

5.2. ANÁLISIS MULTIFRACTAL Y TÉCNICAS DE LA DETECCIÓN DE LAS MANCHAS DE CRUDO Y DE LOS BARCOS.

5.2.1. Particularidades de los derrames de crudo y de los filamentos naturales en la superficie del mar

Los derrames recientes típicos de aguas de lastre procedentes de los buques normalmente tienen la forma de estrechas estelas en su parte más cercana al barco con una tendencia a ampliarse a lo largo del trayecto del barco.

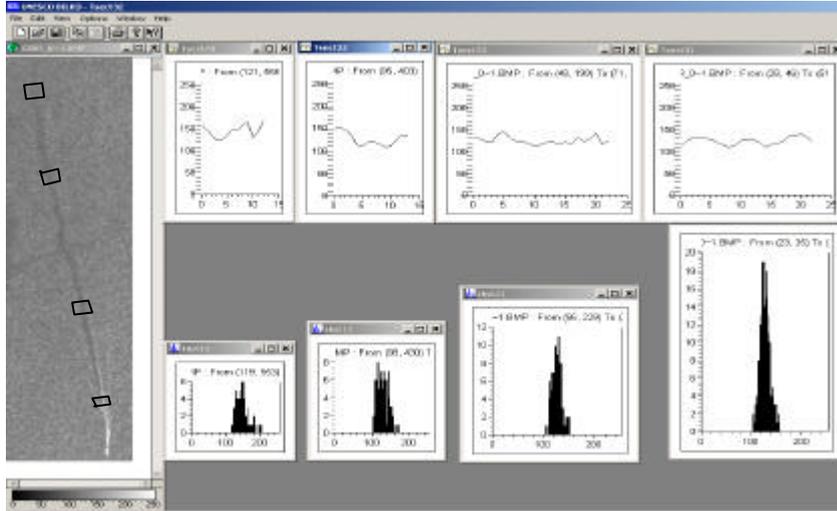


Figura. 5.2.1. Un fragmento de la imagen del RADARSAT de alta resolución obtenido sobre el área del Estrecho de Gibraltar del 21.01.98. (izquierda). Análisis de intensidad de tonos de gris a lo largo de una estela típica (derecha). Cortes transversales (arriba) corresponden a las cuadrículas cuyos histogramas se presentan abajo. El punto brillante en la cabeza de la estela es un buque.

En la figura 5.2.1 se presenta el análisis de la transformación de los tonos de gris mediante los cuatro cortes transversales a lo largo de una estela, también los histogramas de la intensidad de tonos de gris de las cuatro cuadrículas (con orden correspondiente del inicio de la estela (abajo) hacia su parte final) hecho mediante el programa Bilko de Windows.

