

## **Sistema de detección y seguimiento de vertidos accidentales marinos utilizando técnicas de teledetección en la costa gallega**

*Luis González, Jesús Torres, Gema Martínez y Rebeca Lago.*

Dep. Física Aplicada. Laboratorio de Teledetección y SIG. Facultad de Ciencias, Campus Lagoas-Marcosende. Universidad de Vigo. 36200. Vigo ppautor@ull.es, [luisgv@uvigo.es](mailto:luisgv@uvigo.es), [jesu@uvigo.es](mailto:jesu@uvigo.es).

### **Resumen**

En este trabajo se presenta un sistema de detección, seguimiento y predicción de vertidos marinos accidentales en las costas gallegas. Dicho sistema se está desarrollando dentro del ámbito del proyecto CONTINMAR, surgido por la necesidad de diseñar e implementar un plan de contingencia para toda la zona dañada por la marea negra causada tras el accidente del petrolero Prestige en el año 2002. Los objetivos básicos del proyecto serían la detección de posibles manchas utilizando técnicas de teledetección, integración de la información obtenida junto con otros datos medioambientales en un SIG para estudiar la distribución espacial de la marea negra, y finalmente predicción del desplazamiento del vertido mediante el acoplamiento de modelos predictivos de vientos y corrientes superficiales. Los datos utilizados son mayoritariamente imágenes ASAR cedidas en el marco del proyecto de colaboración con la ESA AO-623, incluyéndose también el estudio de la utilización de sensores ultravioleta y visible aplicados a la detección de hidrocarburos en el medio marino.

### **1. Introducción**

En noviembre del 2002 el petrolero Prestige, con más de 77000 toneladas de crudo a bordo, sufrió un grave accidente a unos 45 kilómetros de las costas españolas. La marea negra provocada fue alcanzando progresivamente las costas gallega, cantábrica, portuguesa y francesa durante los siguientes meses, dando lugar a una gran catástrofe medioambiental y económica.

La catástrofe, la última de un gran número de mareas negras sufridas en la misma zona, puso de manifiesto la necesidad de diseñar un sistema operacional que permita la detección, seguimiento y predicción de los vertidos en caso de un nuevo accidente y poder así minimizar el daño ocasionado sobre las áreas costeras de Galicia.

La base del desarrollo de este sistema está en la aplicación de técnicas de teledetección para la

localización de los vertidos. Las imágenes de radar de apertura sintética obtenidas desde satélite ya habían resultado útiles en la detección de manchas en ocasiones anteriores, y cuentan con grandes ventajas con respecto a otros sistemas como son la gran cobertura espacial y la capacidad para operar con nubes o de noche. Además, la combinación de datos de diferentes plataformas (ERS y ENVISAT) hace posible conseguir imágenes de forma casi diaria sobre la zona afectada. Sensores aerotransportados operando en el visible y ultravioleta también resultan útiles en la localización y verificación de posibles manchas de hidrocarburos.

Otra parte del sistema es el diseño de un SIG que permita estudiar la distribución espacial de los vertidos integrando la información obtenida de las imágenes con otro tipo de datos y variables medioambientales procedentes de diferentes fuentes.

Finalmente, y considerando que el desplazamiento de una mancha depende fundamentalmente de la dirección de las corrientes superficiales y éstas a su vez de los vientos predominantes, el acoplamiento del sistema con modelos de predicción de estas variables permitiría evaluar el desplazamiento de los vertidos y el riesgo de llegada de los hidrocarburos a la costa.

### **2. Metodología**

#### **2.1. Detección de vertidos**

Debido a la poca penetración de las microondas en el agua, la rugosidad de la superficie marina es el principal factor que determina la señal captada en una imagen de radar de apertura sintética. Debido a su observación oblicua, en una superficie lisa casi no se produce retorno mientras que en una rugosa el resultado es una retrodispersión significativa.

Por lo general, en presencia de olas capilares y de gravedad generadas por el viento la dispersión resonante de Bragg sería el principal mecanismo de

retrodispersión. Sin embargo, los derrames de petróleo, aceites o líquidos orgánicos forman capas que provocan cambios en la tensión superficial que a su vez amortiguan este tipo de ondas, apareciendo como *signaturas oscuras* en las imágenes radar [1].

