

## TELEDETECCION AEROPORTADA EN EL SEGUIMIENTO DEL VERTIDO DEL PETROLERO *PRESTIGE*

A. Fernández-Renau, J.A. Gómez, M.A. Domínguez-Barroso, E. de Miguel

[fdezra@inta.es](mailto:fdezra@inta.es)

Área de Teledetección. INTA. Cta. Ajalvir s/n. 28850 Torrejón de Ardoz - Madrid

**RESUMEN.** Tras el vertido de fuel en las costas gallegas a raíz del accidente del petrolero *Prestige*, las instituciones implicadas en las tareas de observación y limpieza tuvieron presente la posibilidad de usar datos de teledetección. El INTA fue requerido por el grupo de oceanografía del Comité Científico como responsable de la asesoría en materia de teledetección. Las acciones emprendidas fueron una campaña con un sensor Daedalus ATM y otras con un SAR aeroportado propiedad de TELAER (Italia), así como el seguimiento del uso de datos de satélite (ENVISAT ASAR y RADASAT SAR). El presente artículo discute aspectos operativos y radiométricos de estas campañas. No ha sido posible demostrar la fiabilidad del SAR ni de las imágenes ópticas para la detección del fuel sobre el mar, debido a la difícil validación de las observaciones; además, las dificultades operativas y de observación penalizan la utilidad de los datos. Por otra parte, las imágenes ópticas son muy interesantes para la caracterización oceanográfica y costera del área a monitorizar.

**ABSTRACT.** Following the oil spill from tanker *Prestige* off the coast of Galicia (NW Spain), the institutions involved in the spill monitoring and cleaning tasks were aware of the interest of using remote sensing tools. INTA was appointed by the oceanographic board as the core center for this purpose. INTA collaboration was flight campaigns with a multispectral scanner Daedalus ATM and a SAR from TELAER (Italy), while keeping an eye on the use of spaceborne systems (mainly ENVISAT ASAR and RADASAT SAR). This paper discusses operational and radiometric aspects from both campaigns. The validation of both SAR and optical imagers for oil detection has not been possible, mainly due to the lack of reliable ground truth; in addition, operational constraints put further difficulties in the data utility. On the other hand, visible-thermal images are interesting as a source of knowledge on the conditions and status of the area affected by the spill.

Palabras clave: teledetección, vertidos de petróleo

### INTRODUCCION

La localización de manchas de petróleo sobre el mar y en la costa es por definición un problema de teledetección. Las singularidades de esta aplicación de la teledetección son:

-normalmente interesa principalmente la detección (estudio cualitativo), y en segundo término el análisis cuantitativo del problema

-la detectabilidad de hidrocarburos sobre el agua es limitada en el visible, posible en térmico, y muy probable en microondas

-la extensión del área de estudio es muy variable, pudiendo ser desde local hasta regional

-el fenómeno a detectar es pequeño (del orden de metros), ya que localizar manchas pequeñas puede ser importante.

Existe un amplia bibliografía sobre el tema (p.e. Sloggett, 1995, Fingas et al., 1999, Pavlakis, 2001). Hay un consenso entre los expertos en que la herramienta más útil para el seguimiento de las manchas es el SAR, y que por su flexibilidad de operación las plataformas aéreas deben ser consideradas.

Durante el mes de noviembre de 2002, y según se iba confirmando que el barco *Prestige* iba a soltar una parte considerable de su carga de fuel frente a las costas gallegas, se empezó a evaluar a diversos niveles (gestores, técnicos, científicos...) qué podría hacerse mediante teledetección frente a este problema. Desde el primer momento, el INTA estuvo atento a esta situación, y puso a disposición de las autoridades implicadas sus medios y conocimientos; una serie de instituciones (pertenecientes al Ministerio de Defensa, Ministerio de Fomento, IEO...) mostraron su interés. El INTA decidió realizar una campaña de vuelos con el sensor DS-1268 ("ATM"), y ofrecer los datos a los potenciales usuarios. Poco después, el comité científico que coordinó las actividades de la comunidad investigadora creó un grupo de oceanografía operacional, bajo la dirección de Joaquín Tintoré (CSIC/IMEDEA). Este grupo solicitó al INTA la asesoría en temas de teledetección. Toda esta situación cristalizó en una serie de acciones: la decisión fue un proceso dinámico, retroalimentado por la evolución del vertido, las condiciones meteorológicas, operativas e incluso administrativas. En el presente trabajo se detallan estas acciones.

