

El uso de sensores multispectrales aeroportados en el reconocimiento de áreas afectadas por vertidos de petróleo

E. de Miguel Llanes; A. Fernández-Renau González-Anleo;

J.A. Gómez Sánchez

Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

RESUMEN

El presente trabajo trata de determinar las posibilidades de identificación de manchas de petróleo en la superficie del mar mediante sensores multispectrales aeroportados. Se han utilizado imágenes obtenidas por el INTA con el sensor Daedalus-1268 sobre el vertido de petróleo procedente del naufragio del buque *Aegean Sea*. Se identifican en las imágenes térmicas manchas de crudo, con ayuda de datos obtenidos sobre el terreno. Se obtiene su valor en los 11 canales disponibles, y se compara con la de áreas de mar no contaminado en la misma escena. El canal 12 (8.5-13 μm) y el ratio canal 12/canal 11 (3-5 μm) dan la mayor separabilidad.

ABSTRACT

The purpose of this study is to define the capabilities of airborne multispectral scanners in monitoring oil spills. Daedalus ATM images showing the *Aegean Sea* oil spill, acquired by INTA, has been analysed. Oil patches were identified in the thermal images with the help of ground data. The spectral signature of the oil in the ATM channels (0.42 to 13 μm) was obtained and compared with non polluted water in the same image. Channel 12 (8.5-13 μm) and the ratio channel 12/channel 11 (3-5 μm) give the best images to separate water and oil.

Introducción. Antecedentes

Existe un gran interés por contrastar las posibilidades de la teledetección en la recogida de información sobre mareas negras. Información que pudiera ser útil tanto para auxiliar en las labores de control y limpieza, como para avanzar en el conocimiento de los procesos que siguen al vertido y desarrollar modelos sobre estos fenómenos. En la última década existen muchos ejemplos de la utilización de la teledetección en este sentido, aplicándose distintas técnicas (sensores activos o pasivos, plataformas espaciales o aviones...). Cada sistema de detección tiene sus características (y sus inconvenientes). Una revisión de estas puede encontrarse en (Francis, 1992).

Si nos centramos en el uso de sensores pasivos, al consultarse los trabajos realizados se descubre una cierta confusión. La variabilidad en el tipo de petróleo vertido, en las características del área donde se produce el vertido y en las condiciones meteorológicas puede explicar esta falta de un modelo estable de observación de manchas de petróleo, que se comprueba en la bibliografía sobre el tema, por ejemplo comparando (Stringer et al 1992), (Cecamore et al. 1992) y (Geraci et al 1986).

Adquisición de datos

Con motivo del naufragio frente a la ciudad de La Coruña del petrolero Aegean Sea en la madrugada del 3 de diciembre de 1992, y el consiguiente derrame de su carga (80.000 t de crudo), el INTA realizó una campaña de vuelos con el sensor DS-1268 sobre las zonas afectadas, con el fin de estimar las posibilidades de sensores de este tipo en la lucha contra las mareas negras. Las características de este sensor se aprecian en la figura 1.

Debido a la adversa meteorología, la campaña de vuelos sobre la zona afectada por el vertido no pudo realizarse hasta el día 12 de diciembre, 9 días después del naufragio. Se realizaron dos sobrevuelos: uno nocturno desde la 01.00 hasta las 05.00 del día 12, y otro diurno desde las 13.00 a las 15.00 horas del mismo día. En ambos casos la zona cubierta fue la misma (ver figura 2), e igualmente los parámetros de adquisición:

- altura: 2700 m
- IFOV: 2.5 mrad
- tamaño píxel: 6.9 * 6.9 m. en el nadir
- configuración: ATM + 3-5 + 8.5-13

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- IFOV (Instantaneous Field Of View):	2.5 ó 1.25 mrad. (Selec.)
- FOV (Digitized Field Of View):	85.92° (IFOV = 2.5 mrad) 42.96° (IFOV = 1.25 mrad)
- Velocidad de scanning:	12.5, 25, 50 y 100 r.p.s.
- Máxima corrección de roll:	± 15°
- Cuerpos de referencia:	Dos cuerpos negros con control térmico.
- Palabras vídeo por línea de scanning:	716
- Corrección S-Bend en vuelo:	Seleccionable.

