

## Observaciones mediante RADARSAT y ERS de las condiciones medioambientales en el Estrecho de Gibraltar

A. Platónov<sup>(1)</sup>, J.J. Martinez-Benjamin<sup>(2)</sup> y J.M. Redondo<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Dep. de Física Aplicada, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. C / J.G. Salgado s/n, Campus Nord, Modul B-4/5, E08034. alexei@fa.upc.edu, redondo@fa.upc.edu.

<sup>(2)</sup> Dep. de Ingeniería del Terreno, Cartografía y Geofísica, ETSECCPB, UPC, , Campus Nord, Modul B-4/5, E08034, benjamin@fa.upc.es

### Resumen

En el medio marino, el volumen de observaciones oceanográficas que se necesitan realizar constantemente para conseguir detectar *in situ* los fenómenos naturales o relacionados con las actividades antropogénicas es muy grande. Un método idóneo para investigar la superficie del océano son los datos de los satélites oceanográficos.

Un problema importante es ¿como distinguir los fenómenos observados en la superficie marina? Proponemos un metodo basado en el cálculo de la dimensión fractal de diversos contornos de reflectividad de las imágenes del Radar de Apertura Sintética SAR ya que de forma sistemática, las manchas de petróleo de origen antropogénica y las naturales tienen un conjunto de dimensiones fractales de características diferentes. Así en el caso de derrames de crudo, la curva de la dimensión fractal  $D(i)$  respecto al rango de la intensidad  $i$  tiene unos máximos característicos de baja dimensión fractal  $D < 1.2$  y separados del valor medio  $i_N = 1$ , en cuanto en caso de estructuras naturales (derrames de productos oleosos emitidos por especies marinas que forman estructuras dinámicas tipo vórtices) esta particularidad no se observa, i.e. las curvas de  $D(i)$  son más suaves y tienen una forma más próxima a la distribución típica parabolica, con dimensión fractal alta para los valores de intensidad cercanos a  $i_N = 1$ . Este método puede ser útil para automatizar el proceso del análisis de imágenes del SAR mediante un sistema automático de monitorización a mesoescala de la superficie marina, detección y seguimiento de derrames de crudo.

### 1. Introducción

Los satélites diseñados para las investigaciones del océano pueden detectar distintos fenómenos en su superficie. Con los Radares de Apertura Sintética

(un radar activo que registra la rugosidad de la superficie en microescala) SAR a bordo de satélites como SEASAT, RADARSAT, Okean-O, ERS-1/2, ENVISAT las posibilidades científicas y las aplicaciones en oceanografía se han ampliado significativamente como por ejemplo en detección de ondas internas, frentes, remolinos, batimetría, afloramientos, corriente, etc. [1], incluso en la detección y seguimiento de los derrames de crudo y de aguas residuales procedentes de los focos de la contaminación marina.

Los sistemas del SAR emiten ondas cortas de unos centímetros en el dominio de las microondas. La intensidad de la señal recibida es debida principalmente a la rugosidad a pequeña escala de la superficie. Cuando la superficie monitorizada mediante radar es rugosa y contiene pendientes pequeñas cuyo tamaño es comparable con la longitud de la onda de la señal de radar, entonces se observa el fenómeno de difracción. En el caso de la superficie del mar, la señal del SAR dispersada por los trenes de las ondas capilares con altura comprendida entre 0,1 mm. y 10 cm. produciéndose una dispersión resonante de tipo Bragg. En efecto, en la imagen se observa un área marina en altos tonos de gris, casi blanca. En el caso contrario, cuando en la superficie del mar no hay olas pequeñas, no se produce la resonancia de la señal y en la imagen se observan unas zonas superficiales oscuras. Las trazas de materia orgánica (como son los productos de crudo, de desechos urbanos / rurales, de la vida marina natural, etc.) en la superficie marina con propiedades tensioactivas, producen una disminución local de la rugosidad de la superficie del mar debida principalmente al viento y a las olas capilares, que se reflejan en una menor reflectividad de la señal emitida y detectada por los sensores del SAR [2]. Estas manchas o penachos oscuros en las imágenes SAR, son independientes de las condiciones de iluminación solar y de cobertura por nubes, sin embargo el posible contraste depende

fuertemente de la velocidad del viento [3]. Las propiedades de la superficie que afectan la dispersión de las microondas son las propiedades eléctricas, la rugosidad, la forma geométrica y el ángulo de incidencia. Las masas de aguas marinas tienen diversas propiedades físico-químicas, eléctricas, concentración de las substancias orgánicas, etc., lo que influye en la dispersión de las microondas y en las propiedades de retroreflectancia de la superficie acuática lo que ayuda a identificar muchos fenómenos dinámicos oceánicos de mesoescala como son ondas internas, corrientes marinas superficiales, afloramientos, frentes hidrográficos, vórtices, células de Langmuir, etc.