## IMAGENES DE SATELITE

El INTA, por su posición de centro nacional experto en teledetección y distribuidor de imágenes de satélite, evaluó el posible uso de estas en la lucha contra el vertido. Se contaba además con la experiencia adquirida en el programa ERGOS destinado a la monitorización de vertidos ilegales de fuel en la zona de cobertura de la estación espacial ESA/INTA en Maspalomas (Gran Canaria). Atendiendo a las características del problema y la experiencia existente, solo los SAR fueron considerados.

RADARSAT, satélite operado por RSI, estuvo desconectado para solucionar un problema en su sistema de orientación desde el 27 de noviembre al 30 de diciembre.

Los SAR de ERS-2 y ENVISAT, satélites de la Agencia Espacial Europea, en cumplimiento del Acuerdo Internacional sobre Espacio y Grandes Catástrofes, fueron programados justo después del accidente de manera que adquirieran la mayor cantidad de imágenes posibles sobre la costa gallega. Según dicho acuerdo firmado por algunas agencias espaciales como la ESA, la Agencia Espacial de Canadá o el CNES francés, en caso de desastres de cualquier índole, se pone la tecnología de detección por satélite al servicio de las agencias locales de protección civil. En el caso del accidente del *Prestige*, este acuerdo fue activado el 14 de noviembre de 2002 por la Unidad de Protección Civil y Accidentes Ambientales de la Comisión Europea.

Los resultados obtenidos (algunos de ellos visibles en la página web [earth.esa.int](http://earth.esa.int)) han sido muy variables, dependiendo de las condiciones de la superficie del mar. En general, ha sido difícil asegurar la localización de manchas de fuel a partir de estos datos, ya que la señal del fuel en microondas no es inequívoca: otros fenómenos oceanográficos tienen un aspecto similar. Además no existen imágenes con la resolución temporal requerida para un seguimiento eficaz de la trayectoria y evolución de las manchas.

## TELEDETECCION AEROPORTADA

### **ATM**

El ATM es el sensor multispectral aeroportado que opera el INTA desde 1991. Ya anteriormente fue utilizado en el reconocimiento de vertidos de petróleo (de Miguel et al., 1993); en aquella ocasión, el canal térmico se mostró útil para la detección de

petróleo flotando sobre el mar, pero ya entonces los aspectos operativos fueron desfavorables: dificultad en disponer de información fiable sobre la posición y características del vertido en el momento del vuelo, nubes abundantes, bajo ángulo solar, imposibilidad de procesar las imágenes en tiempo real... Dichos problemas volvían a estar presentes en esta ocasión, pero aún así se decidió realizar una campaña de vuelos, con un doble objetivo:

- proporcionar al comité científico datos para conocer *a posteriori* la evolución y trayectoria de manchas y para la caracterización físico-química de la zona de estudio y
- disponer de datos para determinar la detectabilidad de las manchas en el visible y térmico.

La campaña se realizó el 5 de diciembre de 2002.

- zona cubierta: costa oeste gallega (figura 1)
- Horas de vuelo: 11:30 a 13:30 GMT (vuelo diurno), 18:30 a 21:00 GMT (vuelo nocturno)
- Altura de vuelo respecto al terreno: 2.750 m.
- FOV / IFOV: 85.9° / 2.5 mrad.
- Resolución en el nadir: 6.8 m.
- Cobertura transversal: 5100 m.
- Configuración espectral:

canal	$\lambda$ min ( $\mu\text{m}$ )	$\lambda$ max ( $\mu\text{m}$ )
1	0.42	0.45
2	0.45	0.52
3	0.52	0.60
4	0.60	0.62
5	0.63	0.69
6	0.69	0.75
7	0.76	0.9
8	0.91	1.05
9	1.55	1.75
11	3.00	5.00
12	8.50	13.00

- Meteorología: nubes bajas dispersas (entre 1/8 y 2/8) durante el día, casi despejado por la noche.

