

Utilización de datos de ENVISAT para la detección de vertidos de hidrocarburos

L. González-Vilas*, J. M. Torres*, G. Martínez-Iglesias*, A. Mosquera* y J. M. Corchado**
luisgv@uvigo.es, jesu@uvigo.es

* *Universidad de Vigo. Facultad de Ciencias del Mar. Dpto. de Física Aplicada*

** *Universidad de Salamanca. Facultad de Ciencias. Dpto. de Informática y Automática*

RESUMEN

En este trabajo se presenta un sistema para la detección de vertidos de hidrocarburos en el área de Galicia mediante la aplicación de técnicas de teledetección y SIG, utilizándose imágenes del sensor ASAR en combinación con otras fuentes de datos. Este sistema se desarrolla en el ámbito del proyecto CONTINMAR, centrado en el diseño e implementación de un plan de contingencia para toda la zona tras la marea negra causada por el petrolero Prestige a finales del año 2002.

PALABRAS CLAVE: ASAR, marea negra, vientos, color, temperatura, efectos atmosféricos.

ABSTRACT

In this work it is showed a hydrocarbon detection system in the Galician area by applying remote sensing and GIS techniques, using ASAR images together with other data sources. This system is developed in the framework of the CONTINMAR project, aimed to the design and implementation of a contingency plan in the area affected by the oil spill from the Prestige tanker at end 2002.

KEY WORDS: ASAR, oil spill, wind, colour, temperature, atmospheric effects.

INTRODUCCIÓN

La plataforma continental gallega se trata de una zona de tránsito de grandes petroleros a través del denominado Corredor Atlántico y con un elevado riesgo de mareas negras, como demuestran los numerosos accidentes sufridos en las últimas décadas. Además de las grandes catástrofes, también hay que considerar los numerosos pequeños vertidos consecuencia del intenso tráfico marítimo. En cualquier caso, la contaminación por hidrocarburos supone una seria amenaza para los ecosistemas marinos y para todas las actividades económicas dependientes de mar.

La detección de los vertidos de hidrocarburos y su posible trayectoria tras el derrame es muy importante en la toma de decisiones encaminadas a reducir el impacto de la contaminación e incluso para la localización de posibles infractores. La aplicación de técnicas de teledetección, tanto espacial como aerotransportada, para la detección remota de hidrocarburos ha sido realizada con éxito en numerosas ocasiones (Fingas y Brown,

1997), utilizándose para ello imágenes de radar de apertura sintética (SAR).

En este trabajo se presenta un sistema de detección remota de vertidos de hidrocarburos en la costa gallega utilizando imágenes del sensor ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar) a bordo del ENVISAT. El sistema trata de sacar el máximo partido a las ventajas de la teledetección espacial, gran cobertura espacial y la capacidad para operar con nubes o de noche, al mismo tiempo que intenta aumentar la fiabilidad y reducir el número de falsas alarmas, sin duda la gran limitación de este tipo de técnicas, mediante la integración de otros datos adicionales.

DETECCIÓN DE HIDROCARBUROS

En las imágenes de radar de apertura sintético la intensidad de la señal en el mar viene determinada fundamentalmente por la rugosidad de la superficie marina, debido a la escasa penetración de las microondas en el agua. Así, y considerando que la obser-

L. González-Vilas, J. M. Torres, G. Martínez-Iglesias, A. Mosquera y J. M. Corchado

vacación es oblicua, una superficie lisa no producirá casi retorno mientras que una superficie rugosa causará una retrodispersión significativa.

Generalmente, en una superficie rugosa con olas capilares y de gravedad generadas por el viento se cumple la condición de resonancia de Bragg, que será así el principal mecanismo de retrodispersión. Sin embargo, la presencia de hidrocarburos o sustancias orgánicas similares provoca la formación de capas que alteran la tensión superficial, amortiguando este tipo de ondas y reduciendo la rugosidad. En consecuencia, los hidrocarburos aparecen en las imágenes radar como zonas oscuras que contrastan con un fondo más brillante (Alpers y Huhnerfuss, 1988).

A pesar de las ventajas de la detección remota, se trata de un proceso complicado y con ciertas limitaciones. Así, hay una importante influencia de la velocidad del viento predominante. Por un lado, cuando es inferior a 2 ó 3 m/s, no se cumple la condición de Bragg y la baja retrodispersión de la señal provoca que no haya el contraste suficiente entre un posible vertido y su entorno para poder ser identificado. Por otro, con velocidades superiores a los 12 m/s las manchas pueden desaparecer bajo el agua debido a la redistribución por parte de las olas superficiales y la mezcla que se produce en la capa superior del océano por efecto del viento.

