



MONITOREO DE DERRAMES DE HIDROCARBUROS EN CUERPOS DE AGUA MEDIANTE TÉCNICAS DE SENSADO REMOTO

Lic. Pablo Adrián Marzialetti

presentado ante la Facultad de Matemática, Astronomía y Física
y el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich
como parte de los requerimientos para la obtención del grado de

MAGISTER EN APLICACIONES ESPACIALES DE ALERTA Y RESPUESTA TEMPRANA A EMERGENCIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

Diciembre, 2012

©IG - CONAE/UNC 2012

©FaMAF - UNC 2012

Director: Prof. Giovanni Laneve (Sapienza Università di Roma)

co-Director: Dr. Sergio Masuelli (CoNAE)

RESUMEN

Dentro de un panorama de aumento constante en la demanda de energía, es notoria la creciente exploración de cuencas hidrocarburíferas sujetas a duras condiciones climáticas y antes consideradas remotas.

En este contexto, las técnicas de sensado remoto pueden ser utilizadas para dar soporte a la detección y monitoreo de vertidos accidentales o productos de la propia operatoria, siendo entre ellas la tecnología SAR una de las que dispone de mayor potencial de aplicación.

Desde el presente trabajo, se hace una introducción al estado del arte en la materia, a las capacidades de estas técnicas, como así también a sus limitaciones y herramientas para superarlas.

Se detallan un conjunto de características que potencialmente explican al objeto detectado y que posteriormente ingresadas a un proceso de clasificación de redes neuronales de reconocimiento de patrones serán de utilidad para establecer, con un cierto grado de confiabilidad, si éste objeto está relacionado a una falsa alarma o a un real derrame de hidrocarburos.

Se entrenó a la red neural con escenas extraídas de imágenes Envisat-ASAR, de las que se obtuvieron alrededor de 230 manchas, alcanzando un 81,3% de casos de correcta clasificación en el caso de derrames reales y un 100% en el caso de falsas alarmas.

Los resultados alcanzados, en conjunto con una futura implementación de una aplicación automatizada de alerta y monitoreo, dan pautas claras de la potencialidad de esta técnica aplicable sobre zonas de interés ecológico, socioeconómico o geopolítico.

Palabras clave: teledetección, SAR, derrames de petróleo, falsa alarma.

ABSTRACT

In rising energy demand scenarios, is notorious the increase of explorations of hydrocarbon basins once considered remote and also subject to severe weather conditions. Within this context, remote sensing techniques can be used to support detection and monitoring of possible incidents, where SAR technologies offers even greater potential.

Stemming from this study, arise an introduction to the state of the art in this field, the capabilities of the techniques, as well as their limitations and tools to overcome them.

A set of features that potentially explain the detected object are charged into a neural network pattern recognition process classification, in order to establish with some reliability degree, whether this object is related to a look-alike or to a real oil spill.

The neural network was trained with a set of scenes taken from Envisat-ASAR images, where around 230 slicks were extracted, achieving 81.3% of cases correctly classified in real oil spills and 100% in the case of look-alikes.

The results obtained, along with a future implementation of an automated alert and monitoring application, provide the guidelines of the potential that this technique offers applied on areas of ecological, socioeconomic or geopolitical interest.

Keywords: remote sensing, SAR, oil spill, look-alike.

INDICE

INTRODUCCION	12
CAPITULO 1. Derrame y Falsa alarma	13
Aporte de la teledetección	15
Falsas alarmas o “look-alikes”	19
CAPITULO 2. Teledetección. Productos SAR	23
Influencia de la rugosidad y del ángulo de incidencia	24
Influencia de la longitud de onda	25
Influencia de la polarización	26
CAPITULO 3. Metodología de procesamiento	28
Preprocesamiento	29
Calibración radiométrica	29
Normalización radiométrica	30
Filtrado	31
Segmentación	37
Métodos de segmentación	37
Metodología implementada por algoritmos del software Envi-Ex respecto a segmentación y extracción	40
Metodología de extracción basada en Lógica Difusa: clustering Fuzzy c-means	42
Metodología de extracción por Morfología	45
Características distintivas	47
Características espaciales	48
Características espectrales	51
Características contextuales	51
Características texturales	52
CAPITULO 4. Información contextual	56
Detección de embarcaciones	56
Modelo de parametro doble	59
Estela de barcos	61
Campos de viento	63
Metodología para Detección de vientos desde imágenes SAR	66
Dirección de vientos	67
Estimación de la velocidad de vientos	69
Largo y orientación del derrame como medida de su antigüedad	71
Escala de vientos de Beaufort	73
Modelos CMOD, LMOD y XMOD	75
CAPITULO 5. Clasificación	76
Métodos de clasificación	83
Clasificación basada en reglas	83
Lógica difusa	83
Redes neuronales	83
Máquina de vectores soporte	85

Imágenes procesadas	87
Resultados de la clasificación	90
CAPITULO 6. Región de Interés: MAR ARGENTINO	95
Mar y zonas costeras argentinas	95
Fronteras marítimas y jurisdicciones	96
Zonas de exploración petrolera en espacio marítimo argentino	97
Breve mención a cuenca Malvinas	99
Revisión del impacto de un derrame	100
Impacto en el tiempo	100
Factores que determinan la magnitud de un impacto	101
Modelo PAR y de Acceso	101
Reducción del riesgo	103
Aporte del SIASGE	105
Plataforma de denuncia	106
CAPITULO 7. La Dinámica de un derrame y su Modelado	112
Etapas de esta dinámica	112
Modelización	115
Modelos de perfiles de vertido	116
Modelos estocásticos	119
Modelos de sentido inverso	119
Modelos de trayectorias	119
Implementación de modelado de transporte de vertido	123
Modelización de trayectorias	125
CAPITULO 8. Resumen y Conclusión	128
BIBLIOGRAFIA	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagen RADARSAT derrame intencional descarga desde embarcación (izquierda). Derrame desde plataforma (centro) - Imagen ASTER derrames desde plataformas (derecha).	13
Figura 2 - Residuos de derrame en costas de Santa Barbara, California.	13
Figura 3 - Movimientos de embarcaciones petroleras – año 2005. Fuente ITOPF.	14
Figura 4 - 100 mayores incidentes. Fuente ITOPF.	14
Figura 5 - Origen de incidentes mayores a 700 tons. Período 1970-2010. Fuente ITOPF.	14
Figura 6 - Derrame en Lago de Maracaibo, Venezuela. Imagen MODIS 500 mts. 18-Feb-2003.	16
Figura 7 - Foto aérea (Hu, 2003).	16
Figura 8 - Derrame – imagen Envisat ASAR, con perfil de retrodispersión atenuado en la zona del vertido.	18
Figura 9 – ejemplo de Celdas de Lluvia o “rain cells”. Imágenes adquiridas simultáneamente en bandas L y X polarización VV. En la parte inferior derecha de la imagen en banda X se puede ver la zona oscura causada por gotas de lluvia en la atmósfera atenuando las microondas en la banda X. (Alpers y Melsheimer, 2004).	19
Figura 10 - Manchas naturales en zonas costeras de Santa Bárbara, California (izquierda). Breas fluyendo de un montículo de hidrocarburos en la plataforma offshore Pt.Conception. Profundidad 41 mts. La longitud vista en la imagen está estimada en 3 mts. Muchas de estas filtraciones llegan a la superficie, mientras que otras no llegan a soportar la flotabilidad y caen al fondo oceánico (derecha). (Lorenson et al.,2009)	20
Figura 11 - Bordes de hielo (imagen ERS) (Suchman et al., 2004).	21
Figura 12 - Imagen NOAA-11 AVHRR SST 22-07 (izquierda) – imagen ERS-1 Banda C VV 23-07 (derecha). Correspondencia entre zonas de baja retrodispersión (imagen SAR) con zonas de baja temperatura (imagen AVHRR) (NOAA SAR Manual).	21
Figura 13 - Ejemplo de derrames y de falsas alarmas provocadas por distintos fenómenos	22
Figura 14 - Caracterización de distintos tipos de falsas alarmas, imágenes ERS (Espedal y Johannessen, 2000).	22
Figura 15 - (izquierda) fotografía de mancha de gas en costas de California (centro) Imagen Radarsat, presuntas manchas de gas Lago de Maracaibo, (derecha) transectas de gas con con pico en presunto escape (rojo) perfil de zonas de vientos (amarillo), perfil de zonas sin viento (verde).	22
Figura 16 - Scattering de Bragg. λ_r es la longitud de onda, λ_B es la longitud de onda de la superficie del mar, y θ es el ángulo de incidencia local (Martin,2004. NOAA Sar manual).	24
Figura 17 - Imágenes de vientos según escala de Beaufort. Clase 3, límite inferior - 3m/s (izquierda) - Clase 6, límite superior - máximo 13.4m/s (derecha)	25
Figura 18 - Imágenes adquiridas en banda L, C y X polarizacion VV para el monitoreo de evaluacion de una superficie de aceite llevado a cabo por la primera campaña en el German Bight. Abril, 1994. (Gade y Alpers, 1998).	26
Figura 19 - Polarización VV, HH, VH y HV.	26

Figura 20 - Metodología de detección.	28
Figura 21 - Transectas trazadas en el rango sobre imagen Radarsat, Lago de Maracaibo, Venezuela. Angulos de incidencia entre 24° y 24.48° (rojo), y entre 30.65° y 31.09° (verde)	30
Figura 22 - Imagen original Envisat-ASAR (izquierda), aplicación de Método de corrección Multiplicativo de Polinomial de Primer Orden (centro arriba) para Corrección de Ganancia de Antena, Imagen Corregida en Rango (derecha), Perfiles imagen original vs. corregida (centro abajo).	30
Figura 23 - Imagen original Envisat-ASAR original (izquierda) - aplicación de Normalización por corrección de cosenos y como referencia al ángulo central, Geocodificación y Calibración Radiométrica (derecha).	31
Figura 24 - Perfiles horizontales junto a Aplicación de distintos filtros a distintos tamaños de ventana.	34
Figura 25 - Imagen original con histograma de separación de clase Mancha /Mar.	34
Figura 26 - Diferencia a media de Mancha a imagen original.	36
Figura 27 - Diferencia a media de Mar a imagen original.	36
Figura 28 - Imagen original, Sobel, Canny.	37
Figura 29 - Ejemplo de derrame e histograma de picos y valles de referencia.	38
Figura 30 - Imagen Envisat-ASAR - Eventualidad por la que solo es posible aplicar el método a nivel local. Las diferencias en los perfiles tierra/agua son notables de acuerdo al área de estudio respecto al rango, mas allá de haber sido normalizada la imagen.	38
Figura 31a - Imágenes Cosmo Skymed - Bahía de Kisumu, Lago Victoria, Kenya. Zona costera con vegetación flotante típica de la zona (Water Hyacinth).	39
Figura 31b - Mascareo de zona de tierra por umbralización, y vegetación flotante costera.	39
Figura 32 - Metodología de segmentación utilizada por el software EnviEx (Xiaoying,2009).	41
Figura 33 - Imagen original (izquierda) y aplicación de transformación Watershed (derecha), en la que se nota una clara sobresegmentación.	41
Figura 34 - Ingreso de imagen filtrada, seleccion de alternativas de escala y merge de corrección de sobresegmentación, aplicación de reglas, y extracción de objeto en base a características.	42
Figura 35 - Centroides de agrupamientos de acuerdo a Clustering de 2, 3 y 10 grupos.	43
Figura 36 - Imagen original segmentada por FCM estandar (azul), y por FCM espacial (rojo).	44
Figura 37 - Aplicación de distintos elementos estructurantes.	45
Figura 38 - Etiquetado de regiones.	45
Figura 39 - Ejemplo de regionalización.	46
Figura 40 - Implementación de extracción de características de regiones.	46
Figura 41 - Rectángulo que contiene a objetos y Centroides.	48
Figura 42 - Complejidad (del Frate).	48
Figura 43 - Complejidad (Solberg).	48
Figura 44 - Complejidad (Karathanassi) – Dimensión fractal: Método de box-counting.	49
Figura 45 - Axis y orientacion de la elipse de referencia. El ángulo es definido por la horizontal y el axis mayor.	50
Figura 46 – Orientación.	50