## 2. Observaciones de la superficie marina en el Estrecho de Gibraltar

Los estudios de la zona del Estrecho de Gibraltar tienen un interés particular. Primero por sus complejos procesos dinámicos de intercambio de las masas del agua que son vitales para todo Mediterráneo, i.e. el Estrecho es una “ventana” para entrada de las aguas frescas oceánicas y salida de las cálidas y de alta salinidad masas de aguas mediterráneas. Segundo porque es una zona que esta en permanente peligro debido a un tráfico marítimo muy intenso (según Salvamento Marítimo cerca de 250 buques pasaban diariamente el Estrecho en el 2004).

Es evidente que con tan intensivo movimiento de los barcos en un área relativamente pequeña aumenta considerablemente el peligro de accidentes y del riesgo de la contaminación medioambiental de tipo Érica (1999) y Prestige (2002) o de la escala menor pero habitual como son los vertidos de aguas de lastre, etc.

En la Fig. 1 se muestra la parte central de la imagen RADARSAT tomada el día 21 de Enero de 1998 a las 18:19 UTC donde se ve un frente hidrográfico de las aguas atlánticas entrando al Estrecho. También se ven los barcos (puntos brillantes) y sus estelas, así como diversos filamentos naturales.

### 2.1 Discriminación de los fenómenos detectados en la superficie marina mediante el análisis multifractal de las imágenes SAR

Los derrames orgánicos naturales de diverso origen (planctónico, por algas) forman unas estructuras en la superficie marina ligadas a los procesos dinámicos de la zona, i.e. a remolinos, corrientes, frentes, etc. (Fig. 1). Frecuentemente en este fondo natural turbulento se ven las manchas recientes de petróleo mediante un contraste

topológico [4,5]. Las imágenes del SAR presentan unos conjuntos de puntos (píxeles) de diferentes rangos de color gris asociados con niveles de rugosidad superficial. Estos puntos forman varias estructuras superficiales correspondientes a diferentes fenómenos atmosféricos y oceanográficos.

Los derrames de crudo de origen antropogénico se puede considerar como las fuentes puntuales en estado de movimiento. Normalmente tienen dos particularidades: un eje de la intensidad de tonos de gris (que corresponde a la densidad superficial del producto derramado) y una tendencia de aumento de su anchura y la disminución total de la intensidad de tonos a lo largo de la estela mediante el proceso de su difusión. Sin embargo los derrames superficiales de origen natural no poseen las mismas características: no son puntuales, sino tienen un carácter difuso y extenso relacionado con masas de fito y zoo plancton, bancos de peces, etc. Tampoco suelen tener una forma alargada: normalmente tienen la misma anchura a lo largo de su longitud.

La dimensión Fractal  $D(i)$  como función de intensidad de gris asociada a la reflectividad  $i$  puede ser calculada de la siguiente manera:

$$D(i) = - \frac{\log Ne(i)}{\log e}$$

donde  $Ne(i)$  es el número de cajas de longitudes  $e$  en el rango que va desde el máximo tamaño de la zona a estudiar hasta la longitud de un pixel en la imagen SAR. Los valores dependen de la estructura geométrica de las isolíneas de intensidad  $i$  en la imagen del SAR.

