS PARA LA RESPUESTA ANTE DERRAMES EN EL MEDIO MARINO

resto de parámetros necesarios para el sistema como por ejemplo, la estación del año, el tiempo de estancia del vertido en el mar o el tipo de fuel.

En las figura 3 se ve la salida de resultados para el Modo 1. Nótese, cómo es posible combinar los resultados de probabilidad de contaminación con los índices de vulnerabilidad de los tramos costeros. De esta forma, es posible delimitar las áreas de la costa que presentan más riesgo frente a vertidos accidentales, esto es, aquellas que presenten una mayor probabilidad de contaminación y además una alta vulnerabilidad.

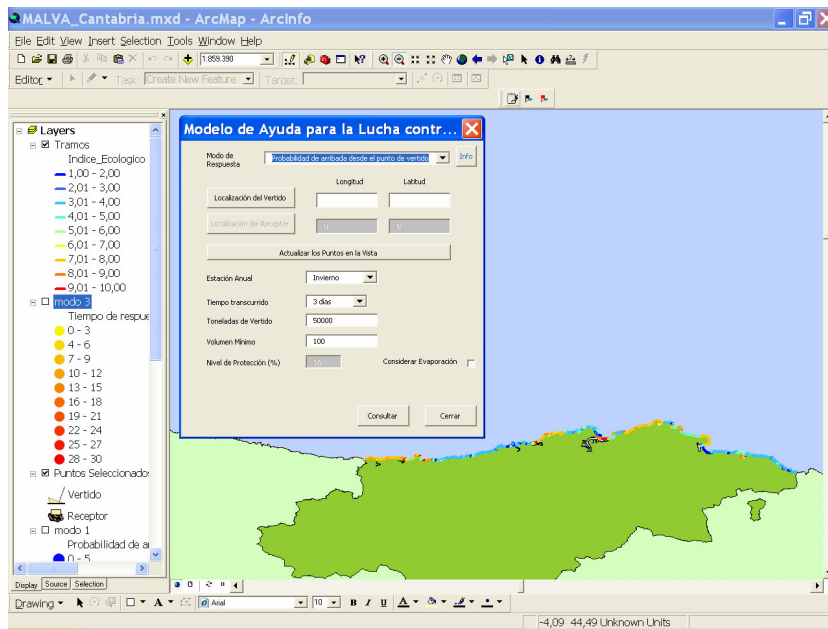


Figura 2. Pantalla de interacción usuario – sistema MALVA en ArcGIS

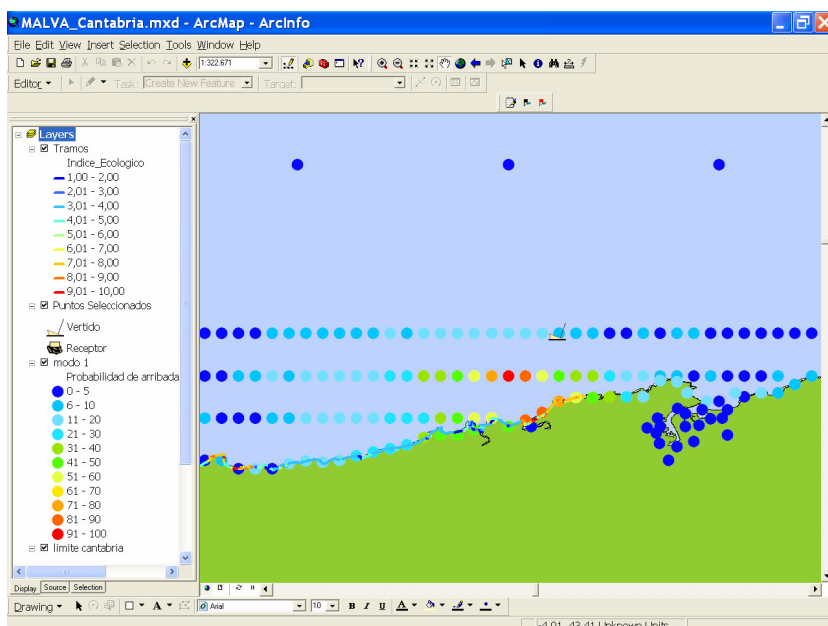


Figura 3. Probabilidad de contaminación de la costa si el vertido se produce en el punto en el que se ve el icono barco. Los tramos de colores indican el índice ecológico de la costa