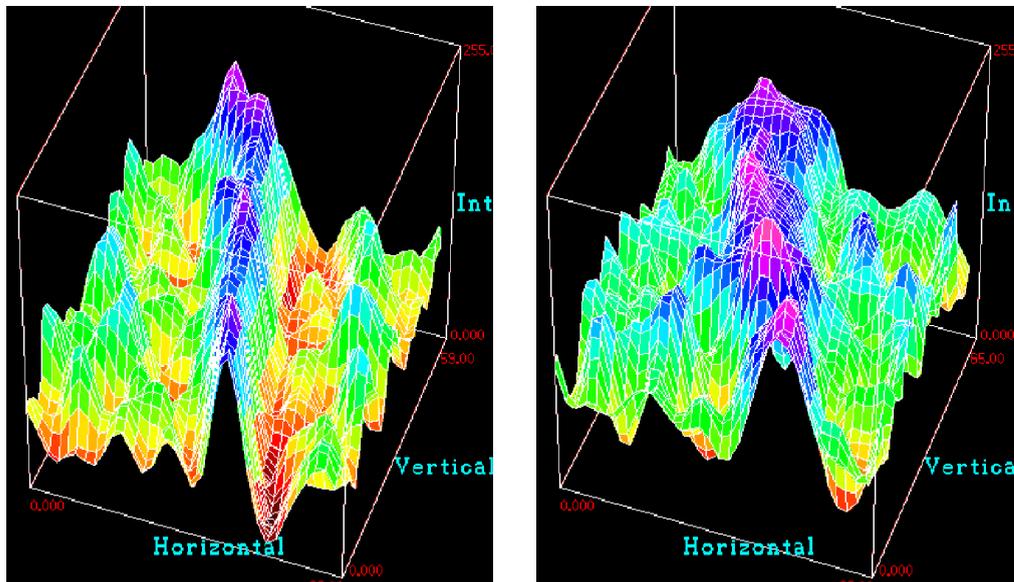


Figura 5.2.2. Análisis 3D en falso color de la intensidad de tonos de gris de la estela de la figura 5.2.1. A la izquierda: parte de la estela más reciente. A la derecha: parte final de la estela. Presentación hecha mediante

Se observa cómo se transforma la intensidad de tonos de gris que corresponde a la dilución del crudo a lo largo de la estela.

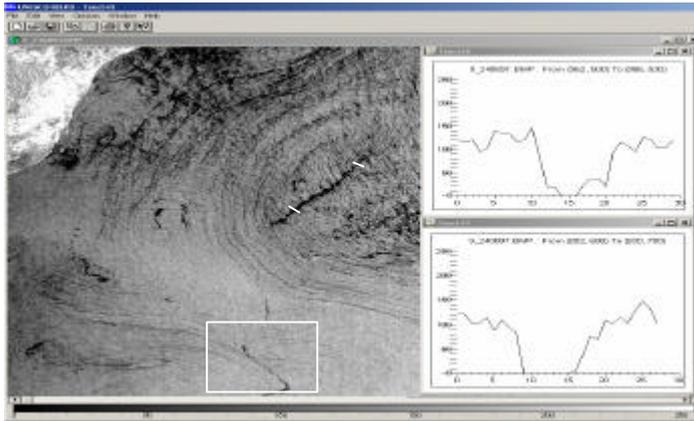


Figura 5.2.3. Un fragmento de la imagen del SAR de ERS-2 del área cerca de Barcelona obtenido el 24.08.97 (izquierda). Análisis de la intensidad de tonos de gris mediante dos cortes transversales a lo largo de una estela situada en el centro de la imagen (derecha).

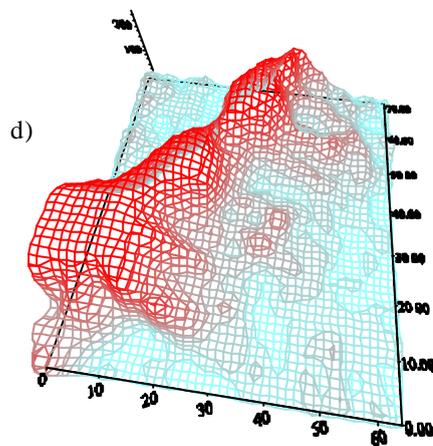
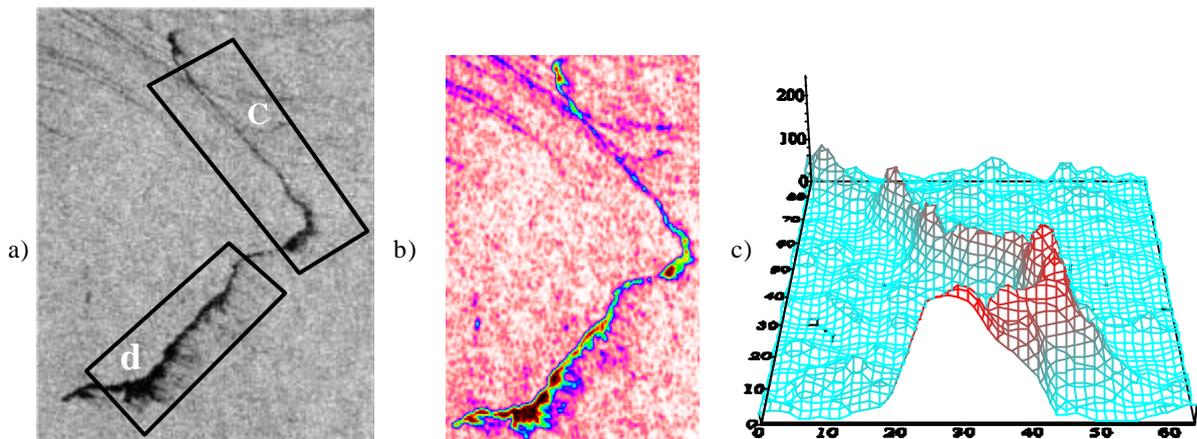