El uso de sensores multiespectrales aeroportados en el reconocimiento de áreas afectadas por vertidos de petróleo

CANAL	CONFIGURACIÓN ATM DS-1268	DS-1268 OPCIÓN 3-5 μm	CONFIGURACIÓN CZCS
1	0,42-0,45 μm	0,42-0,45 μm	0,423-0,463 μm
2	0,45-0,52 μm (TM1)	0,45-0,52 μm	0,480-0,500 μm
3	0,52-0,60 μm (TM2)	0,52-0,60 μm	0,508-0,532 μm
4	0,60-0,62 μm	0,60-0,62 μm	0,543-0,577 μm
5	0,63-0,69 μm (TM3)	0,63-0,69 μm	0,580-0,630 μm
6	0,69-0,75 μm	0,69-0,75 μm	0,638-0,702 μm
7	0,76-0,90 μm (TM4)	0,76-0,90 μm	0,715-0,815 μm
8	0,91-1,05 μm	0,91-1,05 μm	0,830-0,940 μm
9	1,55-1,75 μm (TM5)	1,55-1,75 μm	1,55-1,75 μm
10	2,08-2,35 μm (TM7)	N/A	2,08-2,35 μm
11	8,50-13,0 μm (TM6)	3,0-5,0 μm	8,50-13,0 μm
12	8,50-13,0 μm	8,50-13,0 μm	8,50-13,0 μm

Figura 1
Configuraciones espectrales posibles

A partir de los datos recogidos durante la campaña de vuelos, se escogieron escenas que sirvieran de zonas piloto para el estudio. La localización de estas se realizó de acuerdo a los mapas de distribución de acumulaciones de petróleo facilitados por la Delegación de Pesca en La Coruña (Consejería de Pesca, Xunta de Galicia).

Estos mapas fueron realizados mediante observaciones visuales desde helicóptero o avioneta, en vuelos que se realizaban dos veces al día (amanecer y atardecer) todos los días desde que se produjo el vertido. Es el único documento sobre distribución del petróleo al que ha podido acceder el INTA. Es el documento que servía de base para la dirección de las tareas de limpieza. Según estos mapas, persistían en aquel momento varias acumulaciones de petróleo cerca de la costa gallega, fundamentalmente en las proximidades de la Torre de Hércules y en la entrada de la Ría del Ferrol (figura 3).

Estas manchas de crudo se situaban a lo largo de la pasada P4 de la campaña de vuelos del INTA. Se procedió por tanto a analizar dicha pasada, y se escogió una escena de 512X512 píxels en la que se cubría una de las principales acumulaciones recogidas por los datos de la Delegación de Pesca.

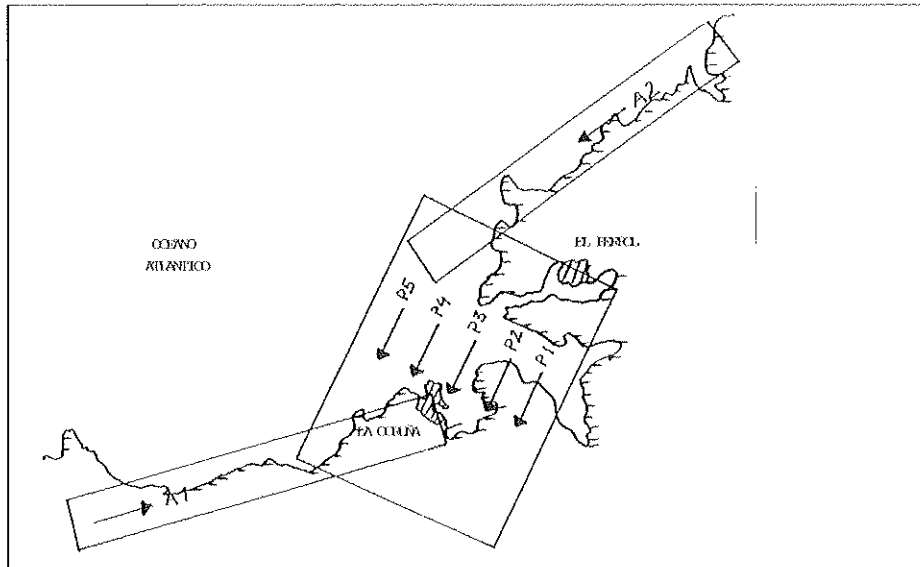


Figura 2
Diciembre, 1992. Vuelos sobre el vertido de petróleo del "Aegean Sea".
Pasadas realizadas y zonas cubiertas. Escala 1:400.000