Figura 47 – Difusión.	50
Figura 48 – Excentricidad.	51
Figura 49 – Extensión.	51
Figura 50 - Derrame desde plataformas en Mar del Norte. Imagen Envisat.	52
Figura 51 - RGB: Contraste–Disimilitud–Entropia (izquierda). RGB: Media– Varianza–Homogeneidad (derecha).	54
Figura 52 - Sistema VMS cobertura mundial. resaltado cobertura argentina (izquierda) - información provista en monitoreo online (derecha).	56
Figura 53 - Embarcaciones detectadas de imagen ENVISAT Scansar VV.	57
Figura 54 - Proceso de discriminación de embarcaciones.	57
Figura 55 - Corner Reflector (izquierda) – embarcación detectada imagen ENVISAT (centro) – perfil intensidad (derecha).	58
Figura 56 - Buque de 220 metros de largo. Imagen SPOT 2.5 mts. (izquierda) – Imagen Radarsat Fine 8 mts. (derecha).	58
Figura 57 - Esquema de parámetro doble.	59
Figura 58 - Arriba: Imagen Cosmo-SkyMed - resonancia provocada por plataformas de extracción. Abajo: Buque detectado en Imagen Envisat-ASAR ScanSAR - VV (izquierda) - HH (derecha).	59
Figura 59 - Imagen Envisat-ASAR – Proceso de detección de embarcaciones.	60
Figura 60 - Perfiles sobre embarcación, expresados en Intensidad (superior) y dB (inferior).	60
Figura 61 - Imagen de estela de embarcación (izquierda) – estela detectada en imagen Envisat-ASAR (centro-derecha).	61
Figura 62 - Transformada Radon.	62
Figura 63 - Cálculo de la transformada.	63
Figura 64 - Ejemplo de identificación de líneas y direcciones por transformada Radon.	63
Figura 65 - Datos ASCAT (izquierda), WINDSAT (centro), SSM-I (derecha).	64
Figura 66 - Histórico promediado de vientos QuickSCAT de acuerdo a serie temporal Diciembre 1999-2008 sobre zona del derrame detectado sobre las costas de Caleta Cordova, Argentina, en Diciembre de 2007.	64
Figura 67 - Imagen limpia (izquierda). Imagen con efecto de lluvia, en el que los vectores ya son señalados por el proveedor en tonalidad gris (derecha).	65
Figura 68 - Vientos superficiales a 10mts. (Fuente: SMN).	65
Figura 69 - Mapa de velocidades de viento (Quickscat) descargado mediante rutina de lectura de datos diaria (IDL, Matlab).	65
Figura 70 - Proceso de detección de campos de viento.	66
Figura 71 - Ondas generadas por vientos del Oeste provenientes de zona montañosa (Salvatori,2003).	67
Figura 72 - Imagen Alos-PALSAR polarizacion HH (izquierda) polarización VV (derecha)	67
Figura 73 - Imágenes Envisat-ASAR. Sombra de viento identificada (izquierda) - La misma zona sin sombra de viento (derecha).	68
Figura 74 - Arriba: imagen Envisat-ASAR – zonas de bajos y altos valores de retrodispersión con mapa de interpolaciones. Abajo: imagen Envisat-ASAR – zona de bajos valores de retrodispersión (izquierda) - Interpolación y exportación a formato KML (derecha).	70
Figura 75 - Diferencias entre escaterómetro Quickscat y GMF CMOD4.	71
Figura 76 - Fuente externa de datos históricos de vientos.	72

Figura 77 - Esquema de vinculación de historia de vientos con configuración de mancha (Espedal y Wahl,1999).	72
Figura 78 - Algoritmo de detección de derrames.	76
Figura 79 - Imagen Envisat-ASAR – Rio Miño – España-Portugal. Fuente: Gonzalez Vilas,2007.	77
Figura 80 - Imagen Radarsat. Lago de Maracaibo – Venezuela.	78
Figura 81 - Perceptrón simple.	84
Figura 82 - Entrenamiento de la red neuronal.	84
Figura 83 - Funciones de Límite Duro (a), Lineal (b), y Log-Sigmoid (c).	85
Figura 84 - Ejemplo de separación de clases por SVM (Matlab Help, 2010).	86
Figura 85 - Esquema de proceso de generación de datos.	88
Figura 86 - Ejemplo de zona extraída de imagen Envisat con 3 regiones de análisis.	88
Figura 87 - Escenas de interés para la extracción de datos.	89
Figura 88 - Pasos en la implementación de la red.	90
Figura 89 - Esquema de la red neural.	90
Figura 90 - Performance de la red.	90
Figura 91 - Matriz de confusión de clasificación de red neural.	91
Figura 92 - Errores cuadraticos (fuera de las 3 asignaciones incorrectas).	91
Figura 93 - Curvas ROC del proceso de clasificación.	92
Figura 94 - Tabla de pesos asignados a cada característica por cada una de las neuronas.	92
Figura 95 - Mapa de aplicación de clasificación (arriba) - Mapa de aplicación de clasificación en formato KMZ (abajo).	94
Figura 96 - Zona Jurisdicción Estado Nacional 200millas de linea de base (izquierda) - Ambitos de actuación y jurisdicciones provinciales y nacionales (derecha).	96
Figura 97 - Zonas de exploración en el mar argentino.	98
Figura 98 - Imágenes Cosmo Skymed catalogadas sobre área marítima en Islas Malvinas. Periodo Enero 2009 - Diciembre 2012. (Fuente: e-Geos Catalog. COSMO-SkyMed Products).	99
Figura 99 - Esquema del Modelo de acceso.	102
Figura 100 - Esquema de descompresión y reducción del riesgo.	103
Figura 101 - Atlas de sensibilidad ambiental zona Punta Tombo. Fuente: Demetrio Boltovskoy. Atlas de Sensibilidad Ambiental de la Costa y el Mar Argentino.	104
Figura 102 - Imágenes pedidas durante proyectos mencionados en zona costera española (izquierda). Manchas detectadas mediante imágenes las imágenes SAR requeridas (derecha) (Platonov y Redondo,2003).	105
Figura 103 - Simulación de coberturas de productos SIASGE disponibles ante un potencial evento (aplicación SAVOIR).	106
Figura 104 - Funcionalidad de Denuncia de Eventos de derrame.	107
Figura 105 - Ejemplo de Denuncia de derrame: caso Magdalena – provincia de Buenos Aires.	108
Figura 106 - Inclusión de capas de información útiles al denunciante y/o analista del evento.	109
Figura 107 - Definición de áreas de interés.	110
Figura 108 - Reportes ingresados.	110
Figura 109 - Estadística de reportes.	111
Figura 110 - Dinámica del derrame.	112

Figura 111 - Ejemplo de modelado de un potencial vertido en zonas de Tierra del Fuego - aplicación ADIOS.	118
Figura 112 - Evolución de porcentajes evaporados, dispersados y remanentes de un potencial vertido en zonas de Tierra del Fuego – aplicación ADIOS.	118
Figura 113 - vectores de corrientes (izquierda) – vectores de vientos (derecha).	119
Figura 114 - modelado de derrame en costas de la provincia de Santa Cruz.	120
Figura 115 - Simulación de derrame.	121
Figura 116 - Resultado de simulación - aplicación GNOME.	122
Figura 117 - Procesos de envejecimiento. Fuente ITPOF.	123
Figura 118 - Diagrama de vectores que explican el movimiento del vertido (Evans, 2002).	124
Figura 119 - Difusión y Advección de objetos en función de vientos y corrientes.	126
Figura 120 - Difusión y Advección de ejemplo de vertido cercano a costas de las provincias de Buenos Aires, Río Negro y Chubut.	126
Figura 121 - Impacto en costas del vertido de ejemplo en litros de crudo.	127

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Tabla comparativa de sensores para la detección de hidrocarburos. Jha, 2008.	18
Tabla 2 - Longitudes de onda comunmente utilizadas en los sistemas radar.	25
Tabla 3 - Comparación entre los disntintos productos SAR disponibles a la fecha y a lanzarse próximamente.	27
Tabla 4 - Resumen estadístico de filtros aplicados.	35
Tabla 5 - Tabla resumen de características evaluadas.	55
Tabla 6 - Estadísticas de aplicación de método de parámetro doble.	61
Tabla 7 - Velocidades estimadas por tipo de embarcación.	71
Tabla 8 - Vientos según escala de Beaufort. Fuente: Títulos Náuticos: Red Española de Información para la preparación de los títulos náuticos para el gobierno de embarcaciones de recreo.	73
Tabla 9 - Resumen de características relevadas de falsas alarmas, sobre imágenes ERS-1. Hovland,1994.	77
Tabla 10 - Resultados de clasificación sobre 24 imágenes ERS-2. Fuente: Topouzelis,2009.	79
Tabla 11 - Resultados de clasificación sobre 600 imágenes ERS. Del Frate, 2000.	79
Tabla 12 - Resultados de clasificación sobre imagenes Alos-PALSAR - Project KC0.22/06-10 Ministerio de Ciencia y tecnología de Vietnam. Hang y Duong,2009.	79
Tabla 13 - Tabla resumen de algunas de las características consideradas en procesos de detección de derrames.	80
Tabla 14 - Tabla resumen de características evaluadas en este trabajo.	82
Tabla 15 - Imágenes procesadas Envisat-ASAR.	87
Tabla 16 - detalle de algunos de los valores de características ingresados al proceso de clasificación.	93
Tabla 17 - Modelos existentes para el monitoreo, seguimiento y predicción del movimiento de derrames.	115
Tabla 18 - Perfiles de crudo vinculados a Argentina.	116
Tabla 19 - Clasificación de hidrocarburos según grados API.	117
Tabla 20 - Detalle de escenarios según distintos tipos de vertidos y su evolución en la primera semana.	120
Tabla 21 - Resultados dados por NOAA respecto al fuga – 19-09-10.	123
Tabla 22 - Variables de entrada: *Mercator Océan as source of Global oceanographic products (PSY4V3) - **QuikScat.	126

INTRODUCCION

La creciente demanda de energía y de materias primas esta agrandando rápidamente la brecha entre los recursos disponibles y las futuras necesidades que los modelos de desarrollo actuales anuncian. Y el aumento de esta demanda obliga a las compañías y a los gobiernos a encontrar nuevos campos de exploración.

En este contexto, y teniendo en cuenta a aquellas fuentes de energía relativas a hidrocarburos, zonas que antes eran consideradas remotas y sujetas a duras condiciones climáticas están comenzando a explorarse.

Bajo estos supuestos, se entiende como necesario el monitoreo de la actividad, que dentro de un contexto de crisis energéticas junto a mercados altamente demandantes, de crecimiento constante, atente contra una gestión sustentable de la misma en desmedro de las futuras generaciones, los ecosistemas, y el manejo de los recursos no renovables.

Dentro de la operatoria del sector, los incidentes intencionales o no, vinculados a derrames de hidrocarburos, son sucesos que afectan el ambiente marino en diversos grados, teniendo un impacto mayor cuando esto ocurre en zonas cercanas a las costas.

En este contexto, las técnicas de sensado remoto pueden ser utilizadas para dar un soporte en la ayuda a la detección y monitoreo de estos vertidos. Y dentro de las tecnologías desarrolladas, esta documentado que las imágenes SAR disponen de ciertas capacidades distintivas hacia el fin propuesto, como pueden ser la resolución espacial, la capacidad de análisis aun en presencia de nubes y la utilización nocturna, entre otras. Sin embargo, las limitaciones de estas tecnologías respecto a nuestro objeto de estudio existen, y será necesario tener un conocimiento cabal de los datos provistos de modo que puedan ser utilizados en un sistema integral de monitoreo.

Desde el presente trabajo, se plantea una aproximación al problema y a las herramientas con que se cuenta al momento para su estudio.

En un primer capítulo se dará una introducción a la problemática y a las tecnologías que desde el sensado remoto sirven de soporte al tema en cuestión.

En el capítulo siguiente se introduce en particular el aporte de la tecnología SAR como herramienta con capacidades distintivas y las variables asociadas a la generación de éstas.

En el tercer capítulo, se detalla el preprocesamiento al que tiene que estar sujeta un imagen para poder ser utilizada en un sistema de monitoreo, seguido de los métodos de segmentación a aplicarse, necesarios para la individuación del vertido. Se detallan las características asociadas a los objetos producto de la segmentación. Y se continúa en el capítulo cuarto con un apartado especial de las mismas relativas al contexto.

Posteriormente, en el capítulo quinto, y a partir de las características individuadas precedentemente, se implementa una automatización del cálculo, las que serán el *input* del posterior proceso de clasificación. Se hará una introducción a las clasificaciones realizadas por los autores referentes de este tipo de evento y a los resultados obtenidos, aplicándose a posteriori para el presente estudio y para un set de áreas de interés la relativa a la de reconocimiento de patrones por redes neuronales.