El INTA se planteó generar, en el menor tiempo posible, productos sencillos de manejar y útiles para el usuario. Con estas ideas de partida, se optó por:

- seleccionar tres canales en la zona reflectiva del espectro, para que el usuario genere una combinación RGB sintetizando la información presente en ese rango espectral; los canales seleccionados son ATM2 y ATM3 por su sensibilidad a la reflectancia del agua, y ATM6 por su sensibilidad a la reflectancia de vegetación y su buena discriminación de la línea de costa - estas imágenes reflectivas están muy condicionadas por la presencia de nubes, que tapan parte de la imagen y "contaminan" con su sombra (desplazada respecto a la posición observada de la nube dado el bajo ángulo de iluminación solar) parte de las zonas libres de nubes;

-mantener un canal térmico, donde la información está usualmente poco correlacionada con la zona reflectiva del espectro - en teoría, el fuel podría aparecer más frío debido a su menor emisividad ( $\approx 0.96$  frente a  $\approx 0.98$  en el agua pura), pero diversos factores pueden modificar la temperatura superficial aparente del fuel y enmascarar este efecto;

-no realizar enmascaramientos de nubes, aplicación de filtros, componentes principales u otras técnicas que aun siendo útiles para la interpretación de las imágenes dificultan la automatización del proceso;

-georeferenciación automática de baja exactitud, que permite orientar las imágenes correctamente y asociar a los pixels coordenadas UTM con errores del orden de 150 m.

-la pasada sobre la Isla de Ons fue elegida para un análisis más detallado, en busca de la signatura espectral y térmica del fuel. Para ello se procedió en primer lugar a una georeferenciación más exacta. Esta se consiguió mediante el uso de puntos de control sobre cartografía 1:25000 (para la imagen nocturna, la fuente de puntos de control fue la imagen diurna), y la aplicación de un algoritmo de elementos finitos "thin plate spline". El error esperable es del orden de 25 m, debido principalmente a la escala de la cartografía de referencia y a la no consideración del relieve (entre 0 y 125 m en este caso).

Para la detección del fuel, se inspeccionaron visualmente diversas imágenes:

-canales originales, tanto diurnos como nocturnos

-cocientes entre canales visibles y térmicos

-índices de reflectividad  $ATMi/\sum(ATMi) \forall i$

-varias clasificaciones no supervisadas.

Se identificaron algunas estructuras compatibles con acumulaciones de fuel junto a la costa, y sobre playas o agua abierta. Con la limitada verdad terreno disponible, sin embargo, no es posible por el momento asegurar que se trate de hidrocarburos.

### SAR

Como resultado de gestiones realizadas por el INTA, el Gobierno italiano, a través del Consorcio TELAER, cedió gratuitamente un SAR aeroportado para adquisición de imágenes RADAR de alta resolución espacial. La misión encomendada a este equipo fue la adquisición de imágenes sobre la zona de hundimiento del *Prestige*, para comprobar la disminución efectiva de manchas de petróleo en superficie a medida que avanzaban las tareas de sellado del casco.

Se trata de un SAR banda X con una potencia pico de 2.5 Kw y polarización HH. El sensor va instalado a bordo de un Learjet 35A, que permite volar a unos

25.000 pies y obtener una cobertura de entre 2.000 y 15.000 m. La resolución espacial de las imágenes depende del grado de proceso y se puede obtener un píxel de hasta 0.5 m. Para la campaña de Galicia se utilizó una estación de proceso móvil que permitió obtener imágenes procesadas en unas 4 horas desde la adquisición de los datos, con una cobertura de 7 Km y una resolución de 6 m. La corrección geométrica de las imágenes se realizó mediante un sistema inercial en tiempo real. La participación de expertos en SAR del INTA facilitó la puesta a punto del sistema.

La zona volada fue un área de 70 x 70 km en torno al punto de hundimiento del barco; también se adquirieron algunas imágenes sobre las Islas Cíes y otras zonas cercanas a la costa. Por razones de gestión y operativas, las campañas no empezaron hasta mediados de enero de 2003 y se extendieron hasta el 6 de febrero. Los vuelos no pudieron realizarse diariamente debido a las malas condiciones meteorológicas, lo que impidió el seguimiento de las posibles manchas de fuel detectadas. Esto unido a la imposibilidad de contrastar las imágenes con datos de reconocimiento de manchas sobre el terreno, ha impedido realizar un análisis de fiabilidad de los datos obtenidos. Se hallaron posibles manchas de fuel en 5 de los 13 vuelos realizados (p.e. ver figura 2), y en tres ocasiones fue posible contrastar la presencia de manchas de fuel detectadas en las imágenes con datos de avistamientos desde barco o helicóptero.