Otro problema es la presencia de otros fenómenos que dan lugar a firmas similares a la de los derrames de hidrocarburos (Espedal, 1998), como pueden ser: efectos atmosféricos, como lluvias muy intensas; fenómenos oceanográficos, como ondas internas o zonas de afloramiento; zonas de baja velocidad de viento debidos a la topografía costera; acumulaciones de sustancias naturales, como los desarrollos algales y fenómenos asociados a la actividad humana, como las estelas de corriente en las plataformas petrolíferas.

METODOLOGÍA

Fuentes de datos

Para este estudio se utilizaron 53 imágenes de 28 días diferentes del sensor ASAR a bordo del satélite ENVISAT, adquiridas durante los meses siguientes al accidente del Prestige y que abarcan toda la zona afectada. ASAR opera en banda-C (5.331 GHz) y permite adquirir datos en diferentes modos y polarizaciones. Las imágenes utilizadas fueron adquiridas en el Modo de Barrido Ancho (WS

mode), con una resolución espacial media de 150 m y una amplia cobertura (400 x 400 km).

Además de las imágenes radar, el sistema permite la integración de otro tipo de datos que pueden ayudar a la discriminación de los vertidos:

- *Datos de vientos*: Se utilizaron campos de viento derivados del escaterómetro SeaWinds, a bordo del satélite QuickScat, con una resolución espacial de 0.25°. Se emplearon también datos derivados de modelos oceanográficos o meteorológicos, como MASS o MERCATOR. Son muy importantes ya que la capacidad de detección de vertidos depende directamente del módulo del viento.
- *Imágenes de color*: Se utilizaron los sensores MERIS, con imágenes simultáneas a las de ASAR, y MODIS. Estas imágenes permiten derivar la concentración de clorofila, y de ahí la posible presencia de blooms algales, o ayudar a reconocer posibles efectos atmosféricos, que puedan dar lugar a falsas alarmas.
- *Imágenes de temperatura*: Los datos de temperatura superficial marina derivados de los sensores AVHRR o ENVISAT AATSR permiten identificar fenómenos oceanográficos que puedan ocasionar firmas similares a la de los derrames en las imágenes radar.
- *Imágenes de Meteosat*: Permite identificar fenómenos meteorológicos que puedan afectar a las imágenes radar.

Por último, también se utilizaron los datos de observación de vertidos llevadas a cabo desde barco, avión, helicóptero o costa durante todo el periodo de la catástrofe, para poder verificar así los resultados de la detección a partir de las imágenes.

Algoritmos de detección

El sistema de detección de vertidos que proponemos consta de dos partes fundamentales: primero, la aplicación de un algoritmo de clasificación que permita la extracción de aquellas firmas de la imagen radar sospechosas de ser vertidos de hidrocarburos, y segundo, de un análisis de estos objetos previamente identificados y aplicación de una serie de máscaras para poder discriminar entre los vertidos reales y los que no lo son.

El algoritmo de clasificación que implementamos en nuestro sistema es automático y muy sencillo, trata de reducir la intervención de un operador y de disminuir el tiempo computacional, de forma que se puede tener resultados en menos de una hora desde

que la imagen es recibida. Antes de aplicar dicho algoritmo, se lleva a cabo un procesamiento inicial, consistente en la generación de la imagen de retrodispersión, georeferenciación y enmascaramiento de las zonas de tierra.

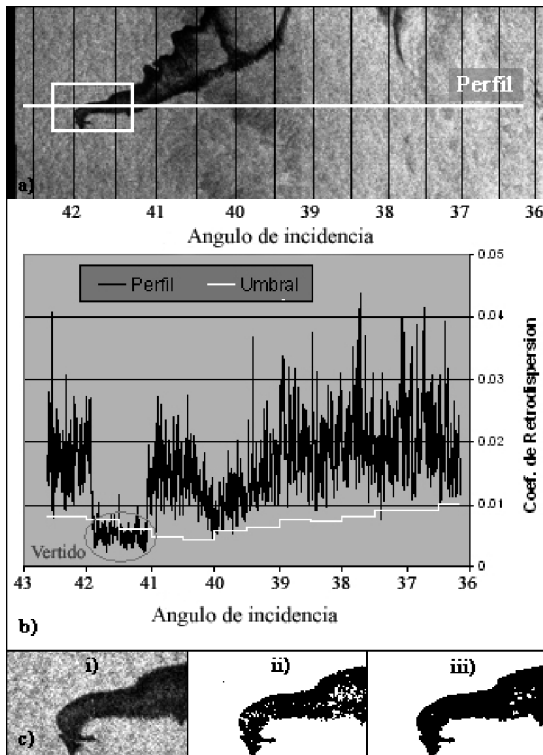


Figura 1. a) Fragmento de una imagen ASAR del 17 de noviembre del 2002. Se dibuja un transecto atravesando una zona de vertido b) Perfil del transecto dibujado en a), representando coeficiente de retrodispersión frente a ángulo de incidencia, así como el umbral calculado para cada zona de la imagen. c) Píxeles seleccionados en el vertido mostrado en a), tras los pasos de umbralización (ii) y filtrado (iii).