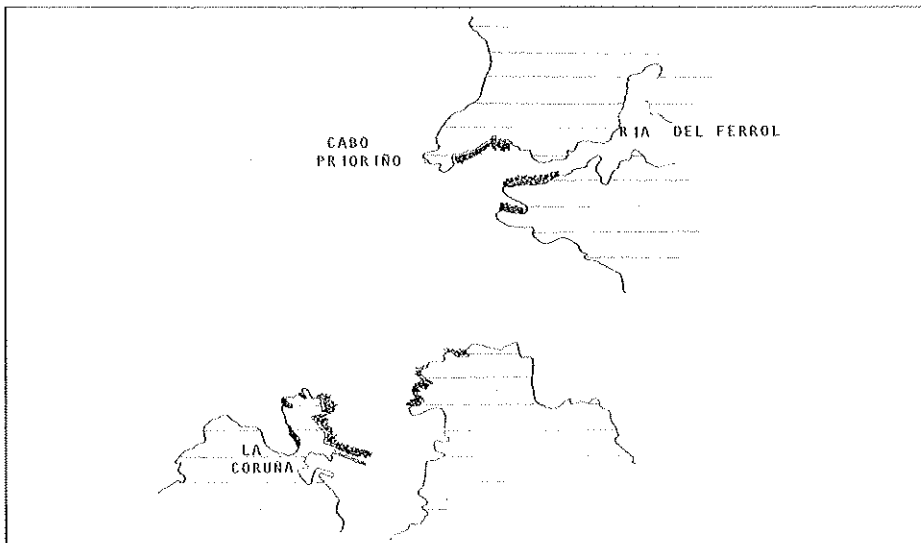
La escena corresponde al puerto de La Coruña y las proximidades de punta Herminia. Cubre un área de aproximadamente $3600 \times 3600 \text{ m}^2$.

No se consideró necesario efectuar una corrección geométrica de las imágenes, dado que no se necesitaba precisión cartográfica. Al tratarse de un estudio de las características relativas agua-petróleo, tampoco se realizó corrección de la interferencia atmosférica, ni se consideró necesario convertir los valores digitales en unidades de reflectancia o radiación.

Proceso de las imágenes

La escena seleccionada se incorporó al sistema de tratamiento de imágenes del Laboratorio de Teledetección del INTA para su proceso. En primer lugar, se trataba de identificar las manchas de petróleo en la escena. Posteriormente, se calcularía la signatura espectral de estas y se compararía con la del resto de la escena.

Para reconocer las manchas, se optó por realizar un reconocimiento visual del canal térmico, donde la menor emisividad del petróleo (0.96 para el petróleo y 0.986 para el agua para la región $8\text{-}12 \mu\text{m}$) le hace aparecer más frío que el agua en condiciones normales y para la mayor parte de los tipos de crudo (Salisbury et



FUENTE: Delegación de Pesca de La Coruña (Xunta de Galicia).

Figura 3
Acumulaciones de petróleo en la zona de La Coruña.
Día 12 de diciembre de 1992

al., 1993), aunque algunos autores han observado lo contrario (Cecamore et al., 1992).

Se observaron zonas relativamente frías, de bordes nítidos y formas explicables para un fluido de alta viscosidad, que correspondían a la apariencia esperada para las manchas de crudo. Algunas de estas áreas frías coincidían con los puntos señalados en los datos de verdad terreno para acumulaciones de petróleo; otras no aparecían señaladas. Además, algunos puntos señalados como cubiertos de petróleo no presentaban estas manchas.

Por tanto, no se podía constatar que todas estas manchas fueran acumulaciones de petróleo. La acumulación de evidencias, sin embargo, nos indujo a aceptar esta hipótesis de trabajo:

- coincidencia con la mancha observada en los mapas de la Delegación de Pesca.
- homogeneidad espectral de las diversas manchas entre sí.
- firma espectral coherente con la encontrada para el petróleo en suspensión (Stringer et al., 1992).
- forma de las manchas típica del petróleo.
- ausencia de otra explicación realista para este fenómeno.

Aparte de estas manchas nítidas, otras áreas de la imagen térmica aparecían también más frías que lo que podíamos llamar temperatura base del mar. Sin embargo, no eran zonas nítidas y aisladas, y su apariencia no correspondía a la esperada para un fluido flotando sobre otro de menor viscosidad. Su firma espectral no era equivalente a la de las manchas arriba descritas. Su localización no correspondía a la de ninguna acumulación señalada en los mapas, sino que ocupaban zonas en las que se informa de la existencia, en general y sin más detalles, de leves irisaciones. Se asumió por tanto que estas zonas más frías tenían un origen distinto que el de las precedentes.

Especialmente fría aparecía, por último, la zona del puerto de La Coruña, que según los datos de la Delegación de Pesca quedó libre desde un primer momento de contaminación con petróleo.