En el sexto capítulo se hace mención a la región que involucra al mar argentino y a sus características, seguido de un abordaje al modelo Par y de Acceso, junto a la implementación de un sistema web de alerta de derrames que servirá de soporte al monitoreo de manera integral.

Por último, el capítulo séptimo se dedicará a una aproximación a la problemática del modelaje de un vertido en el medio marino, las variables implicadas, los modelos existentes y la implementación de las principales variables bajo un entorno propio.

CAPITULO 1. Derrame y Falsa alarma

Se entiende como derrame de petróleo al vertido de productos petrolíferos sobre el medio ambiente, accidentalmente o por prácticas comunes, afectando zonas litorales, mares y costas con efectos persistentes en el tiempo.

Un derrame puede originarse por una serie de razones, pero de acuerdo al historial de ocurrencias éstos tienen una estrecha relación con las rutas marítimas y muchos aparecen vinculados a plataformas “*offshore*” (Figura 1). También significativos pero no tan comunes son aquellos provocados por accidentes en el transporte o rotura de tanques, teniendo en relación una menor contribución al total de contaminante vertido al mar.



*Figura 1 - Imagen RADARSAT derrame intencional descarga desde embarcación (izquierda)
derrame desde plataforma (centro)
Imagen ASTER derrames desde plataformas (derecha)*

Es claro que la reducción de éstos es clave para la protección del ambiente y la disminución de pérdidas económicas, por lo que el monitoreo constante se presenta como un paso ineludible. Los avances de las tecnologías de sensado remoto pueden dar un soporte para acceder oportunamente a la información que prevenga que una situación de pequeña magnitud tome escalas impredecibles. La detección y monitoreo de derrames, en particular sobre áreas ecológicas sensibles, es de gran importancia y su detección temprana es vital en tanto que si el derrame alcanza zonas costeras los costos de la posterior limpieza y recuperación se incrementan significativamente (Figura 2).



Figura 2 - Residuos de derrame en costas de Santa Barbara, California

Este trabajo, desarrolla los pasos metodológicos necesarios para tratar este tipo de incidentes, haciendo un repaso por el estado del arte, dejando planteado lo necesario para elaborar una aplicación semi-automatizada de monitoreo, haciendo una recopilación de los productos y tecnologías existentes, y dejando abierta la posibilidad de implementación de una herramienta operativa para uso de instituciones del sector ambiental, energía y/o control marítimo.

En una breve recopilación llevada a cabo por la ITOPF (The International Tanker Owners Pollution Federation Limited) se detallan las principales rutas cursadas por los buques tanqueros, poniendo en evidencia los espacios marítimos expuestos a determinado tipo de incidentes (Figuras 3, 4 y 5).

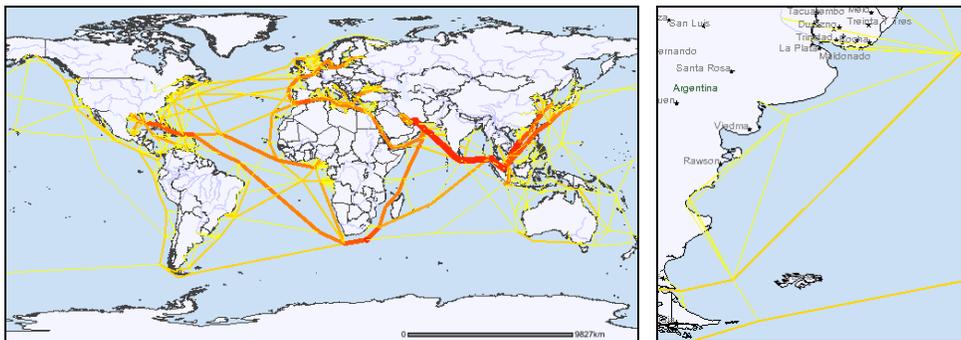


Figura 3 - Movimientos de embarcaciones petroleras – año 2005. Fuente ITOPF WebGis

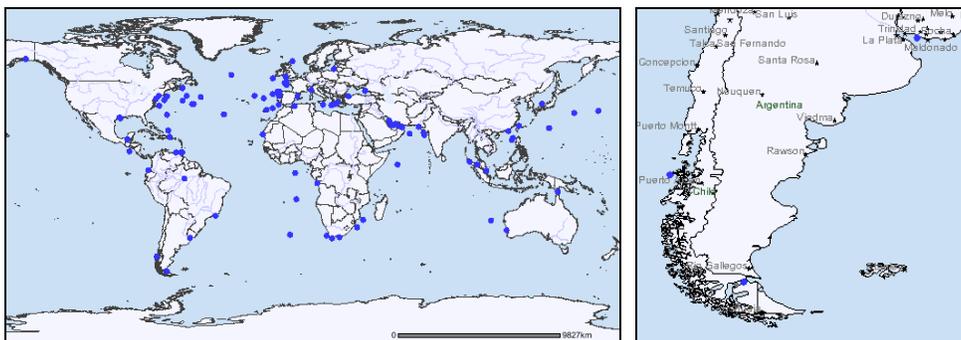


Figura 4 - 100 mayores incidentes. Fuente ITOPF WebGis



Figura 5 - Origen de incidentes mayores a 700 tons. Período 1970-2010. Fuente ITOPF

Aporte de la teledetección

De acuerdo a diversos estudios referentes al estado del arte del monitoreo de derrames, se puede ver que si bien se notan variantes y cualidades diferentes respecto a las propiedades que cada tipo de sensor provee al estudio de este tipo de fenómenos, el avance en esta área de estudio es progresivo, aunque no necesariamente tan dinámico como el desarrollo hacia otras aplicaciones.

Las técnicas de sensado remoto para la detección de derrames, tanto desde sensores pasivos como activos, presentan una gran versatilidad al momento de la detección permitiendo leer distintas características a lo largo de todo el espectro electromagnético, desde el ultravioleta, infrarrojo, visible y microondas, dando respuestas distintas y complementarias (Fingas et al., 1999).

Sensores ópticos: Las técnicas ópticas son los medios más comunes para el sensado remoto por sus bajos costos. En el espectro visible los derrames de petróleo tienen una reflectancia mayor a la del agua. Los aceites e hidrocarburos se manifiestan claramente en este rango del espectro. Derrames visualizados como plateados reflejan gran parte sobre el azul. Como no hay información fuerte en el rango de 500 a 600nm, esta parte de la región es filtrada para fortalecer los niveles de contraste (O'Neil et al., 1983).

En (Taylor, 1992) se ha observado que el espectro se aplana limitando las potencialidades de distinguirlo del entorno. Por lo que las técnicas orientadas a separar regiones específicas del espectro no incrementan las capacidades de detección.

Se ha visto que altos contrastes en el visible se pueden lograr en el ángulo 53 de la vertical (ángulo de Brewster¹) y utilizando filtros alineados horizontalmente que permitan el paso únicamente de la luz reflejada desde la superficie del agua. Esta técnica permite incrementar los niveles de contraste en el orden del 100%.

En las Figuras 6 y 7 puede notarse la identificación de un vertido a partir de imágenes MODIS. En (Otremba y Piskozub, 2001; Otremba y Piskozub, 2003) se ha demostrado que hay un contraste en términos de reflectancia entre un derrame y su contexto, de manera que el mismo puede ser detectado bajo condiciones apropiadas de la geometría de visión solar y las velocidades de viento.

Respecto a videocámaras, éstas son utilizadas también junto a filtros que incrementan los contrastes, aunque los logros en este campo no son lo suficientemente aceptables, mas allá de que este tipo de sistemas siguen utilizándose como sistemas para el sensado remoto (Bagheri et al., 1995).

El uso en general de técnicas en el área visible para el monitoreo de derrames no presenta un mecanismo irrefutable para la detección positiva. El gran número de

¹ En física, el ángulo de Brewster corresponde al ángulo de incidencia de luz, sobre una superficie, que anula la componente con polarización paralela al plano de incidencia. Al incidir un haz de luz con el ángulo de Brewster, la componente de la polarización paralela al plano de incidencia se anula en el haz reflejado. Por este motivo, el haz que vemos reflejado posee una polarización lineal, justamente en la dirección perpendicular al plano de incidencia, independientemente del tipo de polarización propia del haz incidente. Se debe notar que en el caso particular de incidir con un haz linealmente polarizado en la dirección paralela al plano de incidencia, el haz reflejado se anula en el ángulo de Brewster. En este caso, se produce una transmisión total del haz entre ambos medios.

En general, el ángulo de Brewster entre dos medios depende de las características electromagnéticas de los mismos (permitividad eléctrica y permeabilidad magnética). En el caso en que las permeabilidades magnéticas de ambos medios no varían (el caso más frecuente), el ángulo de Brewster se puede calcular a partir de los índices de refracción de ambos medios:

$$\tan(\theta_B) = \frac{n_2}{n_1}$$

interferencias que acontecen en esta área, como “*Sun Glints*”, o brillos de viento interfieren generando falsas alarmas. Materiales biogénicos como vegetación flotante o algas pueden confundirse como derrames. Los derrames en las costas son difíciles de identificar positivamente porque cierto tipo de vegetación flotante tiene semejanzas a los aceites, no pudiéndose detectar en zonas costeras oscuras.

El espectro visible, presenta ciertas limitaciones, pero al mismo tiempo da información de base para un análisis en conjunto con otras fuentes (Fingas y Brown, 2000).

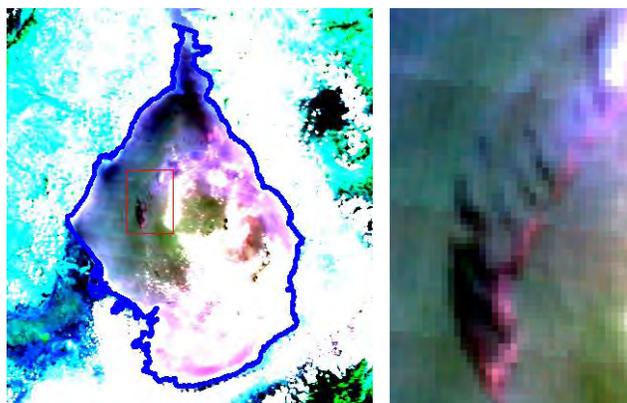


Figura 6 - Derrame en Lago de Marcacaibo, Venezuela. Imagen MODIS 500 mts. 18-Feb-2003



Figura 7 - Foto aérea (HU 2003).

Hiperespectral: Con un rango mayor a 200 bandas espectrales, los sensores hiperespectrales posibilitan la identificación de la firma espectral del hidrocarburo e incluso dan la posibilidad de identificar varios de sus tipos (Brekke y Solberg, 2005). Asimismo dan la posibilidad de realizar una mejor estimación de su abundancia. Mientras que entre sus principales desventajas se encuentra la imposibilidad de utilizarlo durante la noche (Lennon et al., 2005).

Infrarrojo: Por la noche un vertido de cierto grosor puede percibirse como más frío que el agua, ya que libera calor de manera más rápida que las aguas circundantes. Un derrame reemite parte de la radiación solar como energía térmica, mayormente en el rango de 8 μ m a 14 μ m. En las imágenes infrarrojas, éste aparecerá más caliente cuanto más grueso sea, siendo imperceptibles los vertidos más delgados y livianos. La transición de frío a caliente se encontraría en el rango de 50 μ m a 150 μ m, siendo el mínimo detectable en el orden de 20 a 70 (Fingas y Brown, 1998; Goodman, 1989; Hurford, 1989; Neville et al., 1979).

Los dispositivos infrarrojos no pueden detectar emulsiones (agua en hidrocarburo) en muchas circunstancias (Bolus, 1996), siendo probablemente la causa su alta conductividad termal en el caso de que se cuente por ejemplo con un 70% de agua, en donde la emulsión no presentaría una diferencia de temperatura significativa.

Ultravioleta: La tecnología ultravioleta (UV) también puede utilizarse para la detección, ya que las manchas muestran una alta reflectividad a este tipo de radiación aún en las capas más delgadas. Los instrumentos UV no se utilizan de noche, y las manchas provocadas por el viento, los rayos solares y material biogénico pueden causar falsas alarmas. Estas interferencias suelen ser diferentes a aquellas causadas por los sensores infrarrojos (IR), por lo que una combinación de ambos puede ser de utilidad para la identificación y la estimación de su grosor.

Una de las ventajas que presenta este tipo de sensores es la posibilidad de detectar radiaciones en capas finas de orden menor a 0.01µm. La superposición de imágenes del UV con las del IR, se utilizan normalmente para mapear espesores de derrames.