Figura 5.2.4. a) fragmento de la imagen del SAR de una estela de la figura 5.2.3 (cuadrícula blanca: parte delantera de la estela), b) la misma estela en falso color, la gama de color corresponde a los niveles de gris, c) y d) representaciones en 3D en color falso de intensidad de tonos de gris de la estela por píxeles (cada píxel de 50m).

La figura 5.2.2 muestra el resultado de análisis en 3D de la intensidad de tonos de gris en color falso de la parte delantera de la estela de la figura 5.2.1 (izquierda) y trasera (derecha). La imagen analizada tiene una resolución de 50 m por píxel. Se ve cómo la anchura de la estela aumenta desde 100-200 metros en el inicio de la estela, hasta los 1,5 – 2 Km al final (la longitud de la estela es de 20 Km aproximadamente). Se observa también que la estela tiene un eje de mayor intensidad (de tonos de gris más oscuros) marcado en rojo.

La figura 5.2.3 muestra una imagen del SAR de la zona marítima situada frente a Barcelona donde se observan varios derrames de crudo sobre un campo de estelas naturales en forma de vórtices (fondo de la imagen).

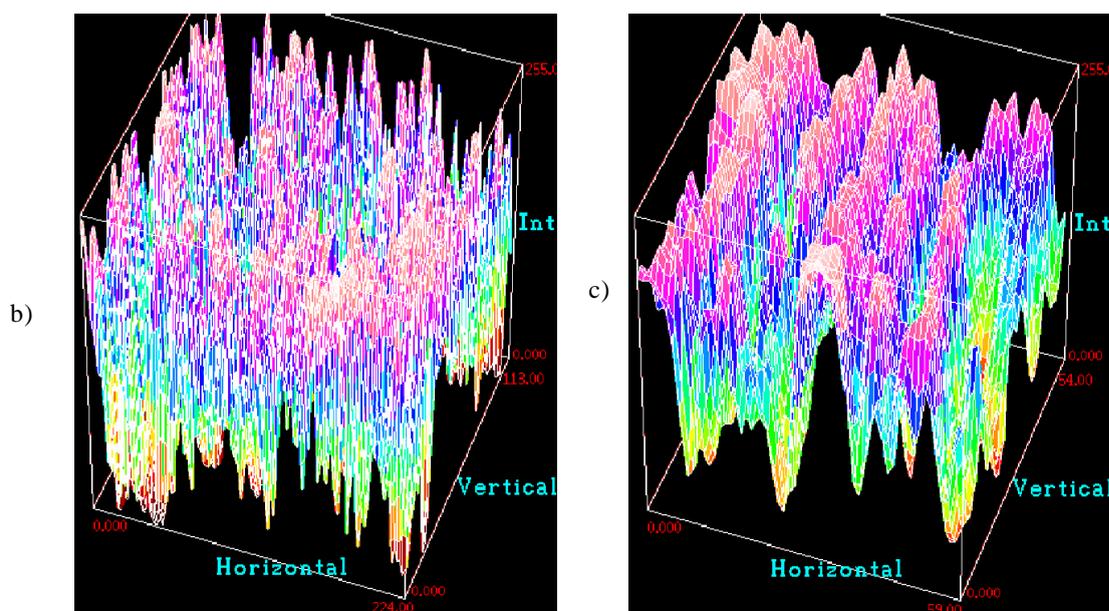
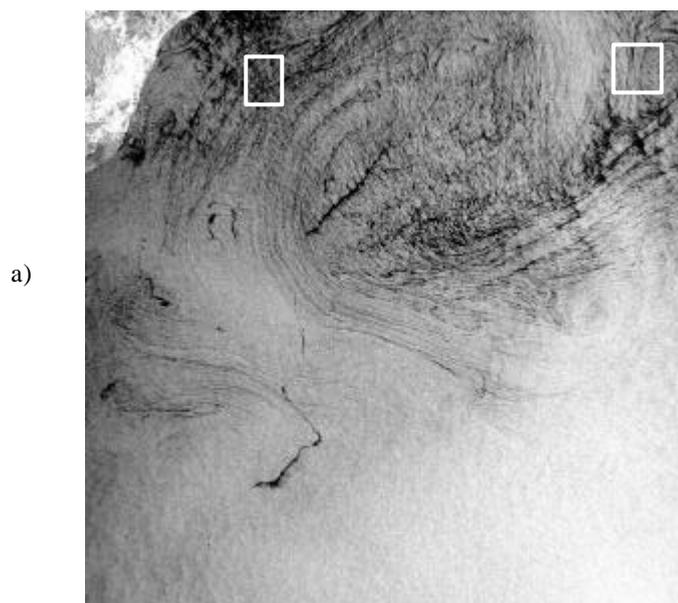