## 2.2. Módulo de respuesta

El módulo de **Respuesta** se basa en dos pilares: 1) Sistema local de oceanografía operacional. Este sistema consiste en la predicción operacional (diaria) oceanográfica (corrientes, temperatura y salinidad) para la costa de Cantabria y 2) Modelo de transporte TESEO para la predicción de las trayectorias de vertidos, objetos flotantes o naufragos. Ambos sistemas han sido financiados en parte por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (proyecto ESEOO, VEM2003-20577-C14-08) y por el Gobierno de Cantabria.

El sistema local de oceanografía operacional, funciona anidado con el sistema nacional, utilizando las salidas de los sistemas globales y regionales gestionados por Puertos del Estado y AEMET (véase la figura 4). El sistema proporciona la predicción de las variables (corrientes, temperatura y salinidad) a 48 horas en una malla de 1 km de resolución.

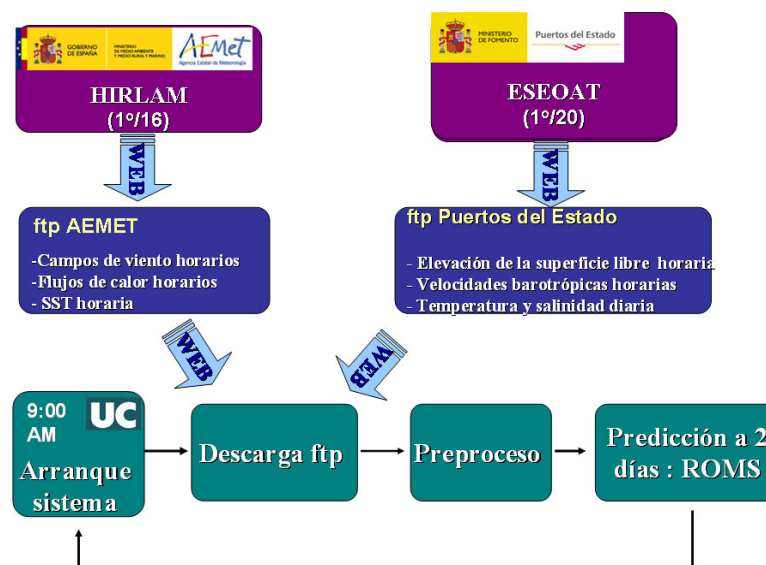


Figura 4. Funcionamiento del sistema operacional

El modelo seleccionado para su aplicación a la escala local es el modelo tridimensional ROMS (Regional Ocean Modeling System) desarrollado por el Ocean Modeling Group de Rutgers (<http://marine.rutgers.edu/po/index.php?model=roms>).

Los resultados diarios están disponibles en la página web: <http://www.esooo.org/> (véase la figura 5) y en la web Meteocantabria, creada recientemente (julio de 2010) por parte del Gobierno de Cantabria y AEMET (<http://www.meteocantabria.es/meteocantabria/portada>).

La otra parte del sistema operacional es el modelo denominado TESEO para la predicción de trayectorias de un vertido. Mediante una interfaz gráfica se gestiona todas las operaciones necesarias para el uso operacional del modelo numérico de simulación de transporte y transformación de hidrocarburos desarrollado por el IH Cantabria. Para obtener los datos oceanográficos y meteorológicos de forma operacional, el sistema TESEO está conectado vía ftp tanto a AEMET como al sistema regional de Puertos del Estado. Dependiendo de la escala espacial del vertido, es posible conectarse a cualquier aplicación local como la desarrollada en Cantabria y presentada anteriormente, para utilizar forzamientos con mayor resolución. En la figura 6 se muestra un ejemplo de los resultados que se pueden obtener.