Los datos del UV, tienen como desventaja el estar sometidos a interferencias como “manchas” de viento, Sun Glints, y materiales biogénicos. Pero al presentarse de manera diferente a aquellas en el IR, la combinación entre IR y UV es una de las opciones elegidas, dejando de lado la utilización de cada técnica de manera independiente (Fingas, 2011).

Laser Fluorescentes: Estos son sensores activos que presentan una ventaja clara al momento de que algunos de los componentes presentes en un derrame absorben la luz UV y son excitados electrónicamente. Esta situación es removida por medio de emisiones fluorescentes, mayormente en la región visible del espectro. Dado que pocos son los componentes que muestran esta tendencia, la fluorescencia es un indicador bastante claro de presencia de hidrocarburo.

Substancias fluorescentes de manera natural como la clorofila, muestran fluorescencia pero a diferentes longitudes de onda que el petróleo, lo que deja de lado posibles confusiones. Y dado que los distintos tipos de hidrocarburos presentan distintas intensidades y firmas espectrales, es posible diferenciar entre clases, siempre bajo condiciones ideales (Brown et al., 2000; Hengsterman y Reuter, 1990; Balick et al., 1997).

Radiómetro de Microondas: Un derrame sobre un cuerpo de agua emite radiación de microondas más fuerte que el agua, por lo que aparece de un modo más brillante sobre la superficie del mar (O’Neil et al., 1983; Ulaby et al., 1989).

Un dispositivo pasivo detecta esta diferencia de emisividad y por consiguiente puede ser una herramienta para la detección de hidrocarburos. Asimismo, se perciben cambios en la señal en relación a su espesor. Pero sin embargo, puede indicar un espesor no preciso dentro de una misma mancha. Materiales biogénicos también interfieren en la señal (Goodman, 1994).

De todos modos, los radiómetros pasivos de microondas presentarían un potencial importante debido a la posibilidad de ser utilizados bajo todas las condiciones climáticas, aunque su particular potencialidad para la medición de su espesor aún no tenga un gran desarrollo.

Scatterómetros: Un scatterómetro de microondas es un medio que mide la energía de radar emitida por un objetivo. La presencia de hidrocarburos reduce el

scattering de la señal de microondas de la misma manera que responde ante un sensor radar, sin embargo este dispositivo es afectado por una cantidad de falsos objetivos. La ventaja de este dispositivo, es que provee de una cobertura aérea similar a la de los sensores ópticos.

Sensores Radar: Las ondas capilares sobre el océano producen una imagen brillante, debido a los efectos de la retrodispersión. Al tiempo que un derrame aplanará este tipo de ondas en un cierto grado, la presencia de un evento de este tipo puede notarse como un área oscura, donde las ondas capilares están ausentes (Figura 8).

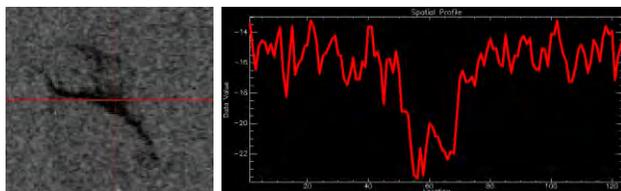


Figura 8 - Derrame – imagen Envisat ASAR, con perfil de retrodispersión atenuado en la zona del vertido

Sin embargo, no solo fenómenos como los derrames de hidrocarburos en agua producen este aplanamiento de las ondas, sino que tienen igual respuesta otra serie de eventos que en el campo de la detección son conocidos como falsas alarmas o “look-alikes”.

Entre los más importantes podemos nombrar a zonas de ausencia de viento o viento calmo, sombras de viento detrás de una zona de tierra o alguna estructura, aceites biogénicos, presencia de algas, zonas de algas que causan zonas de aguas calmas sobre ellas e ingresos de agua fresca por alguna corriente fluvial (Frysinger et al., 1992; Alpers y Huhnerfuss, 1987; Poitevin y Khaif, 1992; Huhnerfuss et al., 1989).

A pesar de estas dificultades al momento de la detección, durante los últimos años estos sensores se han presentado como una herramienta de utilidad por las propiedades de monitoreo de grandes áreas, de detección durante la noche, y a través de niebla o nubes.

En la Tabla 1 se puede ver un detalle de las alternativas que desde el sensado remoto se utilizan en pos del estudio del evento de derrame.

	VISIBLE	IR	UV	RADAR	MICROONDAS	LASER FLUORESCENTE
FALSA DETECCION	Algas, zonas oscuras	Algas, zonas costeras	Sunglint, algas, brillos de viento	Muchas Interferencias	Pocas interferencias	Identificación de hidrocarburos sobre cualquier fondo
INFORMACION DE ESPESOR	NO	relativa	NO	Relativa bajo ciertas condiciones	50um-algunos nm	<20um
RESOLUCION ESPACIAL	alta	alta	alta	Alta	baja	alta
REQUERIMIENTOS DE CLIMA	sin o poca nubosidad	Ausencia de nubes y neblinas	atmósfera clara	Cualquier tipo de clima, dependiente de velocidad de vientos	Todo tipo de clima exceptuando lluvias densas	Imposibilidad de penetrar nubes y nieblas
24 HS. OPERACION	NO	SI	NO	SI	SI	SI
RANGO HORIZONTAL	medio	+250m	+250m	+30km	+250m	+75m
CLASIFICACION DE HIDROCARBUROS	NO	NO	NO	NO	NO	SI

Tabla 1 - Tabla comparativa de sensores para la detección de hidrocarburos (Jha, 2008)

Falsas alarmas o “look-alikes”

Como fue planteado previamente, no solo el aplanamiento de las ondas es provocado por un vertido de hidrocarburos. A continuación se detallan una serie de falsas alarmas que más comúnmente interfieren en la identificación de vertidos mediante tecnología SAR.

Lluvia o “rain cells”: La lluvia puede provocar señales de baja retrodispersión en dos procesos en particular. El primero, por la atenuación atmosférica dado que la retrodispersión de volumen tenderá a disminuir el total del NRCS (*normalized radar cross section*) observado del área afectada por lluvia. En segundo lugar, y dependiendo de la velocidad del viento y la escala de la onda de Bragg, las gotas de lluvia impactan sobre la superficie del mar con la posibilidad de aplacar las ondas de Bragg reduciendo de este modo el NRCS de la región sujeta a este evento climático.

La significancia que esta falsa alarma tendrá en el monitoreo es función de la longitud de onda del radar, la tasa de lluvia, y la velocidad del viento (Figura 9).

Al tiempo que en banda C el sensor es afectado más por el efecto de la lluvia con scattering de volumen, en banda L el sensor será más sensible a la disminución de la retrodispersión debido al aplanamiento de las ondas de Bragg por la lluvia.

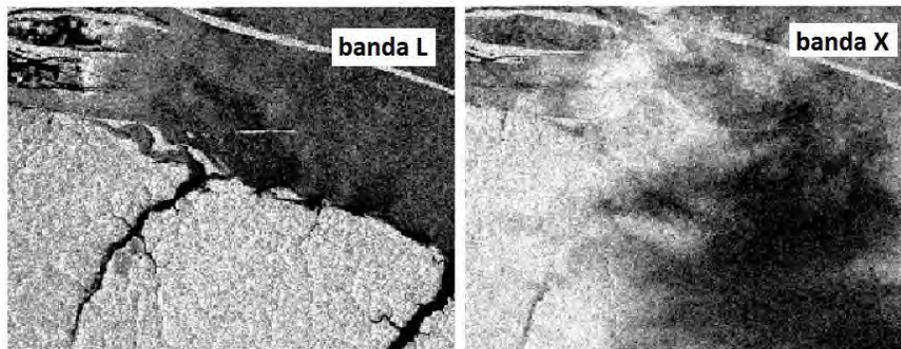


Figura 9 – ejemplo de Celdas de lluvia o “rain cells”.
Imágenes adquiridas simultáneamente en bandas L y X polarización VV.
En la parte inferior derecha de la imagen en banda X se puede ver la zona oscura causada por gotas de lluvia en la atmósfera atenuando las microondas en la banda X. (Alpers y Melsheimer, 2004).

Surfactantes naturales: Siendo los más reconocidos en generar características de bajo backscattering en una imagen SAR, estas sustancias pueden dividirse en dos categorías: las naturales y las hechas por el hombre. Y cada categoría puede dividirse según sea su origen mineral o biogénico.

Las manchas de origen biogénico son producidas por plankton y sustancias provenientes de los peces y que se liberan al ambiente normalmente.

Las manchas naturales de origen mineral son resultado de fugas desde el fondo oceánico (Figura 10).

Un ejemplo de esto son las manchas vistas en el golfo de México en el canal Santa Bárbara.



Figura 10 - Manchas naturales en zonas costeras de Santa Bárbara, California (izquierda).
 Breas fluyendo de un montículo de hidrocarburos en la plataforma offshore Pt. Conception. Profundidad 41 mts.
 La longitud vista en la imagen está estimada en 3 mts. Muchas de estas filtraciones llegan a la superficie, mientras que
 otras no llegan a soportar la flotabilidad y caen al fondo oceánico (derecha). (Lorenson et al., 2009)

Las manchas de origen mineral antropogénico son típicamente causadas por derrames accidentales o descargas ilegales de productos petroleros, mientras que las de origen biogénico tienen su origen en actividades humanas como el procesamiento de la industria pesquera.

Los aceites biogénicos y minerales tienen espesores típicos del orden de 10^{-7} m y 10^{-6} m respectivamente. Esto, combinado con una baja constante dieléctrica de entre 2 y 3, son prácticamente transparentes al radar en las frecuencias SAR de 1 a 10 GHz. De esta manera, los surfactantes tienen un gran efecto en el aplacamiento de las ondas de Bragg generadas por el viento, provocando manchas en forma de filamentos de gran extensión y baja retrodispersión.

Bajo condiciones de viento moderadas, éstas pueden detectarse por su contraste con el entorno, mientras que a vientos superiores a los 6 m/s este tipo de elemento tiende a mezclarse en la columna de agua siendo ya indetectable desde la imagen SAR. En áreas de viento inferiores a los 2 m/s el valor retrodispersado tiende a niveles muy bajos, y el contraste con el resto del entorno ya es más difícil de detectar, como en el caso de los vientos superiores a los 6 m/s mencionados previamente.

Hielos marinos: En las imágenes SAR es notable la sensibilidad que se presenta frente a la rugosidad, estructura interna, contenido de sal y humedad del hielo en mar.

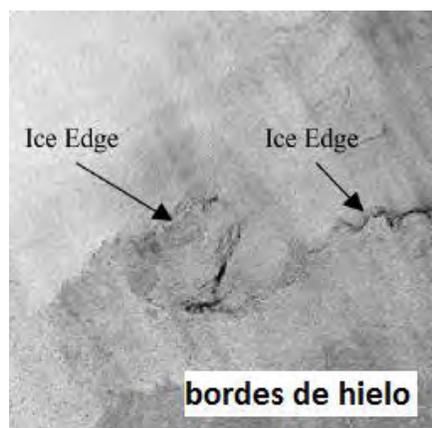


Figura 11 – Bordes de hielo (imagen ERS) (Suchman et al., 2004).

En el primer año los témpanos presentan una superficie relativamente suave con alto contenido de sal. Esto hace que la energía del radar sea reflejada fuera del sensor, produciendo por lo tanto señales de bajo backscattering respecto a un entorno de piezas sueltas, o respecto a témpanos de mayor antigüedad.

Un témpano puede aplacar las olas del mar, y en particular, las partículas milimétricas de cristales que se forman cuando el agua de mar comienza a congelarse. Esto produce zonas de muy bajos niveles de retrodispersión. Y su distribución suele responder a patrones similares a los de los surfactantes minerales o biogénicos.

Afloramientos: Normalmente suceden en zonas costeras y ocurren cuando un flujo superficial, comunmente provocado por el viento es compensado por un flujo en tierra mas bajo que trae aguas mas frías a la superficie. Se produce una masa de agua que es transportada hacia la derecha de la dirección del viento en el hemisferio Norte, y hacia la izquierda en el hemisferio Sur, esto debido al efecto Coriolis causado por la rotación de la Tierra.

Los cambios en la diferencia de temperatura del aire de mar, tienen un efecto en la retrodispersión que puede notarse en las imagenes SAR (Figura 12). Y la estabilidad incrementada por las temperaturas más bajas de la superficie de mar resulta en niveles de viento más bajos y por consiguiente en niveles menores de scattering.

Otra de las causas subyacentes es que las corrientes oceánicas pueden producirlas al interactuar con la batimetría la que induce al intercambio vertical. En este caso, los afloramientos guiados por las corrientes son independientes de la fuerza del viento más allá de que la conjunción de corrientes y vientos intensifica desde ya al fenómeno.