Figura 5.2.5. a) imagen del SAR de ERS-2 del área cerca de Barcelona obtenido el 24.08.97 con las cuadrículas que fueron analizadas, b) resultado del análisis 3D en falso color de intensidad de tonos de gris de la cuadrícula blanca situada a la izquierda de la imagen, c) lo mismo de la cuadrícula derecha.

Los derrames artificiales se manifiestan como unos artefactos oscuros respecto al resto de la imagen y aún más, no están envueltos completamente en los movimientos dinámicos de la zona. El análisis de la intensidad de tonos de gris de dos transectos transversales y los histogramas de un derrame de crudo situado en el centro de la imagen nos indica bien claro las mismas características de la estela que se observan en la figuras 5.2.2 y 5.2.3. También podemos determinar la dirección del camino del buque delinciente indicada por menor difusión de la estela mediante los gráficos de distribución espacial de la intensidad de tonos de gris (derecha).

Como ejemplo, la figura 5.2.4 muestra resultados de otro análisis de densidad de tonos de gris de una estela que se encuentra en la parte baja de la imagen del SAR (figura 5.2.3). En la 5.2.4. d) se observa una intensa difusión de la parte trasera de la estela hacia a un solo lado bajo la acción del viento probablemente. También se observa el eje de la estela y el aumento del campo de difusión a lo largo de su longitud.

Es evidente porque las estelas y/o derrames de crudo de origen antropogénico se puede considerar como las fuentes puntuales en estado de movimiento. Entonces, podemos constatar que los derrames artificiales recientes de petróleo o de otros productos tensioactivos que se detectan en la superficie del mar mediante las imágenes del SAR normalmente tienen dos particularidades principales: un eje de la intensidad de tonos de gris (que corresponde a la densidad superficial del producto derramado en el mar) y una tendencia de aumento de la anchura de la estela y la disminución total de la intensidad de tonos a lo largo de la estela mediante el proceso de su difusión entre otros.

Sin embargo los derrames superficiales de origen natural no poseen las mismas características: las fuentes naturales de la materia orgánica no son puntuales, sino tienen carácter difuso relacionado con masas de fito y zoo plancton, bancos de peces, probables escapes de productos químicos líquidos desde zonas sísmicas activas del fondo marino, etc. Tampoco suelen tener una forma triangular alargada: normalmente tienen la misma anchura a lo largo de su longitud. En la figura 5.2.5. se muestran los resultados del análisis de dos partes de la imagen a) marcadas con cuadrículas blancas. Ambas cuadrículas presentan los campos de derrames naturales formados mediante estelas enrolladas y en mesoescala el conjunto de ellas tiene una forma de vórtice. Los resultados de análisis de intensidad de los tonos grises se obtuvieron en 3D en falso color mediante el programa DigImage (b y c). Las presentaciones gráficas tridimensionales b y c en ambos casos no se muestran los ejes longitudinales, tampoco el cambio de la intensidad a lo largo de las estelas. Las características más propias de estas dos zonas son autosimilitud (la repetición de su forma geométrica en distintas escalas) y fractalidad que vamos a justificar a más adelante.