El análisis multifractal [6] permite calcular un conjunto de números  $D(i)$  de diferentes rangos de intensidad de gris de la imagen SAR y de esta manera especificar gráficamente las particularidades de diferentes estructuras superficiales marinas [7]. Así se nota que en caso de derrames de crudo, la curva de  $D(i)$  respecto al rango de la intensidad tiene unos picos (máximos) característicos de baja dimensión fractal  $D < 1.2$  y separados del valor medio  $i_N=1$ , en cuanto el caso de estructuras naturales (derrames de productos oleosos emitidos por especies marinas o estructuras dinámicas tipo vórtices) esta particularidad no se observa [4 y 7]: las curvas son más suaves y tienen una forma de distribución Parabólica ( $D_{\max} - (i - i_N)^2$ ), con dimensión fractal alta para los valores de intensidad cercanos al valor medio del entorno  $i_N=1$ . En la Fig. 2 pueden verse ejemplos de resultados gráficos de cálculos de dimensión multifractal de las partes de las imágenes SAR con a) un derrame de crudo; b) vórtice y derrames biogénicos naturales. El eje  $X$  presenta los valores  $i_N$  de la intensidad normalizados respecto a cada sección de imagen SAR.

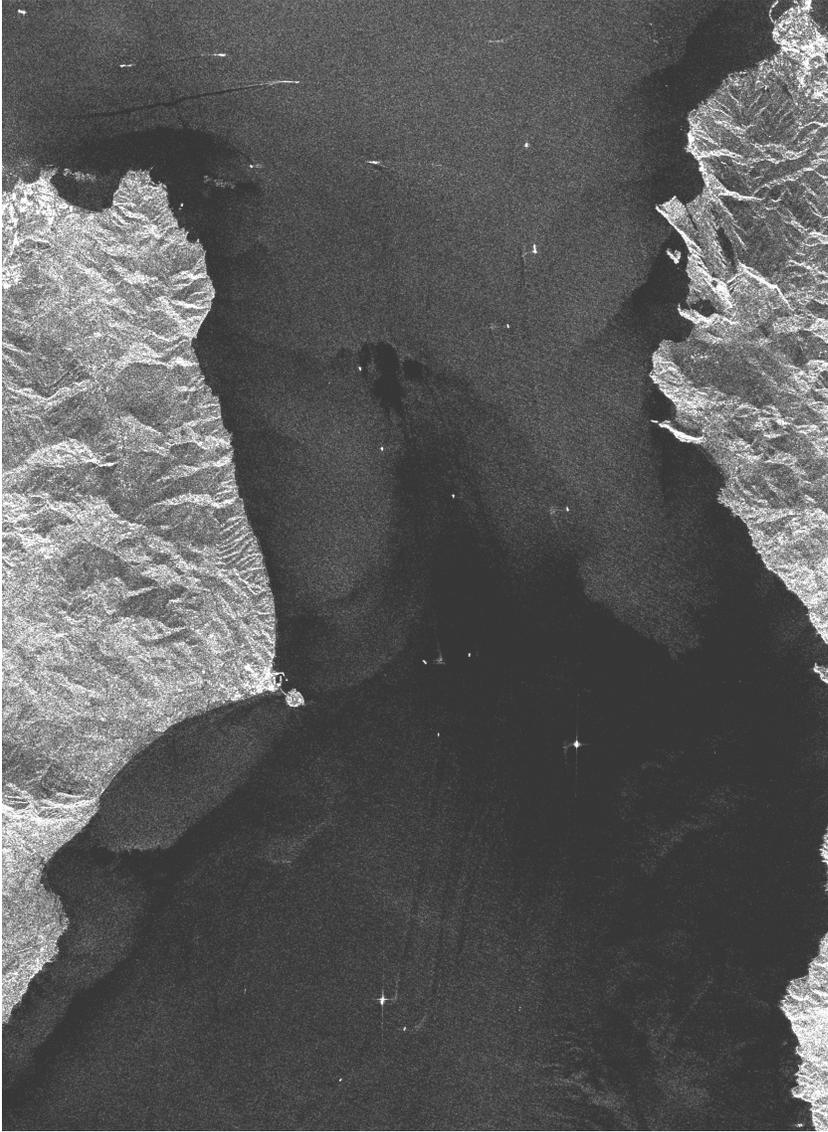


Figura 1. Parte de la imagen RADARSAT *Wide 2 Beam*, banda C, polarización HH, tomada el 21.01.1998 a las 18:19 UTC (órbita ascendente, resolución 12.5 m por píxel y con las dimensiones 3080 por 2256 píxeles, i.e. 38.5 Km por 28.2 Km)

### 3. Conclusiones

La intención de este trabajo es mostrar una nueva herramienta de análisis topológico de los procesos oceánicos detectados mediante las imágenes del SAR. No obstante, los principios del análisis multifractal pueden ser aplicados para los estudios e interpretaciones de las imágenes obtenidas mediante otros satélites medioambientales. Es decir siempre cuando en la imagen se observan los procesos complejos donde intervienen múltiples escalas y es necesario mejorar su parametrización y descripción estadística.