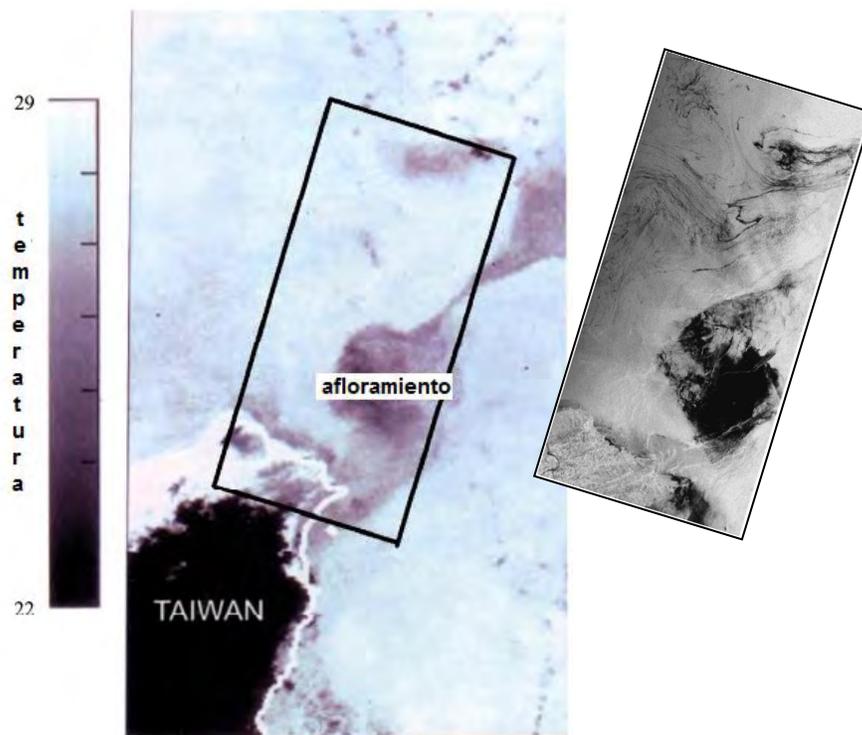


Figura 12 - Imagen NOAA-11 AVHRR SST 22-07 (izquierda) – imagen ERS-1 Banda C VV 23-07 (derecha)
Correspondencia entre zonas de baja retrodispersión (imagen SAR) con zonas de baja temperatura (imagen AVHRR) (NOAA SAR Manual).

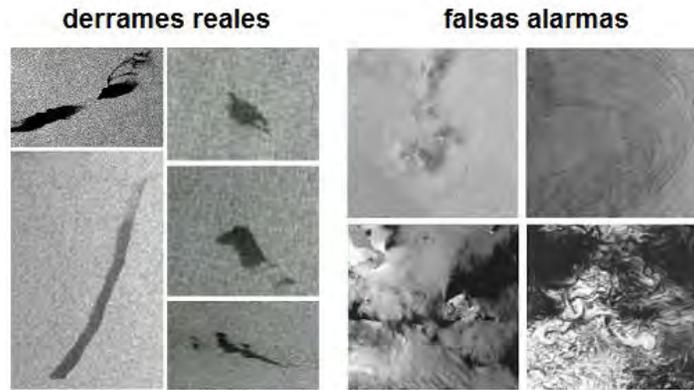


Figura 13 – ejemplo de derrames y de falsas alarmas provocadas por distintos fenómenos (NOAA SAR Manual).



Figura 14 - Caracterización de distintos tipos de falsas alarmas, imágenes ERS (Espedal y Johannessen, 2000)

Manchas de gas (gas seeps): A los efectos de individualizar los elementos que forman parte de áreas de estudio marinas o lacustres, cabe notar que en el proceso de clasificación es posible la individuación de pérdidas naturales o antropogénicas no solo de hidrocarburos sino también de gas desde el lecho.

Áreas de referencia de este fenómeno y una de las más estudiadas es la situada en las aguas cercanas a las costas estadounidenses del Estado de California, y que vienen siendo monitoreadas por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Las mismas son visibles mediante imágenes SAR en áreas en las que los vientos superficiales son lo suficientemente bajos y que hacen imposible la identificación de derrames de petróleo. En áreas en las que la rugosidad superficial provocada por el viento hace visible a un vertido de hidrocarburos, las pérdidas de gas no son visibles en la imagen SAR, como se puede ver en los perfiles de la Figura 15.

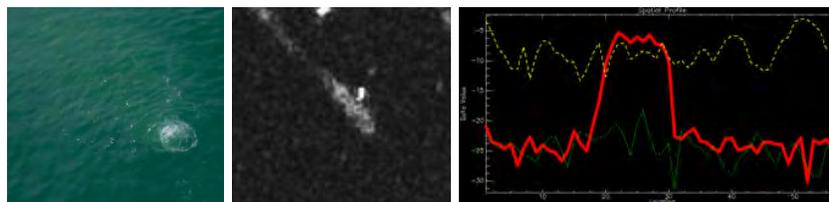


Figura 15 - (izquierda) fotografía de mancha de gas en costas de California (centro) Imagen Radarsat, presuntas manchas de gas Lago de Maracaibo (derecha) transectas de gas con con pico en presunto escape (rojo) perfil de zonas de vientos (amarillo), perfil de zonas sin viento (verde)

CAPITULO 2. Teledetección. Productos SAR

Como se ha comentado en el capítulo precedente, las imágenes SAR tienen características que las diferencian de aquellas obtenidas desde sensores ópticos. Estas son propias de la generación de una imagen radar, como son el efecto speckle, junto a características texturales además de las geométricas.

Se puede ver que en relación a las alternativas de monitoreo, el radar presenta ventajas principalmente para el monitoreo de grandes áreas y en condiciones nocturnas, a pesar de que como se ha visto, es susceptible a producir falsas alarmas, en gran parte debido tanto al estrecho rango de vientos necesario para la generación de ondas que habilita su poder de discriminación respecto al mar como a la complejidad de la caracterización de los objetos detectados.

Es importante notar que al momento de evaluar la imagen SAR estas características son diferentes a las características vinculadas a imágenes ópticas. Los niveles de gris están relacionados con la intensidad de la energía de microondas retrodispersada por la superficie observada y esta dependerá de los niveles de rugosidad, propiedades dieléctricas y pendientes, las sombras se relacionan a los ángulos de incidencia oblicuos producto de la emisión de las microondas desde el radar y no a iluminación solar, etc.

En contraste con las medidas tenidas en cuenta en el visible e infrarrojo, para la interpretación de imágenes SAR se tomarán en cuenta tonos, texturas, formas, estructuras y tamaños.

Por tonos se definirán las intensidades de la señal retrodispersada. Las más potentes retribuirán tonos más altos, mientras que las señales mas bajas devolverán valores bajos pudiendo notarse entonces con tonos oscuros.

Respecto a las formas, se define como forma respecto a los contornos de los objetos (muchos de los objetivos a identificar en una imagen presentan características de forma distintivas, por ejemplo, embarcaciones, plataformas, cañerías), de la misma manera que las dimensiones serán también de importancia a la hora de caracterizarlos.

La presencia de hidrocarburos sobre la superficie del agua cambia el llamado “stress” provocado por el viento, reduciendo las amplitudes de las ondas del mar. Las medidas espectrales de la superficie sujeta a un derrame cambiará mostrando una atenuación en la señal retrodispersada (Nirchio et al.,2004). La rugosidad de la superficie del mar es la que explicará la detección del derrame por la atenuación de la misma, entendiendo por esta al grado de irregularidad y relieve vertical de la superficie, en escalas medidas en centímetros.

Las diferencias de rugosidad percibidas serán las responsables de las variaciones de brillo que se podrán ver en la imagen SAR.

La retrodispersión de Bragg es la que explica lo obtenido entre los ángulos de incidencia característicos de los sensores SAR, que en ausencia de olas grandes la señal es retrodispersada por las ondas propagadas por el viento sobre la superficie.

La fórmula de la dispersión de Bragg responde a la siguiente relación:

$\lambda_B = \lambda_r / 2 \sin\theta$, en donde λ_r es la longitud de onda del radar, y θ el ángulo de incidencia del láser del radar (Figura 16).

Para ángulos menores a 15° la retrodispersión es debida en su mayoría a la reflexión especular (superficies suaves orientadas perpendicularmente a la dirección de vista de la

antena). Con ángulos superiores a los 70° la respuesta proviene predominantemente de la respuesta de los bordes del oleaje (Holt, 2004; Nirchio et al., 2004).

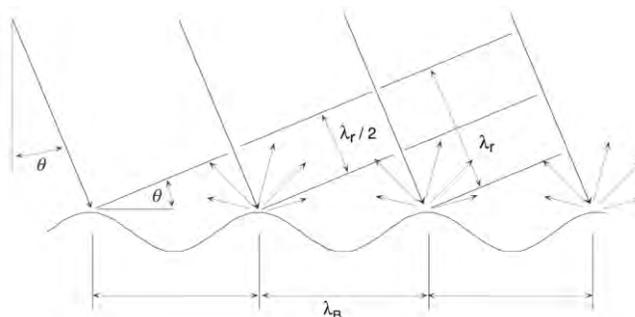


Figura 16 - Scattering de Bragg. λ_r es la longitud de onda, λ_B es la longitud de onda de la superficie del mar, y θ es el ángulo de incidencia local (Martin, 2004. NOAA Sar manual)

➤ **Influencia de la rugosidad y del ángulo de incidencia**

El ángulo de incidencia es definido como el que se encuentra entre la perpendicular a la superficie de la imagen y la dirección de la radiación incidente.

Los objetivos a detectar variarán en términos de retrodispersión según varíe el ángulo de incidencia con el que es observado.

Es importante notar sin embargo, que en estudios ya realizados décadas atrás (Ulaby et al., 1978) sobre distintas condiciones de rugosidad del suelo pero constantes en humedad, la utilización por ejemplo de banda L sobre superficies suaves era muy sensible a ángulos cercanos al Nadir, mientras que en superficies rugosas los valores de retrodispersión eran casi independientes respecto al ángulo elegido.

De acuerdo a (Henderson y Lewis, 1998), en bandas como la K (polarización HH) la reducción del backscattering será máxima en ángulos de incidencia de entre 30° y 35°, mientras que en la banda C (polarización HH) este máximo será alcanzado entre los 40° y 45° (Singh et al., 1986).

Para la identificación de un vertido según (Girard-Ardhuin et al., 2003) el rango de ángulos de incidencia más propicio se encuentra entre los 20° y 45°.

Una superficie será considerada lisa cuando las partículas del objeto observado son menores al tamaño de la longitud de onda, por lo que el objeto será “transparente” a la señal y prevalecerá la reflexión especular. Y rugosa en caso contrario, obteniendo un retorno según el grado de rugosidad de la superficie.

Según la llamada condición planteada por Fraunhofer, en donde λ es la longitud de onda, y θ es el ángulo de incidencia, la superficie será considerada suave si:

$$s < \lambda / 32\cos(\theta).$$

Es claro que a medida que λ sea más grande menor será la rugosidad detectada por la señal, por lo que irregularidades de una superficie pueden aparecer brillantes en banda C y oscuras en banda L. La rugosidad es un concepto relativo y dependiente no solo del ángulo de incidencia sino de la longitud de onda (Tabla 2).

Los cuerpos de agua tendrán tonalidades oscuras en las imágenes de radar, con excepción de aquellas zonas en donde el viento o las corrientes causen un incremento de la rugosidad, lo que aumentará los valores de retrodispersión. Por lo que la visibilidad de las manchas estará también determinada por la intensidad del viento dominante en el área que será el causante de la rugosidad, siendo los derrames únicamente percibidos

dentro de un rango de velocidades de viento. La velocidad máxima que permitirá su detección dependerá asimismo del tipo de combustible y del tiempo pasado desde el momento de inicio del derrame. Será necesario entonces, disponer para su identificación de información respecto a intensidades de viento, siendo esto además de utilidad para determinar su posterior evolución.

banda	longitud	Rango
K		0.8 a 2.4 cm
X	3 cm	2.4 a 3.8 cm
C	6 cm	3.8 a 7.5 cm
S	8 cm, 12.6 cm	7.5 a 15 cm
L	23.5 cm	15 a 30 cm
P	68 cm	30 a 100 cm

Tabla 2 - Longitudes de onda utilizadas en los sistemas radar

El umbral mínimo de velocidad de viento para que las ondas de Bragg puedan generarse a una escala mensurable por la señal de retorno para bandas X, C y L a ángulos de incidencia de 20° es de entre 2 a 3m/s.