Se procedió a calcular la firma espectral de cada una de las cuatro clases diferenciables en la imagen térmica, es decir:

- mar abierto (mar)
- mancha
- puerto
- otras zonas frías (agua fría)

con el fin de discernir entre ellas y a la vez poder reconocer en su comportamiento espectral el origen de cada clase.

Para ello se seleccionaron aleatoriamente 20 puntos en cada una de las clases en la escena. Se leyó el ND correspondiente a cada punto en cada uno de los canales del sensor DS-1268. Se calculó la media y la varianza para cada clase. Estos resultados se muestran en la tabla 1.

Aparte de la información multiespectral, existen otros tipos de información en una imagen de teledetección. Entre ellos se encuentra la información textural. Esta puede ser representada aplicando en cada píxel una función cuyo valor dependa de determinadas relaciones de ese píxel con los píxels vecinos. Dado que la presencia de petróleo en la superficie del mar causa, por su mayor viscosidad, un suavizamiento en el oleaje y por tanto puede influir en la reflexión de la radiación solar, se pensó estudiar la textura de la imagen como complemento al estudio multiespectral. Para ello se aplicó una función relacionada con la textura a cada píxel de la imagen en cada canal. La función elegida está basada en la entropía estadística:

$$S = -\log (P_i) * P_i$$

siendo P_i la probabilidad de que ocurra el suceso i , considerando en este caso cada nivel digital i de los presentes en una ventana $N \times N$ que recorre la imagen.

Se obtuvo una imagen de este índice para cada canal.

Análisis de los datos

Se procedió a tratar estadísticamente la tabla 1, para descubrir si había diferencias significativas en algún canal entre alguna de las clases. En primer lugar se realizó un contraste t para la hipótesis de que las medias eran diferentes en las parejas petróleo-resto de clases. Los resultados de este contraste, para un nivel de significación del 5%, se muestran en la tabla 2.

También se midió la distancia entre la clase petróleo y las otras tres mediante dos índices:

$$1) \text{ separabilidad } SP_{ij} = |m_i - m_j| / \sqrt{S_i^2 + S_j^2}$$

donde m = media muestral de la clase

s = desviación típica

$$2) \text{ divergencia transformada } DT_{ij} = 2 \cdot (1 - \exp(-D/8))$$

siendo

$$D = 0.5 \cdot (S_i^2 - S_j^2)^2 / S_i^2 \cdot S_j^2 + 0.5 \cdot (m_i - m_j)^2 \cdot (S_i^2 + S_j^2) / (S_i^2 \cdot S_j^2)$$

Los resultados se muestran en la tabla 3.

Del análisis de las tablas 1, 2 y 3 se dedujo que la relación canal 12/canal 11 podría aislar la clase petróleo del resto de clases. Se ensayaron algunas otras combinaciones sugeridas por la información precedente, pero no mejoraban los resultados obtenidos con esta relación. Por tanto, se aplicó este cociente a la escena. Sobre la imagen resultante se leyó el ND de los puntos que sirvieron para el cálculo de la firma espectral de cada clase. Se calculó, análogamente a lo anterior, la media y la varianza en cada clase y la distancia entre ellas y se contrastó mediante un test t la diferencia de las medias. Estos datos se presentan en la tabla 4.

Las imágenes de la entropía no dieron información útil.

Conclusiones

Del análisis de la signatura espectral de las clases seleccionadas, se observa que el canal 12 es el más apropiado para la distinción de la clase petróleo. Entre los canales reflectivos, ninguno permite por sí solo aislar la clase mancha de las otras tres.

En cuanto a imágenes formadas por combinación de las originales, la relación 12/11 es muy eficaz, resultando una separación de la clase petróleo mucho más precisa que con el solo uso del canal 12. Sólo algunos puntos aislados y algunas líneas, estas últimas correspondiendo a irregularidades en el registro y tratamiento de la señal térmica en el sensor, resultan con el mismo nivel que la clase mancha. Con filtros adecuados se pueden eliminar estos fallos de asignación; también daría buen resultado técnicas de identificación de objetos, ya que las manchas de petróleo nunca pueden aparecer como puntos aislados y además presentan cierta homogeneidad interna y un límite suficientemente neto.

Las combinaciones entre canales visibles o en el infrarrojo reflectivo no aportaron mejoras a la identificación del petróleo.

Por último, el pequeño tamaño de las manchas, entre otras posibles causas, imposibilita sacar provecho, mediante estudio de la textura de la imagen, de la probable disminución de la heterogeneidad en la clase petróleo.