### 4. Agradecimientos

Agradecemos al MEC (RYC-2003-005700, FTN-2001-2220) por su ayuda financiera, también a la ESA (proyecto AO-ID C1P.2240) por las imágenes SAR suministradas y a la *Canadian Space Agency* CSA por la imagen del Estrecho de Gibraltar en el proyecto ADRO321.

### 5. Referencias

- [1] Martínez - Benjamin, J.J. Satellite microwave sensing for oceanographic studies. Mixing in Geophysical Flows. J. M. Redondo and O. Metais (Eds.). CIMNE, Barcelona. 1995.
- [2] Gade, M. Alpers, W., Huhnerfuss, H., Masuco, H., Kobayashi. Imaging of biogenic and anthropogenic ocean surface films by the multifrequency/multipolarization SIR-C/X-SAR. J. Geophys. Res. Vol. 103, N0, C9. 1999.
- [3] Gade, M., Alper, W. Using ERS-2 SAR images for routine observation of marine pollution in European coastal waters. The Science of the Total Environment Vol. 237/238. 1999.
- [4] Gade, M. and J. M. Redondo. Marine pollution in European coastal waters monitored by the ERS-2 SAR: a comprehensive statistical analysis. IGARSS'99, Hamburg, Germany 1999.
- [5] Platonov, A., Redondo, J.M., Grau, J.B. Water wash spill pollution danger in the NW Mediterranean: statistical analysis of two-year satellite observations. Maritime Transport 2001. UPC. vol. 1.
- [6] Redondo, J.M., Linden, P.F. Geometrical observations of turbulent density interfaces. The Mathematics of Deforming Surfaces. Edd. Dritschel, D.G., Perkins, R.J. Clarendon Press, Oxford, UK. 1996.
- [7] Redondo, J.M., Platonov A.K., Grau, J. Application of multi-fractal feature analysis to the sea surface. Fluxes and Structures in Fluids 2003. RAS, Moscow. 2000.

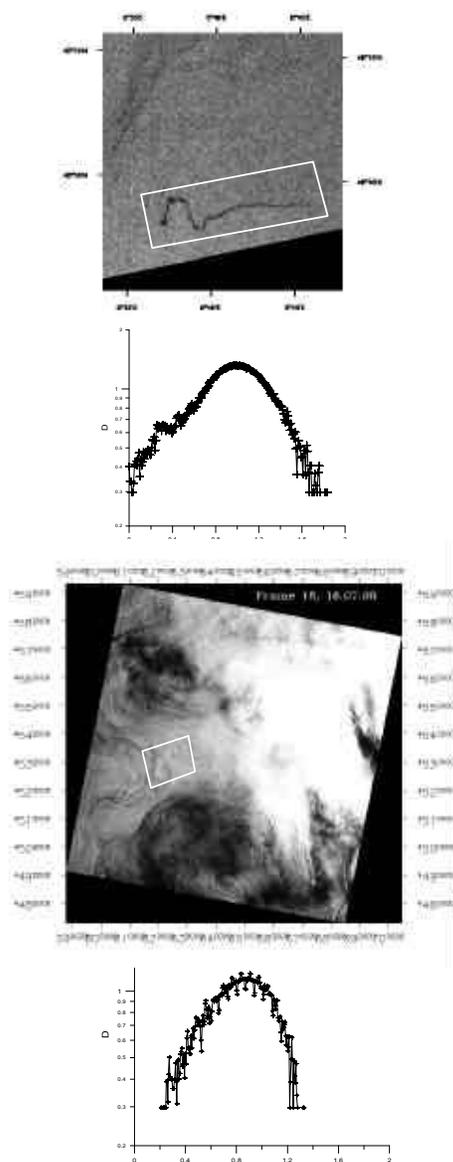


Figura 2. Partes analizadas (cuadrículas blancas) en las imágenes del SAR del ERS y su dimensión multifractal  $D$  frente al fondo de niveles normalizado  $i_N$ : arriba) un derrame de petróleo; abajo) un vórtice formado por "natural oil slicks"