Por lo tanto la discriminación de vertidos es posible gracias a que aparecen en las imágenes radar de zonas marinas como manchas oscuras que contrastan con un entorno más brillante. Sin embargo, la detección tiene importantes limitaciones. Así, otros fenómenos como ondas internas o sustancias naturales originadas por organismos marinos dan lugar a firmas parecidas a la de los derrames. Además, la velocidad del viento predominante tiene un importante efecto: con velocidades inferiores a 2-3 m/s la rugosidad de la superficie marina no es lo bastante significativa como para que se produzca un contraste entre la capa de hidrocarburos y su entorno, mientras que a altas velocidades la redistribución por parte de las olas superficiales y la mezcla que se produce en la capa superior del océano por efecto del viento provoca la desaparición de las manchas bajo el agua [3].

Para este trabajo se utilizaron 52 imágenes del sensor ASAR a bordo del satélite ENVISAT, adquiridas durante los meses siguientes al accidente del Prestige y que abarcan toda la zona afectada, especialmente la costa gallega. Este sensor opera en la banda C (5.331 GHz) y permite adquirir datos en diferentes modos y geometrías.

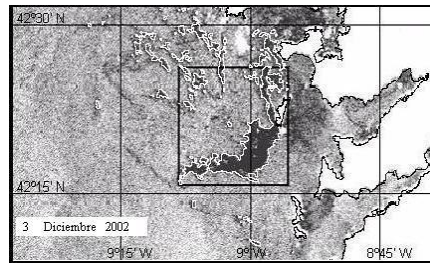


Figura 1: *Porción de una imagen ASAR del 3 de diciembre del 2002. Se detectan numerosas manchas procedentes del Prestige en frente de las Rías Bajas (Galicia).*

El sistema de detección incluye varios pasos. Primero se lleva a cabo una georeferenciación de las imágenes utilizando la información incluida en la cabecera del producto original. Luego se genera

la imagen de intensidad a partir de la de amplitud y la imagen de retrodispersión a partir de esta última.

Una vez finalizado el pre-procesamiento, se aplica un sencillo método automático de análisis para extraer aquellos artefactos (*signaturas oscuras*) sospechosas de ser vertidos. El método enmascara las zonas de tierra, calcula las estadísticas básicas de las áreas oceánicas, establece un umbral de clasificación como la media menos la desviación estándar y selecciona aquellos píxeles cuyo valor es inferior a dicho umbral.

A los artefactos previamente seleccionados se les aplica un filtro para eliminar píxeles aislados o pequeños grupos por no considerarlos significativos debido a su tamaño. Finalmente, se identifica el borde de cada artefacto y se guarda como una capa vectorial georeferenciada que servirá de entrada para el SIG. En la figura 1 se observa un ejemplo de los artefactos seleccionados como sospechosos de vertidos en una imagen ASAR del 3 de diciembre del 2002.

## 2.2. Integración en el SIG: verificación y análisis de las manchas

Los vectores georeferenciados representando las posibles manchas de petróleo son integrados en una base de datos espacial junto con otros tipos de información, incluyendo un mapa digital de alta resolución de la línea de costa que es usado como referencia geográfica; campos de vientos, obtenidos de dispersómetro, de estaciones meteorológicas situadas en la costa y de modelos de predicción; datos de corrientes superficiales derivados de modelos de predicción oceanográfica como el MERCATOR ; y datos de localización de las observaciones in-situ de los vertidos realizadas desde aviones, barcos, helicópteros e incluso desde tierra.

Una vez toda la información está integrada en el sistema, se lleva a cabo un proceso de verificación para tratar de discriminar que artefactos son vertidos reales y cuales no, mediante un análisis contextual basado en el conocimiento de la zona y en la información adicional disponible.

Así en función de la dirección del viento y de la topografía costera se pueden establecer zonas de remanso donde la baja velocidad del viento da lugar a una escasa retrodispersión y por tanto a *signaturas oscuras* en las imágenes que no deben ser consideradas como vertidos. También se observó

que la presencia de bateas en el interior de las Rías Bajas provoca la aparición de firmas oscuras en las imágenes, fácilmente distinguibles por su forma poligonal.