El algoritmo de clasificación en sí se basa en una umbralización, es decir, aquellos píxeles con valor inferior a cierto umbral son clasificados como posibles vertidos (Figura 1). El problema radica en la selección automática del umbral a partir de información extraída a partir de la imagen, ya que un umbral único no es eficaz porque en condiciones normales de viento y oleaje (con dispersión resonante de Bragg) existe una atenuación de la intensidad de la retrodispersión con el ángulo de incidencia, que varía en la dirección del rango.

Para solucionar el problema utilizamos una umbralización dinámica. Conocido el ángulo de

incidencia local para cada píxel, se delimitan diferentes regiones dentro de la imagen definidas según un rango de ángulos. Después se calcula y aplica un umbral distinto para cada una de estas regiones.

Dicho umbral se calcula como la media menos la desviación estándar de los píxeles con un valor inferior al 10% de la frecuencia acumulada del histograma de la región correspondiente. En el cálculo solo se consideran áreas marinas y no se tienen en cuenta los píxeles con un coeficiente superior a 1, que corresponderían a barcos.

Posteriormente, y con el objetivo de conseguir una mayor coherencia espacial o para eliminar píxeles aislados o pequeños grupos por no considerarlos significativos debido a su tamaño, se aplica un filtro moda de tamaño de kernel definido por el usuario tanto a los píxeles inicialmente clasificados como vertidos como a los no clasificados.

Análisis de las manchas y aplicación de máscaras

Una vez llevado a cabo el proceso de detección el sistema lleva a cabo una digitalización de los resultados, de forma que el borde de las firmas sospechosas de ser vertidos detectadas a partir de las imágenes es extraído y guardado como una capa vectorial georeferenciada.

Además, para cada signatura se obtienen una serie de parámetros adicionales que se guardan en la base de datos asociada. Estos parámetros pueden servir de ayuda no solo en su validación como un posible vertido, sino que pueden ser valiosos a la hora de evaluar el posible riesgo que supone esa mancha y las medidas a tomar. Proporcionan información sobre la localización, forma, tamaño, distancia a la costa, o retrodispersión media.

El último paso es la verificación para tratar de discriminar que signaturas son vertidos reales y cuales no. Para ello se realiza un análisis contextual basado en la aplicación de máscaras derivadas a partir de las fuentes de datos previamente comentadas (vientos, imágenes de color, imágenes de temperatura, imágenes meteorológicas). Para conseguir una correcta integración de los datos a pesar de las diferencias en la resolución espacial, el sistema obtiene una capa vectorial georeferenciada limitando el área donde pudieran aparecer falsas alarmas para cada caso, como pueden ser zonas con velocidades de viento inferior a 2 m/s o áreas de afloramiento, extraídas de imágenes de temperatura superficial marina a partir de gradientes termicos. Esta capas pueden ser superpuestas en un sistema

L. González-Vilas, J. M. Torres, G. Martínez-Iglesias, A. Mosquera y J. M. Corchado

de información geográfica, de forma que es posible descartar automáticamente o mediante la intervención de un experto muchos de los objetos previamente clasificados como posibles vertidos, aumentando notablemente la eficacia del sistema.

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, analizándose la distribución espacial y temporal de la marea negra (González y Torres, 2005).

Analizando los objetos (signaturas) previamente detectados por el algoritmo de clasificación, nos encontramos con diferentes categorías:

- **Manchas verificadas:** objetos que han sido verificados como hidrocarburos al encontrarse una coincidencia espacial y temporal con los datos de observación de campo desde aviones, helicópteros y barcos, o por estar localizados directamente en el área del hundimiento.
- **Alta probabilidad de manchas:** Objetos con una alta probabilidad de ser manchas, aunque no se

tienen datos de observaciones visuales que permitan su verificación. Se corresponden a signaturas oscuras dentro de áreas de viento uniforme bastante alejados de la costa.

- **No manchas:** Agrupamos en esta categoría aquellos objetos que han sido enmascarados y que por tanto sabemos con certeza que no son manchas.
- **Indeterminados:** Aquellos objetos que no entran en las categorías anteriores.

Imagen del 3 de Diciembre del 2002	
Nº de objetos detectados:	71
Verificados como manchas:	12
Alta probabilidad:	29
No manchas:	25
Indeterminadas:	5
Área (km ²)	6.565011 ± 26.917127
Perímetro (km)	11.395012 ± 27.564688
Distancia a la costa (km)	10.132346 ± 8.354181
Área externa (km ²)	8.491449 ± 35.660412
Área/Perímetro	3.919255 ± 4.306379
Rectangularidad	0.533277 ± 0.113490
Circularidad	0.992996 ± 0.443337
Radio de aspecto	11.395012 ± 27.264688
Coefficiente de retrodispersión	0.005086 ± 0.000690
Gradiente	0.003480 ± 0.001175

Tabla 1. Resumen de los parámetros derivados para los objetos detectados en la imagen del día 3 de Diciembre (media ± desviación estandar de cada parámetro).