5.2.2. Discriminación de los fenómenos detectados en la superficie marina mediante el análisis multifractal de las imágenes del SAR

Los derrames orgánicos naturales de diverso origen (planctónico, por algas o por emisiones de hidrocarburos naturales) forman unas complicadas estructuras en la superficie marina ligadas a los procesos dinámicos de la zona, generados por la vorticidad local de remolinos, giros, o de la cizalladura producida por corrientes, frentes, etc. (figura 5.2.5, (a)). Habitualmente en este fondo natural turbulento de la superficie acuática para un técnico experimentado no es difícil detectar manchas recientes de petróleo mediante un contraste topológico (Gade y Redondo, 1999; Platonov et al, 2001). Pero para automatizar el proceso del análisis de imágenes del SAR en el caso del desarrollo de un sistema automático de monitorización a mesoescala de la superficie marina, detección y seguimiento de derrames de crudo, es necesario aplicar unos modelos matemáticos. Hasta hoy no existe ninguna metodología capaz de hacerlo en forma automática.

Nosotros proponemos un método nuevo de discriminar entre las manchas de petróleo antrópicas y las naturales basado en el cálculo de la dimensión fractal de diversos contornos de reflectividad de las imágenes del SAR ya que se comprueba de forma sistemática que estas últimas tienen un conjunto de dimensiones fractales de forma característica para ambos casos.

Las imágenes tipo 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 así como frentes, ondas internas, corrientes, vórtices, derrames de crudo, estelas de los barcos, etc.

La dimensión Fractal $D(i)$ como función de intensidad de gris i puede ser calculada según se muestra en el apartado 3.5 de la siguiente manera:

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

donde $N(i)$ es el número de cajas de longitud característica e que cubre una isolínea de la intensidad i en la imagen del SAR.

El análisis multifractal (sobre la teoría ver el apartado 3.3) 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 (Grau et al., 2002). 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 en caso de estructuras naturales (derrames de productos oleosos emitidos por especias marinas o estructuras dinámicas tipo vórtices) esta particularidad no se observa (Gade y Redondo, 1999, Platonov et al, 2002): las curvas son más suaves y tienen una forma más próxima a la distribución Gausiana, con dimensión fractal alta para los valores de intensidad cercanos a $i_N=1$.

En la figura 5.2.6 pueden verse ejemplos de resultados gráficos de cálculos de dimensión multifractal en diversos casos: derrames de crudo, derrames biogénicos naturales, vórtices y células de lluvia (Platonov et al., 2001). El eje X presenta los valores i_N de la intensidad normalizados respecto a la intensidad del ambiente del fondo de cada imagen analizada.

El futuro programa automático de la detección de derrames en alta mar, que mejoraría las técnicas de detección teóricamente debe tener los siguientes pasos:

- dividir la imagen del SAR analizada en distintas cuadrículas disminuyendo el paso de la malla (por ejemplo: 100x100km, 25x25km, 10x10km, etc.) y calcular conjuntos de dimensión multifractal en cada cuadrícula analizando las curvas obtenidas para encontrar los “picos” típicos que caracterizan la presencia de derrames artificiales en la superficie marina.
- encontrando las formas características de las curvas de conjuntos de cálculo multifractal, se realiza un análisis más detallado con el objetivo de obtener de forma completa todas las características topológicas de la mancha artificial encontrada (la longitud, la anchura inicial y final, el área la dirección de la ruta marítima del buque delincuente). También puede ser determinado el grado de la difusión de derrame y probablemente el tiempo que la lleva en el mar a base de características estándar de la difusión superficial del crudo en medio marino.
- a base de datos estadísticos obtenidos y considerando las particularidades de la dinámica marina local que influyen en la deriva de la mancha detectada (las corrientes locales, oleaje, etc) y de las condiciones meteorológicas (el viento) se calcula la trayectoria posible de la ruta marítima del buque que causó derrame y su posible situación geográfica en tiempo real.

Claro que la detección del buque depende mucho del tiempo que lleva la mancha en el mar: si son sólo unas cuantas horas, la detección es más posible.

El programa matemático en base de los conceptos teóricos multifractales propuestos puede constituir una parte del sistema automático de la monitorización y seguimiento de derrames de crudo en alta mar y de los penachos de aguas residuales en la zona litoral pero también debe tener una infraestructura necesaria: sistema de obtención y análisis de imágenes del SAR, vuelos periódicos de los aviones o helicópteros de guardacostas, personal adecuado en los puertos, etc.