Por otro lado se encontró en muchas imágenes una buena correlación espacial y temporal entre las observaciones disponibles de los vertidos realizadas desde barcos, aviones o helicópteros con los datos extraídos de las imágenes, permitiendo la discriminación de muchos artefactos como vertidos reales.

La integración en el SIG también permite estudiar la distribución espacial de la marea negra desde un punto de vista global así como el movimiento relativo de los vertidos entre dos imágenes consecutivas, para lo cual es necesario también considerar la información adicional disponible sobre corrientes, viento o mareas.

### 2.3. Sistema de predicción

El desarrollo de un modelo de predicción de la trayectoria de una marea negra es un proceso complicado debido a la gran cantidad de variables que influyen. Así por un lado tenemos que considerar las propiedades físico-químicas del producto derramado y toda la serie de procesos de cambio que sufre el petróleo en contacto con el agua, como evaporación, dilución, sedimentación, dispersión, oxidación fotoquímica o biodegradación por microorganismos, entre otros. Por otro lado, las condiciones hidrodinámicas y meteorológicas, especialmente los vientos, las corrientes y el oleaje.

Obviando las propiedades físico-químicas del producto derramado, que no se pueden conocer hasta que el vertido realmente se produce, el sistema desarrollado se basa en que una parte de la mancha se desplaza en superficie como consecuencia de un forzamiento directo del viento y que otra parte viaja algo más hundida y sufriendo una pequeña desviación hacia la derecha que es debida al efecto de Coriolis dentro de la capa de Ekman [4].

La entrada en el sistema son las posiciones de las manchas previamente obtenidas a partir de las imágenes de radar. Para la predicción de la trayectoria se utilizan datos tanto de viento como de corrientes superficiales derivados del modelo oceanográfico francés MERCATOR, que produce de forma operacional boletines de predicción en tiempo real para hasta los 6 días siguientes para toda la zona del Atlántico Norte con una resolución

espacial de unos 25 kilómetros. Este modelo utiliza una combinación de datos obtenidos in-situ con datos de altimetría.

En cuanto a la velocidad de desplazamiento de las manchas se puede asimilar a la de las corrientes superficiales, cuyo módulo varía entre un 1% y un 6% con respecto a la velocidad del viento. Para el caso de la marea negra del Prestige la relación encontrada fue del 3.3%. Otra forma de hacerse una idea de la velocidad media de desplazamiento de un vertido es conociendo las posiciones relativas, y por tanto la distancia, para la misma mancha en dos imágenes consecutivas.

El objetivo final es poder predecir antes de que se produzca el posible impacto de la marea negra en la costa en caso de que se produzca un nuevo accidente, dada la gran importancia económica, medioambiental y social de la zona costera en toda la región. El principal inconveniente del sistema es la menor fiabilidad de los modelos de predicción a medida que nos aproximamos a la costa, ya que surgen numerosas complicaciones como la presencia de corrientes locales y de marea, influencias fluviales o efectos topográficos sobre los vientos.

## 3. Resultados

El procesamiento de todas las imágenes y posterior integración de la información en una base de datos espacial permitió elaborar un SIG histórico de la catástrofe del Prestige desde el momento del accidente hasta abril. De esta forma se realizó un análisis de la distribución espacial y temporal de la marea negra, extrayéndose información estadística relacionada con el tamaño, forma o características de retrodispersión de las manchas.

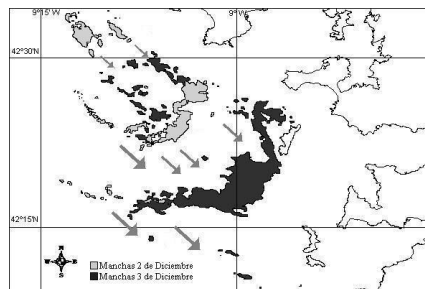


Figura 2: La integración en el SIG permitió estudiar la evolución temporal del vertido.