Al mismo tiempo, un umbral de máxima superado hará los derrames invisibles al radar. A altas velocidades de viento puede efectivamente desaparecer el efecto damping, y a mayores velocidades, el mismo vertido desaparece de la superficie al mezclarse por el oleaje. Esto también dependerá del tipo y espesura del vertido lo que hace menos obvia su determinación, pero el umbral se encontraría en el orden del rango que va de 10m/s a 14m/s (Figura 17).



Figura 17 - Imágenes de vientos según escala de Beaufort
Clase 3, límite inferior - 3.4m/s (izquierda) - Clase 6, límite superior - máximo 13.8m/s (derecha)

En (Gade y Alpers, 1998) se ha notado que aún en vientos bajos, la banda L llega a discriminar diferencias, y en (Okamoto et al., 1996) se ha concluido que la detección en esta banda también es posible hasta en velocidades de viento superiores a la cota mencionada previamente.

Asimismo, en la región de las microondas, las diferencias notorias de rugosidad entre las zonas de tierra y agua serán de gran utilidad para medir grados de erosión costera y para la posterior elaboración de máscaras de tierra.

➤ **Influencia de la longitud de onda**

La banda C es la que se presenta como la de mayor potencial al momento de la identificación de derrames (Figura 18), dando altos contrastes incluso con vientos del orden de los 13ms⁻¹ (Pavlakis et al., 1996). En imágenes ERS (banda C) se han observado contrastes desde 6dB a 17dB en las manchas identificadas (Espedal et al., 1995).

Los niveles de retrodispersión como se ha visto decrecen en la zona de la mancha detectada, que aparece como una superficie oscura en comparación a su espacio circundante con al menos 3dB de contraste (Girard-Arduin et al., 2003). Asimismo la intensidad decrecerá regularmente del rango cercano al lejano alrededor de 10dB.

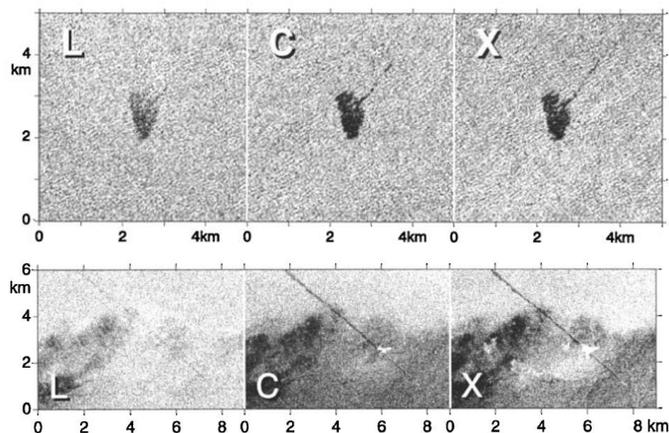


Figura 18 - Imágenes adquiridas en banda L, C y X polarización VV para el monitoreo de evaluación de una superficie de aceite llevado a cabo por la primera campaña en el German Bight. Abril, 1994. (Gade y Alpers, 1998)

Estudios varios realizados sobre manchas artificiales, pudieron demostrar que los contrastes más altos son alcanzados con las bandas C, X y Ku, con 5dB de contraste para una mancha de combustible liviano, y de 10dB a 15dB para combustibles pesados.

➤ **Influencia de la polarización**

La polarización describe la orientación del componente del campo eléctrico de una onda electromagnética (Figura 19). Y en lo que a imágenes de radar se refiere, estas pueden responder a una serie de configuraciones: Horizontal-Horizontal (HH), Vertical-Vertical (VV), Horizontal-Vertical (HV) o Vertical-Horizontal (VH), siendo el primer término el correspondiente a la polarización de la radiación emitida, mientras que el segundo término esta relacionado a la radiación recibida.

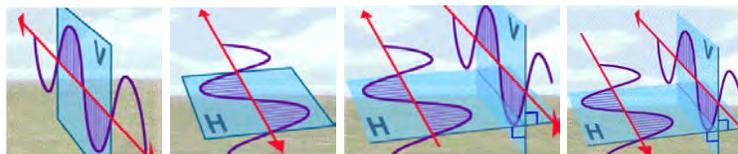


Figura 19 - Polarización VV, HH, VH y HV

La polarización podrá brindar información de diferentes capas del objetivo enfocado, y la penetración de la onda del radar variará de acuerdo a la polarización elegida.

Respecto a esta influencia es la transmisión y recepción VV la que aporta mejores resultados a la individuación de un derrame (Bartsch et al., 1987; Macklin, 1992; Kozu et al., 1987; Madsen et al., 1994; Girard-Arduin et al., 2003). De acuerdo a la teoría SAR, la polarización VV brinda una retrodispersión mayor que la polarización HH debido al aporte de la constante dieléctrica de la superficie oceánica (Alpers, 2004; Elachi, 1988). La polarización VV responde con mayor contraste cuando el vertido se encuentra sobre la superficie.

A continuación (Tabla 3), se detalla un resumen de los productos SAR disponibles:

Banda	Instrumento	Modo	Cobertura espacial	Resolución espacial	Resolución temporal	Rango de ángulos de incidencia	Polarización	
X	Cosmo-Skymed	Spotlight	10Km	1mt.	<12horas (constelación)	20°-60°	Single HH o VV	
		Stripmap Himage	40Km	3mts.			Single HH o HV o VH o VV	
		Stripmap Ping Pong	30Km	15mts.			Dual HH-VV o HH-HV o VV-VH	
		ScanSar Wide Region	100Km	30mts.			Single HH o HV o VH o VV	
		ScanSar Huge Region	200Km	100mts.				
	Terrasar-X	Spotlight High Resolution	de 5 a 10Km x 5Km	1mt.	11 días	20°-55°	Single HH o VV	
		Spotlight	10Km	2mts.			Dual HH-VV	
		StripMap	30Km x 50Km	3mts.		20°-45°	Single HH o VV, Dual HH-VV o HH-HV o VV-VH	
		ScanSAR	100Km x 150Km	16mts.			Single HH o VV	
	Terrasar-X2 ⁽¹⁾	Spotlight High Resolution	10Km	0.5mts.	11 días	20°-55°	Single HH o VV, Dual VV-VH o HH-HV, Quad HH+VV+HV+VH	
		Stripmap	10Km a 50Km	1mt. a 4mts.			20°-50°	Single HH o VV, Dual VV-VH o HH-HV o VV-VH
		ScanSAR	50Km a 500Km	5mts. a 50mts.		Single HH o VV		
C	Radarsat-2	modos Radarsat1	50-500 Km	10-100 mts.	2-3 días	10°-60°	Single HH o VV o HV o VH, Dual HH+HV o VV+VH	
		Multi-look fine	50 Km	10 mts.			30°-50°	Single HH o VV o HV o VH
		Ultra-fine	20 Km	3 mts.			30°-40°	Single HH o VV o HV o VH
		Standar Quad Pol	25 Km	25 mts.			20°-41°	Quad HH+VV+HV+VH
		Fine Quad Pol	25 Km	10 mts.			30°-41°	
	Envisat/ASAR ⁽²⁾	Stripmap	56-100Km	30mts.	3-4 días	15°-45°	Single HH o VV	
		Alternating Polarization	56-100Km	30mts.			Dual HH/VV o HH/HV o VV/VH	
		Wide Swath	400Km	50mts.			Single HH o VV	
		Global	400Km	1000mts.			Single HH o VV	
	ERS-2 ⁽³⁾		100Km	25mts.	35 días	23°	Single VV	
	Sentinel-1 ⁽⁴⁾	StripMap	80Km	5x5mts.	6 días (constelación) 12 días (satélite)	20°-45°	Dual VV-VH o HH-HV	
		Interferometric Wide Swath	250Km	5x20mts.			23°-36.5°	Single HH o VV
Extra Wide Swath		400Km	25x100mts.	Single HH o VV				
Wave		20Km	5x20mts.	Single HH o VV				
L	Alos/PALSAR ⁽⁵⁾	High Resolution Single Pol	70Km	10mts.	46 días	8° - 60°	Single HH o VV	
		High Resolution Dual Pol		20mts.			Dual HH-HV o VV-VH	
		ScanSAR	300Km	100mts.			18° - 43°	Single HH o VV
		Polarimetric	30Km	30mts.			8° - 30°	Quad HH-HV-VH-VV
	Alos-2 ⁽⁶⁾	Spotlight	25x25Km	3mts.x1mt.	14 días	8° - 70°	Single HH o VV o HV	
		Stripmap Ultra-Fine	50Km	3mts.			Single HH o VV o HV, Dual HH-HV o VV-VH,	
		Stripmap High-Sensitive	50Km	6mts.			Single HH o VV o HV, Dual HH-HV o VV-VH, Quad HH-HV-VV-VH, y Compact polarimetry	
		Stripmap Fine	70Km	10mts.			Single HH o VV o HV, Dual HH-HV o VV-VH	
		ScanSAR	350Km	100mts.				
	Saocom ⁽⁷⁾	Stripmap High Resolution	60Km	10mts.	8 días (constelación) 16 días (satélite)	20°-57°	Single HH o VV, Dual HH-HV o VV-VH y Quad HH-HV-VH-VV	
		Stripmap Mid Resolution	60Km	25mts.				
		ScanSar Narrow	170Km	50mts.				
ScanSar Wide		320Km	100mts.					

Tabla 3 - Comparación entre los distintos productos SAR disponibles a la fecha y a lanzarse próximamente.⁽¹⁾Lanzamiento previsto año 2016 (Janoth et al., 2012) - ⁽²⁾Imágenes de archivo (ESA anunció fin de misión el 9/Mayo/2012) - ⁽³⁾Imágenes de archivo (retirado en Julio 2011. ESA ERS Overview) - ⁽⁴⁾Lanzamiento previsto año 2013. ESA Bulletin 131 - ⁽⁵⁾Imágenes de archivo (misión finalizada desde 12/Mayo/2012. PALSAR User's Guide) - ⁽⁶⁾Lanzamiento previsto: año 2013 (Kankaku et al., 2009) - ⁽⁷⁾Lanzamiento previsto: año 2013 (Giraldez, 2003).

CAPITULO 3. Metodología de procesamiento

La metodología propuesta esta centrada en la identificación de derrames a partir de imágenes SAR, si bien es sabido el aporte de información proveniente de otros sensores como necesario. El procesamiento de imágenes ópticas se aparta del objetivo de este trabajo.

En términos generales, la detección puede resumirse en 3 pasos fundamentales que son (Solberg et al., 2007; Nirchio et al., 2005):

1. Detección de manchas negras
2. Extracción de características
3. Clasificación de lo detectado en función de sus características

Estas técnicas vienen realizándose con mayor o menor éxito de acuerdo a la selección correcta de las características explicativas, debido al paso previo de individuación de manchas negras y de la selección del método de clasificación.

Ampliando lo mencionado, en la Figura 20 se detalla lo que la metodología implica:

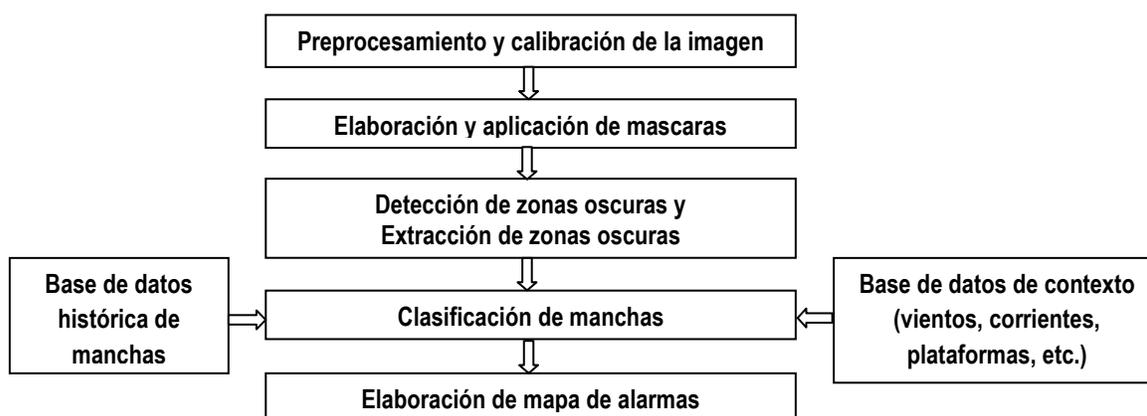


Figura 20 – Metodología de detección

Esta sección implica el desarrollo de la metodología expuesta, el detalle y aplicación de distintos filtros ponderando resultados, la aplicación y el análisis de métodos de segmentación, que lleva a la elaboración del banco de manchas.