El modelo de deriva es un modelo Lagrangiano bidimensional, que calcula el movimiento de hidrocarburos, objetos flotantes y personas a la deriva. Este modelo está basado en el modelo PICHI, desarrollado por la Universidad de Cantabria durante el accidente del Prestige (Castanedo et al., 2006). El transporte se simula mediante la suma de partículas que se mueven de forma independiente, por efecto del viento, oleaje, corrientes y la difusión turbulenta. Para simular la degradación que sufre un hidrocarburo en el mar se ha considerado los procesos de emulsión y evaporación (Abascal et al., 2009). Para realizar la calibración del modelo lagrangiano se ha utilizado un método de evolución y mezcla de equipos de búsqueda, el SCE-UA (Duan et al, 1994) adaptado para su aplicación en oceanografía (Abascal et al., 2009a).

A lo largo del desarrollo del sistema operacional, éste ha sido puesto a prueba durante varios simulacros de emergencia organizados por SASEMAR (Salvamento Marítimo) en diferentes fechas y localizaciones, como por ejemplo: mayo de 2005 en las Islas Baleares, mayo de 2006 en Gijón (Sotillo et al., 2008), noviembre de 2006 en Finisterre, abril de 2007 en Vigo, junio de 2008 en Tarragona y

HERRAMIENTAS CIENTÍFICO-TECNOLÓGICAS PARA LA RESPUESTA ANTE DERRAMES EN EL MEDIO MARINO

mayo de 2010 en Santander. El IH Cantabria participa en todos los simulacros como miembro de la USyP (Unidad de Seguimiento y Previsión), como responsable de proporcionar al Centro de Coordinación de Operaciones en la Mar (CECOMAR), la predicción de las trayectorias de las manchas hipotéticas (simuladas mediante boyas de deriva) de manera operacional. Este modelo de transporte fue utilizado también en una experiencia llevada a cabo por Puertos del Estado en Abril de 2005 en la costa de Galicia, para probar el funcionamiento de la tecnología Radar HF para medir corrientes (Abascal et al., 2009b).

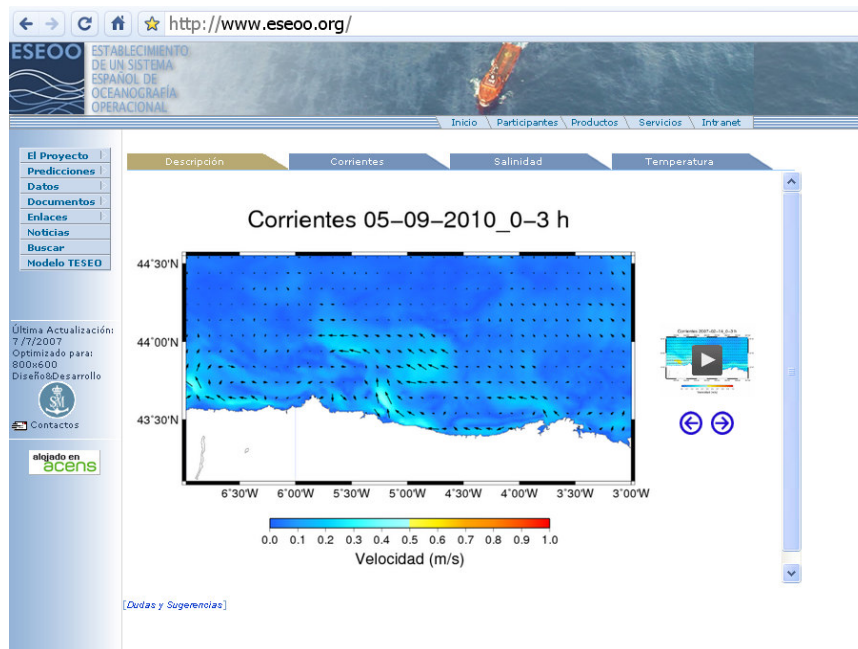


Figura 5. Ejemplo de salida de resultados de corrientes en el sistema operacional local de Cantabria ([www.esooo.org](http://www.esooo.org))