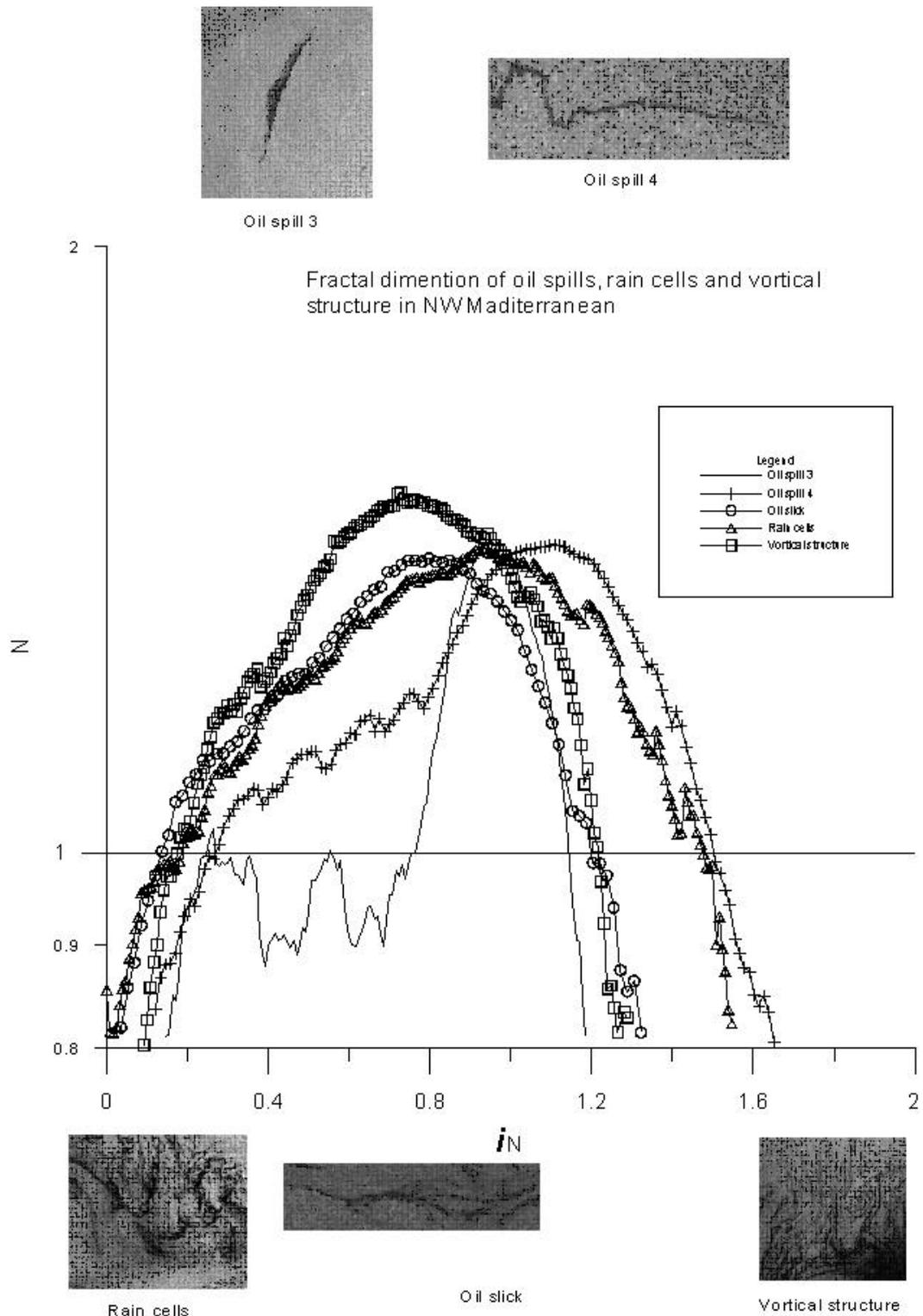


Figura 5.2.6. Las curvas típicas de cálculo de dimensión multifractal de distintos fenómenos detectados mediante las imágenes del SAR en la superficie marina. Los cálculos fueron efectuados mediante el programa ImaCalc (Grau, 2002).

Regresar al Índice

Seguir