La parte final del presente capítulo menciona el desarrollo de una aplicación pre-operativa de categorización de manchas. La misma esta desarrollada con herramientas del entorno Matlab, optando por este paquete informático dada la gran versatilidad en personalización de funciones que dispone.

El objetivo de la herramienta es la posibilidad de una próxima incorporación a modo de paquete operativo parametrizable y modular.

Preprocesamiento

En (Frulla et al., 1998) se plantean los preprocesamientos necesarios para posibilitar la extracción de información cuantitativa de la imagen y que no están involucrados en el de origen (como correcciones por efectos de pérdidas de potencia en rango y por modelo de antena). Entre estos se encuentran la corrección de los cambios en la ganancia de la antena, correcciones por ruido speckle, y la calibración radiométrica para llevar los valores digitales de cada píxel a valores de coeficiente de backscattering, siendo esto imprescindible al momento de hacer comparables dos o más imágenes. Los procedimientos mencionados si bien son imprescindibles, modificarán al mismo tiempo los datos de origen, de manera que se deberá afrontar una solución de compromiso al tener que abordar un resultado disminuyendo potencialmente resolución y/o calidad radiométrica.

➤ Calibración radiométrica

El radar mide la tasa entre la energía transmitida por un pulso y la obtenida por el eco de la respuesta. Esta tasa o *backscatter* es necesario calibrarla a fin de que sea posible comparar datos provenientes de distintos sensores, con diferentes modos de adquisición, en distintos momentos o generados por distintos procesadores.

La fórmula de calibración radiométrica implica entre sus variables a:

La superficie de retrodispersión (A): cada píxel es normalizado de acuerdo al área real iluminada de la celda, que dependerá de la topografía y el ángulo de incidencia.

El patrón de ganancia de antena (G²): las variaciones de ganancia de antena en rango son corregidas teniendo en cuenta la topografía (por medio de un DEM) o haciendo referencia a la altura elipsoidal. Esta puede ser expresada como la tasa entre la señal recibida y la transmitida o por comparación de una antena real respecto a una isotrópica.

La pérdida en rango (R³): el backscatter recibido es corregido teniendo en cuenta la variación de distancias del sensor al suelo desde el rango cercano al lejano.

La fórmula aplicada para la calibración radiométrica es la explicitada por (Holecz et al., 1993; SARmap, 2011):

$$P_d = \frac{P_t * G_t^A(\theta_{el}, \theta_{az}) * G_r^A(\theta_{el}, \theta_{az}) * \lambda^3 * G_r^E * G_p}{(4\pi)^3 * R^3 * L_s * L_a} * A * \sigma^0 + P_n$$
, en donde P_d es lo recibido

por los dispersores distribuidos, P_t es la energía transmitida, P_n es la energía aditiva, G^A es la ganancia de antena transmitida y recibida, G^E es la ganancia electrónica en el receptor radar, G_p es una constante del procesador, R es la pérdida en rango, θ_{el} es el ángulo de elevación de la antena, θ_{az} es el ángulo en azimutuh de la antena, L_a y L_s son las pérdidas atmosféricas y de sistema respectivamente y A la superficie de retrodispersión.

La incorporación de un DEM para una mejor determinación de los parámetros geométricos y de eso modo efectuar una correcta calibración, no tendrá obviamente incidencia en el caso de la detección de derrames. Siendo en nuestro caso de vital importancia, la elección del ángulo de referencia para la realización de la normalización, ya que se obtendrán resultados diferentes al momento de efectuar comparaciones entre derrames detectados a distintos ángulos de incidencia, hablando en términos absolutos de valores retrodispersados.

Es preciso notar que la calibración mediante la utilización de esta fórmula, hace referencia a imágenes en formato sin geocodificar. Desde la herramienta desarrollada por productos como SARscape, de probada solvencia en este tipo de operaciones, se deberá partir de

imágenes sin georeferenciar; de otro modo, deberá recurrir a una aplicación manual de la calibración de acuerdo a fórmulas y constantes de calibración propias de cada sensor.

➤ **Normalización radiométrica**

Mas allá de que se haya realizado una correcta calibración, las variaciones en rango son claramente identificables, y deben ser necesariamente compensadas. Las Figuras 21, 22 y 23 dan muestra de estas diferencias.

Para resolver estas diferencias, una de las metodologías propuesta es la de corrección por cosenos, en la que un factor de corrección basado en un modelo de cosenos (Ulaby y Dobson, 1989) se aplica a los valores retrodispersados para compensar las variaciones en rango, teniendo en cuenta:

$\sigma_{norm} = \sigma_{cal} (\cos \vartheta_{norm} / \cos \vartheta_{inc})^n$, en donde n es un factor de peso normalmente dentro del rango de 2 a 7 dependiendo en el modo de adquisición de la imagen. A mayor diferencia entre el ángulo de incidencia cercano y lejano, mayor será este factor; ϑ_{norm} es el ángulo de incidencia de referencia; y ϑ_{in} es el ángulo de incidencia local referido al elipsoide.

Otro modo de aplicación de la normalización es mediante una corrección semiempírica, en donde se estima la dependencia de los valores de retrodispersión desde el coseno del ángulo de incidencia local relativo a la topografía y se compensan respecto al ángulo de incidencia de referencia.

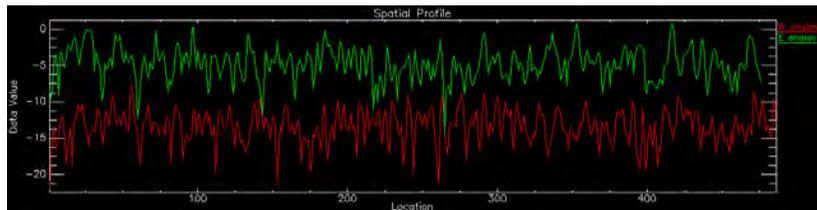


Figura 21 – Transectas trazadas en el rango sobre imagen Radarsat, Lago de Maracaibo, Venezuela ángulos de incidencia entre 24° y 24.48° (rojo), y entre 30.65° y 31.09° (verde)

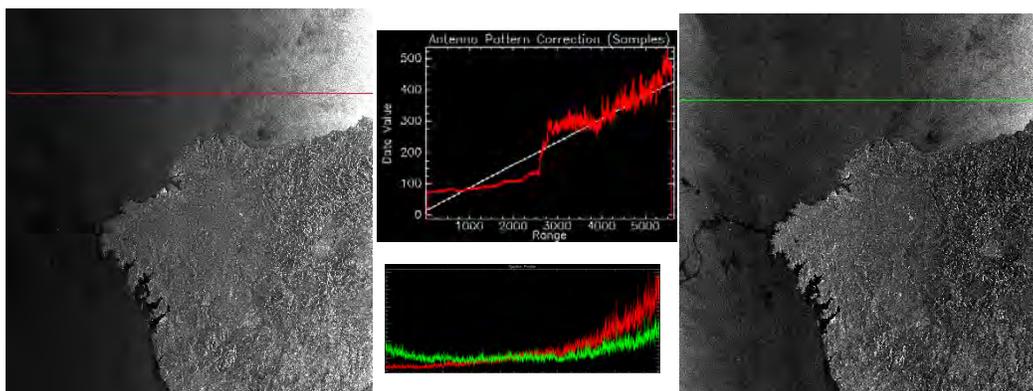


Figura 22 – Imagen original Envisat-ASAR (izquierda), aplicación de Método de corrección Multiplicativo de Polinomial de Primer Orden (centro arriba) para Corrección de Ganancia de Antena, Imagen Corregida en Rango (derecha), Perfiles imagen original vs. corregida (centro abajo)

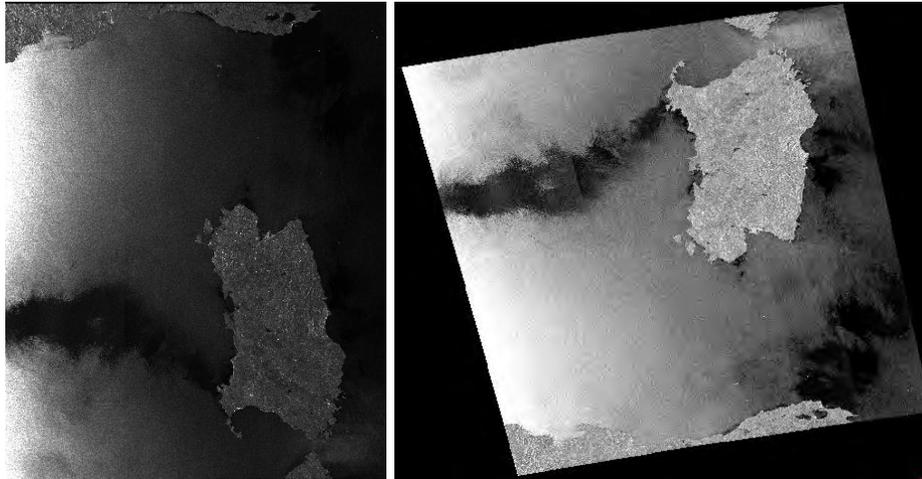


Figura 23 - Imagen original Envisat-ASAR original (izquierda) - aplicación de Normalización por corrección de cosenos y como referencia al ángulo central, Geocodificación y Calibración Radiométrica (derecha)

➤ **Filtrado**

El ruido speckle ocurre típicamente en los sistemas de generación de imágenes con radiación coherente, como es el caso del Radar de Apertura Sintética (SAR), lo que origina valores de retrodispersión aleatorios que degradan la calidad de la imagen y que afectan la eficacia de los procesos de segmentación y clasificación posteriores.

El speckle puede ser removido a partir de 2 métodos, pero en ambos la aplicación de alguno de éstos redundará en pérdida de resolución espacial:

- multilooking: las medidas que se han hecho independientemente sobre un objetivo se promedian de modo de suavizar el efecto speckle. Esto se hace mediante la división de la apertura sintética en subaperturas menores conocidas como “looks”, promediándose las celdas de resolución en rango y en azimuth.
- técnicas de filtrado: al haber alcanzado la resolución más fina, se utiliza una ventana móvil que va cambiando la intensidad del píxel central dependiendo de las intensidades de los píxeles de la ventana. Y para esto se proponen distintos algoritmos, algunos de los cuales son expuestos a continuación:

Se considera que un área se caracteriza por su información radiométrica y textural. El objetivo buscado será alcanzar la mejor separabilidad de clases para una posterior segmentación y clasificación con la mínima pérdida de información.

Para la prueba de filtros se tomarán áreas homogéneas a fin de validar el nivel de pérdida a niveles de backscattering respecto a la imagen original.