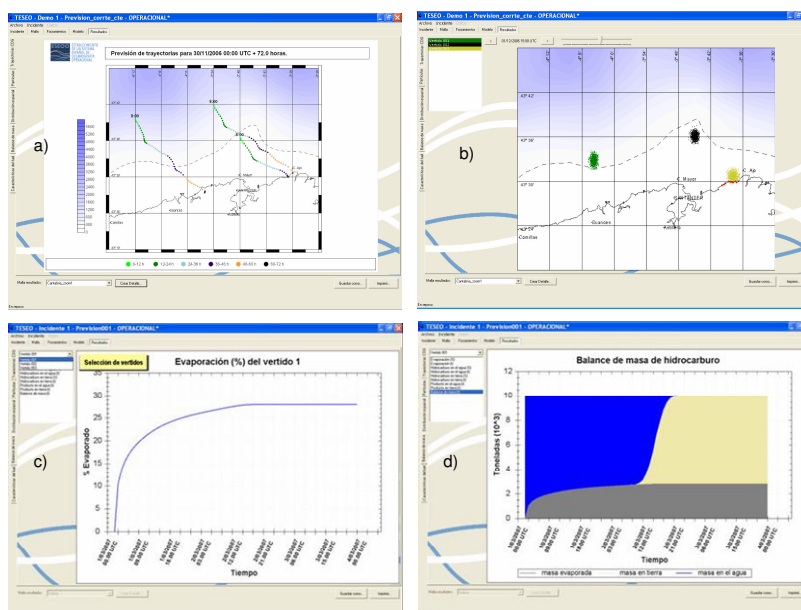


Figura 6. Ejemplo de visualización de resultados de TESEO: a) Trayectorias de centros de gravedad; b) Distribución de partículas; c) Tasa de evaporación del vertido y d) Balance de masa

### **3. COMUNICACIÓN**

Los resultados del proyecto desarrollado han sido y son presentados mediante numerosas vías de difusión:

#### **Proyectos de investigación**

La metodología desarrollada en el sistema MALVA se ha aplicado en las Islas Baleares a través de un convenio entre el Gobierno Balear, el centro del CSIC, IMEDEA y la Universidad de Cantabria. El título del proyecto fue: *Sistema de predicción de vertidos marinos en la costa de las Islas Baleares*.

#### **Publicaciones con índice de impacto**

Se han publicado los siguientes artículos relacionados con este proyecto:

Abascal, A.J., Castanedo, S., Medina, R. y Liste, M., 2010. Analysis of the reliability of a statistical oil spill response model. *Marine Pollution Bulletin*, 10.1016/j.marpolbul.2010.07.008.

Abascal, A.J., Castanedo, S., Mendez, F.J., Medina, R., y Losada, I.J., 2009a. Calibration of a Lagrangian transport model using drifting buoys deployed during the Prestige oil spill. *Journal of Coastal Research*, 25 (1), 80-90.

Abascal, A.J., Castanedo, S., Medina, R., Losada, I.J., y Alvarez-Fanjul, E., 2009b. Application of HF radar currents to oil spill modelling. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 238-248.

Castanedo, S., Juanes J.A., Medina R., Puente, A., Fernández F., Olabarrieta, M., Pombo, C., 2010. Oil spill vulnerability assessment integrating physical, biological and socio-economical aspects: application to the Cantabrian coast (Bay of Biscay, Spain). *Journal of Environmental Management*, Vol 91, pp. 149-159

Castanedo, S., Medina, R., Losada, I.J., Vidal, C., Méndez, F.J., Osorio, A., Juanes, J.A., & Puente, A. (2006). The Prestige oil spill in Cantabria (Bay of Biscay). Part I: Operational forecasting system for quick response, risk assessment and protection of natural resources, *Journal of Coastal Research*. Vol. 22(6), 1474-1489.