Bibliografía

- Cecamore, P., Ciappa, A. and Perusini, V.:** 1992. Remote Sensing monitoring and hindcasting of the accident occurred to the tanker HEAVEN in the Gulf of Genoa. En Proceedings of the central symposium of the international space year conference, *ESA SP-341*, 715-718.
- Francis, J.:** 1992. Remote Sensing of oil spills in the marine environment. *Earth Space Review*, vol. 1, nº 3: 16-22.
- Geraci, A.L., La Rosa, G. and Del Re, L.:** 1986. Remote sensing of the oil spill in the strait of Messina. ESA/EARSel. symposium on Europe from Space, *ESA SP-258*, 109-114.
- Salisbury, J.W., D'Aria, D.M. and Sabins, F.F.:** 1993. Thermal infrared remote sensing of crude oil slicks. *Remote Sensing of Environment*, nº 45, 225-231.
- Stringer, W.J., et al.:** 1992. Detection of petroleum spilled from Exxon Valdez. *Int. J. Remote Sensing*, vol. 13, nº 5, 799-824.

TABLAS

CANAL:	MANCHA (m_1-m_2)	A. FRÍA (m_1-m_2)	PUERTO (m_1-m_2)	MAR (m_1-m_2)	MANCHA (σ)	A. FRÍA (σ)	PUERTO (σ)	MAR (σ)
1	0	2	-1,3	0,075	0,97	1,3	1,6	1,4
2	0	1,6	-0,97	0,43	0,77	1	0,91	1,2
3	0	1,7	-0,2	-0,17	0,59	0,63	0,71	1,3
4	0	0,76	-0,61	-0,54	0,69	0,59	0,55	1,2
5	0	0,53	-1,4	-1,1	0,71	0,67	0,39	1,2
6	0	0,05	-1,1	-1,1	0,32	0,22	0,45	0,45
7	0	-0,25	-1,2	-1,1	0,45	0,22	0,01	0,45
8	0	-0,2	-0,9	-0,65	0,32	0,45	0,01	0,45
9	0	-0,22	-0,19	-0,19	0,16	0,01	0,32	0,45
11	0	-3,1	-2,7	1	1	1,1	1	1,6
12	0	6,7	5,5	16	1,9	1,9	2,2	3,6

Tabla 1
DND medio respecto al de la clase petróleo para cada canal

CANAL:	t (1-2)	t (1-3)	t (1-4)
1	-	-	+
2	-	-	+
3	-	+	+
4	-	-	+
5	-	-	-
6	+	-	-
7	+	-	-
8	+	-	-
9	+	-	+
11	-	-	-
12	-	-	-

Tabla 2
Resultado del contraste de la hipótesis "ND medio mancha = ND medio clase 1", para $\alpha = 5\%$.
Clase 2 = agua fría; clase 3 = puerto, clase 4 = mar

CANAL	SEPARAB. (1-2)	SEPARAB. (1-3)	SEPARAB. (1-4)	DIVERG. (1-2)	DIVERG. (1-3)	DIVERG. (1-4)
1	1,8	1	0,065	0,72	0,37	0,058
2	1,8	1,2	0,44	0,72	0,33	0,15
3	2,8	0,31	0,2	1,3	0,04	0,33
4	1,2	1	0,58	0,34	0,26	0,27
5	0,76	2,8	1,2	0,14	1,4	0,47
6	0,19	2,9	2,8	0,071	1,4	1,3
7	0,79	18	2,5	0,42	2	1,1
8	0,53	16	1,7	0,13	2	0,7
9	5,7	0,84	0,71	2	0,44	0,76
11	3	2,6	0,79	1,3	1,1	0,28
12	3,6	2,7	6	1,6	1,2	2

Tabla 3

Dos medidas de la separabilidad entre la clase mancha y el resto de clases para cada canal

1. Separabilidad (columnas 1, 2 y 3):
$$S = \frac{|m_1 - m_2|}{\sqrt{S_1 * S_2}}$$

2. Divergencia (columnas 4, 5 y 6) = $2 * (1 - e^{-D/8})$ siendo:

$$D = \frac{1}{2} * \frac{(S_1^2 - S_2^2)^2}{S_1^2 * S_2^2} + \frac{1}{2} * \frac{(m_1 - m_2)^2 * (S_1^2 + S_2^2)}{S_1^2 * S_2^2}$$

	MANCHA	A. FRÍA	PUERTO	MAR
ND medio	145,1	166,7	163,9	171,4
σ	5,25	4,7	4,69	7,9
t_{1-i}	—	—	—	—
Sep _{1-i}	—	4,35	3,78	4,08
Div _{1-i}	—	2	2	2

Tabla 4

Medidas de la separabilidad entre las clases mancha y el resto de clases para el ratio canal 12 / canal 11