La figura 2 muestra un ejemplo de las posibilidades para estudiar la evolución temporal de una marea negra. Las manchas representadas en color claro fueron extraídas de una imagen del día 2 de diciembre por la noche, mientras que las de color oscuro pertenecen a una imagen del día 3 por la mañana. En combinación con los datos de viento y corrientes fue posible deducir la trayectoria posible de los vertidos a lo largo de esa noche, representada con las flechas. Se obtuvieron además valores muy fiables de velocidad considerando simplemente las distancias entre las manchas y el tiempo transcurrido entre ambas imágenes[2].

Con respecto al sistema de predicción se llevo a cabo un estudio diario de la trayectoria de la marea negra desde el día del accidente hasta mediados del mes de abril, considerando siempre como punto de partida el lugar del hundimiento, suponiendo por tanto que se producía una pérdida continua de petróleo desde la nave. El objetivo es conseguir una mejor aproximación a la complejidad observada en la distribución espacial y temporal de las manchas

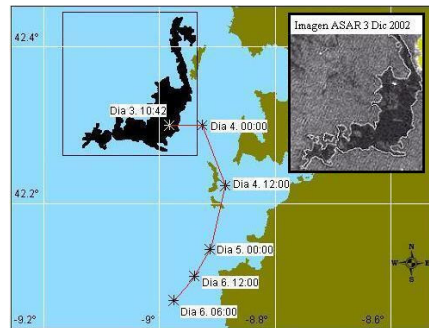


Figura 3: Ejemplo de predicción de una mancha detectada en una imagen usando modelos oceanográficos o meteorológicos.

En la figura 3 se observa la predicción para una gran mancha detectada en la imagen de ASAR adquirida el 3 de diciembre por la mañana. Para ello, se supuso el arrastre del viento como principal causa del desplazamiento y se utilizaron datos derivados del modelo oceanográfico Mercator. En este ejemplo no se consideraron las corrientes superficiales así como los frentes asociados al agua dulce procedente de las descargas de agua continental, cuyo efecto puede ser importante en las proximidades de la costa especialmente si el viento es flojo[4].

A pesar de todo, se observa la llegada del fuel a la boca norte de la Ría de Vigo el día 4 de diciembre, como en realidad ocurrió, así como una deriva general de la mancha hacia el sur, petróleo que alcanzaría la costa sur de Galicia e incluso la costa portuguesa las siguientes semanas.

#### 4. Conclusiones

Los resultados del trabajo sugieren la gran capacidad de las técnicas de teledetección, y más concretamente la utilización de imágenes de radar adquiridas desde el espacio, como una herramienta muy útil para la detección y seguimiento de mareas negras causadas por los accidentes de los grandes petroleros. La integración en un SIG junto con otras variables medioambientales permite obtener de una forma rápida información sobre la distribución espacial y evolución temporal de la marea negra.

Además, la información derivada de las imágenes resulta también de gran utilidad en el desarrollo de posibles modelos de predicción, ya que además de punto de entrada del sistema también pueden ser utilizada para la verificación de los resultados obtenidos en dichos modelos.

#### 5. Agradecimientos

El trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos Envisat AO623 y CONTINMAR. Un agradecimiento especial a Roberto Biasutti de la ESA por proporcionarnos las imágenes.

#### 6. Referencias

- [1] Alpers, W. and Hühnerfuss, H. "Radar signatures of oil films floating in the sea surface and the Marangoni effect", *Journal of Geophysical Research*, 93, 3642-3648, 1988
- [2] González L. and Torres J.M. "Detection and monitoring of the Prestige Oil Spill using ENVISAT ASAR images", *New Strategies for European Remote Sensing, Proceedings of the 24th Symposium of the EARSEL*, 489-497, 2005
- [3] Espedal, H.A. "Oil spill and its looks-alikes in ERS SAR imagery", *Earth Observation and Remote Sensing, Russian Academy of Scienc.*, 5, 94-102, 1998
- [4] Cabanas, J.M. and F. Sanchez, "Informe 04: Características Oceanográficas de la plataforma de Galicia en Diciembre de 2002", <http://www.ieo.es/prestige.htm>, Instituto Español de Oceanografía, 2003.