Juanes, J.A., Puente, A., Revilla, J.A., Alvarez, C., Medina, R., Castanedo, S., Morante, L., Gonzalez, S. and Garcia-Castrillo, G. (2007) The Prestige oil spill in Cantabria (Bay of Biscay). Part II: Environmental assessment and monitoring of coastal ecosystems. *Journal of Coastal Research*, Vol. 23(4), 978-992.

Olabarrieta, M., S. Castanedo, A.D. Gutiérrez. 2008. A local Operational Oceanography model. Procedures to establish a local operational oceanography model and its application in the Cantabrian coast of Spain. *Sea Technology*, Vol. 49, Nº 8, pp. 25-29.

Sotillo, M.G., Alvarez Fanjul, E., Castanedo, S., Abascal, A.J., Menendez, J., Emelianov, M., Olivella, R., García-Ladona, E., Ruiz-Villareal, M., Conde, J., Gómez, M., Conde, P., Gutierrez, A.D., Medina, R. 2008. Towards an operational system for oil spill forecast in the Spanish waters: initial developments and implementation test. *Marine Pollution Bulletin (ELSEVIER)*, Vol. 56, 686-703

### **Ponencias en congresos**

En las **IX Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos** (Mayo de 2007) se presentaron las siguientes ponencias relacionadas con el proyecto:

- *Sistema operacional de predicción de transporte y transformación de hidrocarburos (TESEO)*. (A. J. Abascal, S. Castanedo, A. D. Gutiérrez, E. Comerma, R. Medina y I.J. Losada).
- *Análisis probabilístico del riesgo de contaminación por hidrocarburos en la costa de Cantabria*. (S. Castanedo, A.J. Abascal, R. Medina, F. Fernández, M. Liste y M. Olabarrieta).
- *Retroanálisis de corrientes en el litoral español*. (M. Liste, M. Olabarrieta, R. Medina, D. Dietrich y S. Castanedo).

En la conferencia internacional **ISOPE-2007** (Internacional Offshore (Ocean) and Polar Engineering Conference) celebrada en Lisboa (Portugal) en Julio de 2007 se presentaron las siguientes ponencias:

- *An Operational Oceanography System for local areas on the Cantabrian Coast*. (M. Olabarrieta, S. Castanedo, R. Medina, I.J. Losada y A.D. Gutiérrez).

- *TESEO, an Operational System for Simulating Oil Spills Trajectories and Fate Processes.* (A.J. Abascal, S. Castanedo, A. D. Gutierrez, E. Comerma, R. Medina y I. J. Losada).

En la conferencia **CoastGIS'07** (Octubre de 2007, Santander) se presentó:

- *A GIS-based statistical tool for spill response planning in the Cantabrian coast (Gulf of Biscay, Spain).* (S. Castanedo, A.J. Abascal, R. Medina, F. Fernández, M. Liste y M. Olabarrieta).
- *Building the Cantabrian Coast Oil Spill Vulnerability Atlas (Bay of Biscay).* (Fernández F., Pombo C., Castanedo S, Medina R. y Juanes J.).

En la conferencia **IOSC 2008** (Internacional Oil Spill Conference) (Mayo de 2008, Savannah, Georgia (EEUU)). Se presentaron las siguientes ponencias:

- *Oil Spill Vulnerability Atlas for the Cantabrian Coast (Bay of Biscay, Spain).* (S. Castanedo, C. Pombo, F. Fernandez, R. Medina, A. Puente y J. A. Juanes).
- *TESEO: Sistema de predicción de transporte y transformación de hidrocarburos.* (A.J. Abascal, S. Castanedo, A.D. Gutiérrez , E. Comerma, R. Medina y I.J. Losada).

En la conferencia **OCEANS'09** (Mayo de 2009, Bremen (Alemania)) se presentó la siguiente ponencia:

- *Development of a GIS-based Oil Spill Risk Assessment System* (Castanedo, S., Abascal, A.J., Medina R., Fernandez, F., Liste, M., Olabarrieta, M).

### **Páginas web**

Como se ha indicado en el texto, los resultados del sistema de oceanografía operacional son publicados diariamente en [www.esooo.org](http://www.esooo.org) y en [www.meteocantabria.es](http://www.meteocantabria.es).