### CONCLUSIONES

Nuestra experiencia es que en la actualidad la tecnología más apropiada para la detección de vertidos de petróleo es el SAR. Sin embargo presenta una serie de limitaciones importantes:

- imposibilidad de distinguir inequívocamente masas de fuel con zonas de calma, frentes oceanográficos, áreas impregnadas con algunos tipos de sustancias oleosas,

- insuficiente resolución geométrica en SAR espacial para estudiar la zona costera

- las condiciones meteorológicas adversas limitan la detección, y en el caso de SAR aeroportado también limita la operación,

- imposibilidad de detectar manchas que circulen bajo la superficie del agua,

- dificultad para adquirir datos con la frecuencia necesaria, y por tanto realizar un seguimiento continuo de las manchas.

A todo esto se le une el elevado coste que puede suponer el proceso de datos en tiempo real, tanto de satélite como de avión, y los altos costes de operación en este segundo caso.

A pesar de estas limitaciones, los datos SAR siguen siendo la única técnica operativa para registrar y documentar los vertidos sobre el mar, siendo más útil cuando haya coordinación directa entre los organismos operativos.

Para vigilancia, los satélites ofrecen una cobertura espacial y temporal adecuada. Sin embargo, en caso de accidente, los SAR aeroportados ofrecen más capacidad de maniobra para desplazar las observaciones hacia las zonas afectadas.

Los datos visible/IR están muy limitados por las desfavorables condiciones meteorológicas esperables en invierno, y por la baja detectabilidad del fuel. Aún así, sus datos son útiles también ante una situación de emergencia, por el apoyo que dan al conocimiento oceanográfico en el momento del accidente.

**BIBLIOGRAFIA**

de Miguel, E., Fernández-Renau, A., Gómez, J.A., 1993. Uso de sensores multiespectrales aeroportados en el reconocimiento de áreas afectadas por vertidos de petróleo. *Ordenación del Territorio y medio marítimo (V reunión AET)*. Cantón (ed.) Servicio de publicaciones- Univ. Las Palmas de Gran Canaria.

Fingas, M.F., Brown, C.E., 1999. Review of new developments for oil spill remote sensing. *Proc. 4th Int. Airborne Remote Sensing Conference*. ERIM

Pavlakis, P., 2001. On the Monitoring of Illicit Vessel Discharges. European Commission - EUR 19906 EN.

Sloggett, D.R., Jory, I.S., 1995. An operational, satellite-based European oil-slicks monitoring system. *Sensors and Environmental Applications of Remote Sensing*. Askne (ed). EARSeL -Balkema

**AGRADECIMIENTOS**

La colaboración del consorcio TELAER hizo posible la realización de campañas aeroportadas SAR. El apoyo por parte del CECAF, y de José Manuel Cabanas y resto de personal del IEO en Vigo, fue inmejorable.

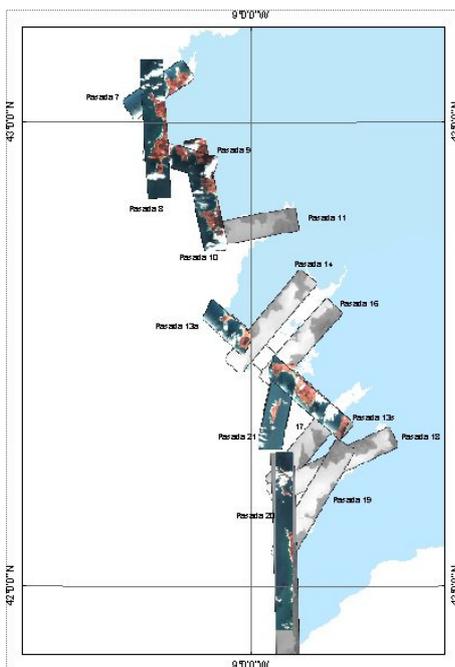


figura 1: pasadas ATM

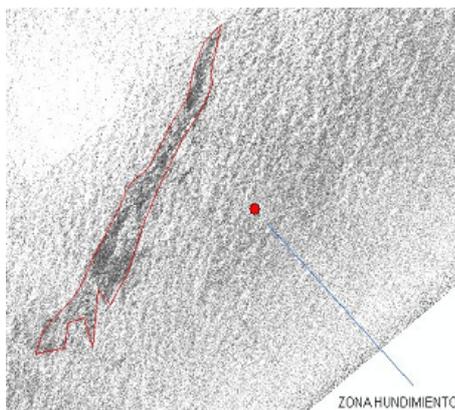


figura 2: ejemplo de estructura compatible con mancha de fuel vista con SAR aeroportado