Anexo

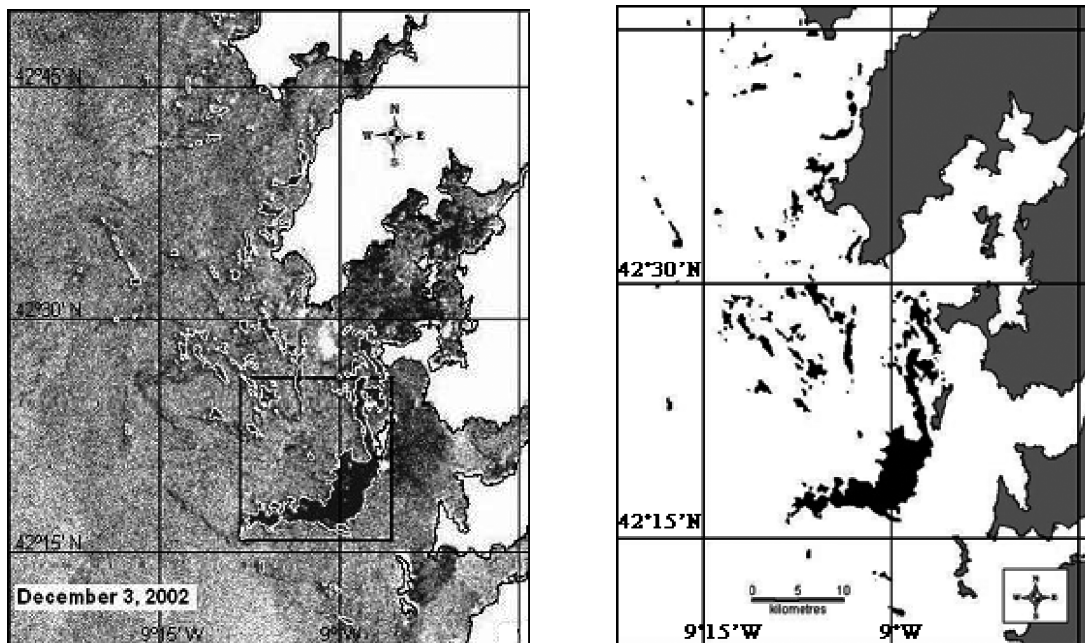


Figura 2. Imagen radar del 3 de Diciembre con las señales detectadas frente a las Rias Baixas (izquierda) y resultado de la vectorización e integración en el SIG (derecha).

En la Figura 2 (Anexo) tenemos un ejemplo de la vectorización de los resultados de la detección para su integración en el SIG, para una imagen del 3 de Diciembre del 2002, en plena catástrofe del Prestige. La Tabla 1 resume alguna de las características de las firmas detectadas para el mismo día.

CONCLUSIONES

A la vista de los resultados, podemos concluir que la teledetección resulta muy útil para la detección y seguimiento de vertidos de hidrocarburos en el océano. Sin embargo, la integración de datos adicionales en el sistema y la intervención de un experto es indispensable para lograr una mayor fiabilidad, ya que la imagen de radar por sí sola no es suficiente para conseguir buenos resultados.

El sistema funciona mejor para vertidos de tamaño medio-grande ocurridos en plataforma. Cerca de la costa y dentro de las rías aparecen numerosas falsas alarmas causadas por zonas de remanso de viento, por lo que convendría usar imágenes radar de mayor resolución, que permitiesen además detectar vertidos de menor tamaño con fiabilidad.

El sistema no funciona actualmente de forma operacional, aunque se espera que pudiera serlo en un futuro próximo, al término del actual proyecto en Diciembre del 2006.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo se realizó en el marco de los proyectos ENVISAT AO623 y CONTINMAR.

BIBLIOGRAFÍA

- ALPERS, W. y HÜHNERFUSS, H. 1988. Radar signatures of oil films floating in the sea surface and the Marangoni effect. *J. Geophys. Res.* 93: 3642-3648
- GONZÁLEZ, L. y TORRES, J. M. 2005. 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 EARSE*: 489-497.
- FINGAS, M. F. y BROWN, C. E. 1997. Review of oil spill remote sensing. *Spill Sci. Tech. Bull.* 4 (4): 199-208.
- ESPEDAL, H. A. 1998. Oil spill and its looks-alikes in ERS SAR imagery. *Earth Obs. Remote Sens. Russ. Acad. Sci* 5: 94-10.