Entre los filtros más conocidos para el tratamiento del ruido speckle se pueden encontrar los siguientes:

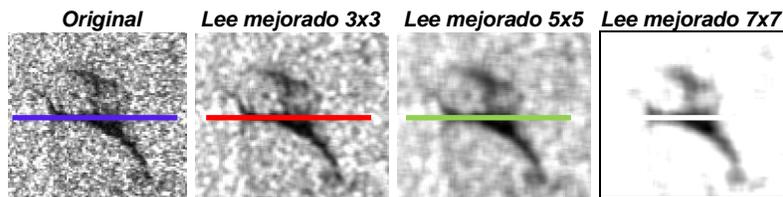
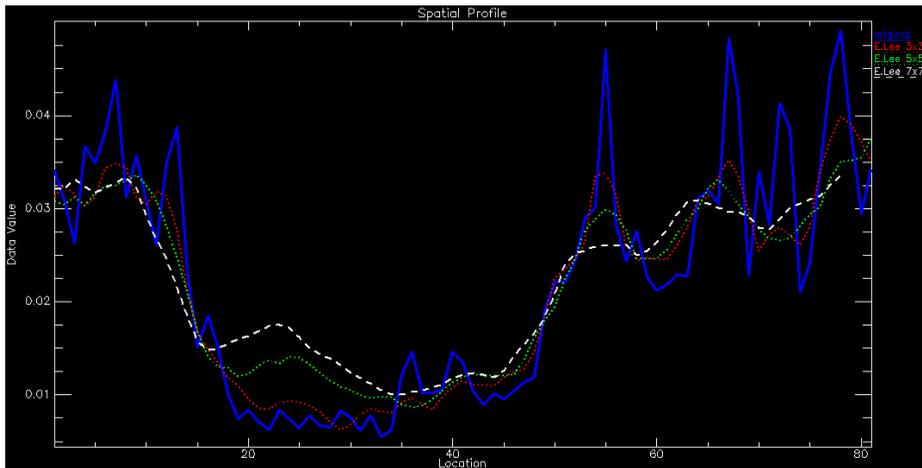
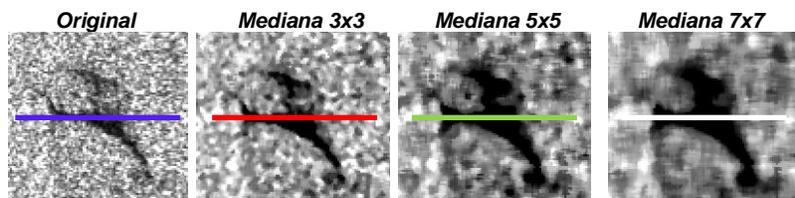
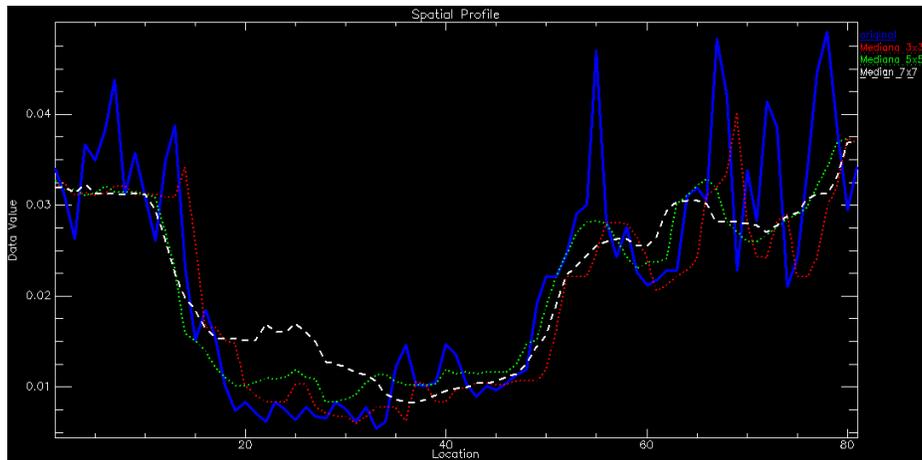
- **Lee**: Utiliza la distribución estadística de los valores digitales en una ventana kernel para estimar el valor del píxel de interés, asumiendo una distribución gaussiana del ruido y que la media y la varianza del píxel de interés es igual a la media y varianza de los píxeles en la ventana kernel definida.
- **Lee mejorado**: Reduce el speckle preservando información textural. Como su nombre lo indica es una adaptación del filtro Lee y utiliza la estadística local en

ventanas locales del filtro. Cada píxel es asignado a una de tres clases: homogéneo, heterogéneo, o punto objetivo, siendo cada clase tratada de manera diferente. Para la clase homogénea el valor del píxel evaluado es reemplazado por el promedio de la ventana del filtro. Para la clase heterogénea es reemplazado por una media ponderada, y para la clase punto objetivo el valor se mantiene (Lopes et al., 1990; ITT ENVI 8 Help)

- **Gamma:** es un filtro adaptativo que minimiza la pérdida de información textural asumiendo que los valores de la imagen están dispuestos de acuerdo a una distribución Gamma. El filtro mantiene el valor del píxel en el caso de que la escena no tenga una distribución gamma.
- **Media:** son los filtros más simples, que promedian los valores del speckle en la imagen, resultando en pérdida de detalle y resolución (al buscarse en este trabajo la conservación de bordes para facilitar una posterior segmentación, este filtro no será evaluado).
- **Frost:** permite la reducción de speckle preservando bordes utilizando un kernel de convolución exponencial y estadística local.
- **Difusión anisotrópica no lineal:** permite la regularización en áreas homogéneas al tiempo que preservan las características relevantes utilizadas en procesos de segmentación. Los filtros de media por ejemplo, pueden verse como procesos de difusión isotrópica, igual en todas las direcciones. El filtro anisotrópico es un proceso de difusión solo entre píxeles parecidos. Definida una función de similitud si los niveles de dos píxeles son muy similares, el valor será cercano a 1 mientras que si difieren será más cercano a 0. El nuevo valor de un píxel se basa en el de sus vecinos, pero el peso de cada vecino dependerá de su similitud. Entre las características a definir en este proceso de filtrado, se encuentra la definición del parámetro que hace referencia al número de iteraciones de difusión no lineal. Esta parte del algoritmo dejará las zonas de alto gradiente sin filtrar, de modo de preservar el máximo de detalles al tiempo que se suavizan las áreas homogéneas.

En algunas publicaciones (Karathanassi et al., 2006) se sugieren combinaciones de algunos de ellos componiendo una imagen multicapa para favorecer la mantención de bordes, ganando también en homogeneidad, logrando de este modo mejores resultados en la posterior segmentación. La imagen resultante sería la compuesta por la original, junto a una filtrada con media de 3x3 y a una tercera en donde se combina el filtro Lee de 5x5 y Local de 7x7.

De acuerdo a lo percibido en las Figuras 24, 26 y 27 aplicados distintos filtros con distintos tamaños de ventana, tanto desde los resultados visuales como desde la estadística de las zonas homogéneas analizadas (Figura 25 y Tabla 4), cabe resaltar que el filtro anisotrópico, en este caso en particular es el que más se apartaría de los resultados reales, siendo los filtros Lee y Frost los que presentarían resultados más conservadores respecto a la información de la imagen original.



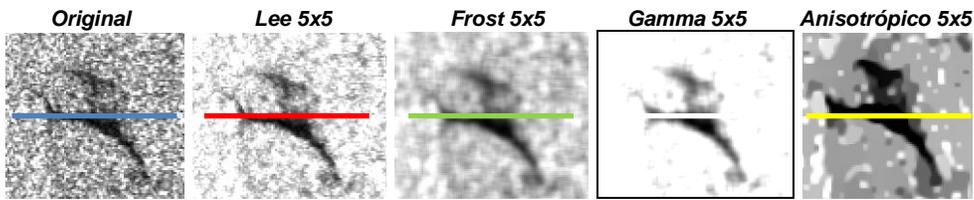
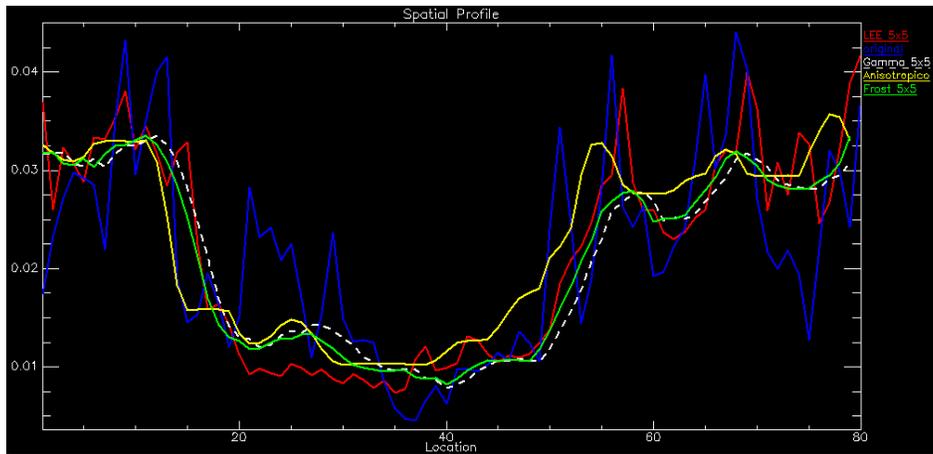


Figura 24 – Perfiles horizontales junto a Aplicación de distintos filtros a distintos tamaños de ventana

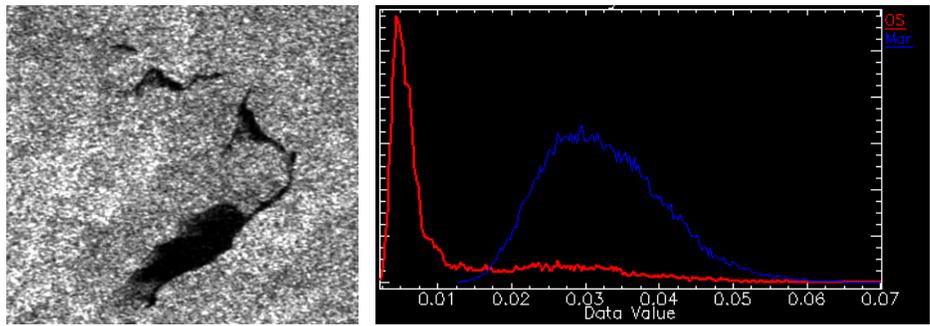


Figura 25 - Imagen original con histograma de separación de clase Mancha / Mar

	Min	Max	Media	Desvío
MANCHA	0.002115	0.070032	0.012420	0.011433
Lee 3x3	0.002373	0.068628	0.012419	0.011359
Lee 5x5	0.002600	0.066329	0.012417	0.011260
Lee 7x7	0.002775	0.063990	0.012413	0.011150
Lee 9x9	0.002929	0.061704	0.012410	0.011045
Lee 11x11	0.003022	0.059789	0.012407	0.010952
Frost 3x3	0.002531	0.067501	0.012421	0.011308
Frost 5x5	0.002818	0.063388	0.012421	0.011139
Frost 7x7	0.002974	0.059210	0.012419	0.010960
Frost 9x9	0.003159	0.055448	0.012413	0.010799
Frost 11x11	0.003374	0.051730	0.012402	0.010663

Gamma 3x3	0.002532	0.067501	0.012421	0.011308
Gamma 5x5	0.002819	0.063378	0.012424	0.011137
Gamma 7x7	0.002976	0.059163	0.012427	0.010954
Gamma 9x9	0.003167	0.055314	0.012432	0.010785
Gamma 11x11	0.003387	0.051404	0.012438	0.010635
Anisotropic 3x3	0.005404	0.058207	0.012625	0.010776
Anisotropic 5x5	0.005305	0.062017	0.012617	0.010915
Anisotropic 7x7	0.005265	0.061162	0.012625	0.010975
Anisotropic 9x9	0.005247	0.063748	0.012621	0.011000
Anisotropic 11x11	0.005276	0.066170	0.012617	0.010977
Lee mejorado 3x3	0.002532	0.067501	0.012421	0.011308
Lee mejorado 5x5	0.002819	0.063378	0.012424	0.011137
Lee mejorado 7x7	0.002976	0.059163	0.012426	0.010954
Lee mejorado 9x9	0.003167	0.055314	0.012426	0.010785
Lee mejorado11x11	0.003387	0.051404	0.012425	0.010634

MAR 0.012697 0.087990 0.032704 0.008206

Lee 3x3	0.013357	0.085590	0.032704	0.007877
Lee 5x5	0.014185	0.081662	0.032701	0.007456
Lee 7x7	0.015185	0.077893	0.032699	0.006995
Lee 9x9	0.016069	0.074560	0.032700	0.006570
Lee 11x11	0.016801	0.072088	0.032702	0.006209
Frost 3x3	0.013896	0.084013	0.032706	0.007652
Frost 5x5	0.015413	0.076761	0.032707	0.006916
Frost 7x7	0.017291	0.069460	0.032707	0.006175
Frost 9x9	0.018691	0.062698	0.032707	0.005551
Frost 11x11	0.019263	0.058816	0.032709	0.005062
Gamma 3x3	0.013897	0.084012	0.032706	0.007651
Gamma 5x5	0.015422	0.076706	0.032709	0.006908
Gamma 7x7	0.017336	0.069200	0.032712	0.006151
Gamma 9x9	0.018695	0.061866	0.032715	0.005508
Gamma 11x11	0.019278	0.058264	0.032716	0.005003
Anisotropic 3x3	0.021149	0.070360	0.032711	0.006217
Anisotropic 5x5	0.018459	0.073502	0.032728	0.006725
Anisotropic 7x7	0.017749	0.080040	0.032725	0.006809
Anisotropic 9x9	0.018465	0.082665	0.032693	0.006892
Anisotropic 11x11	0.017385	0.079903	0.032726	0.006921
Lee mejorado 3x3	0.013897	0.084012	0.032706	0.007651
Lee mejorado 5x5	0.015422	0.076706	0.032709	0.006908
Lee mejorado 7x7	0.017336	0.069200	0.032712	0.006151
Lee mejorado 9x9	0.018695	0.061866	0.032715	0.005508
Lee mejorado11x11	0.019278	0.058264	0.032716	0.005003

Tabla 4 - Resumen estadístico de filtros aplicados

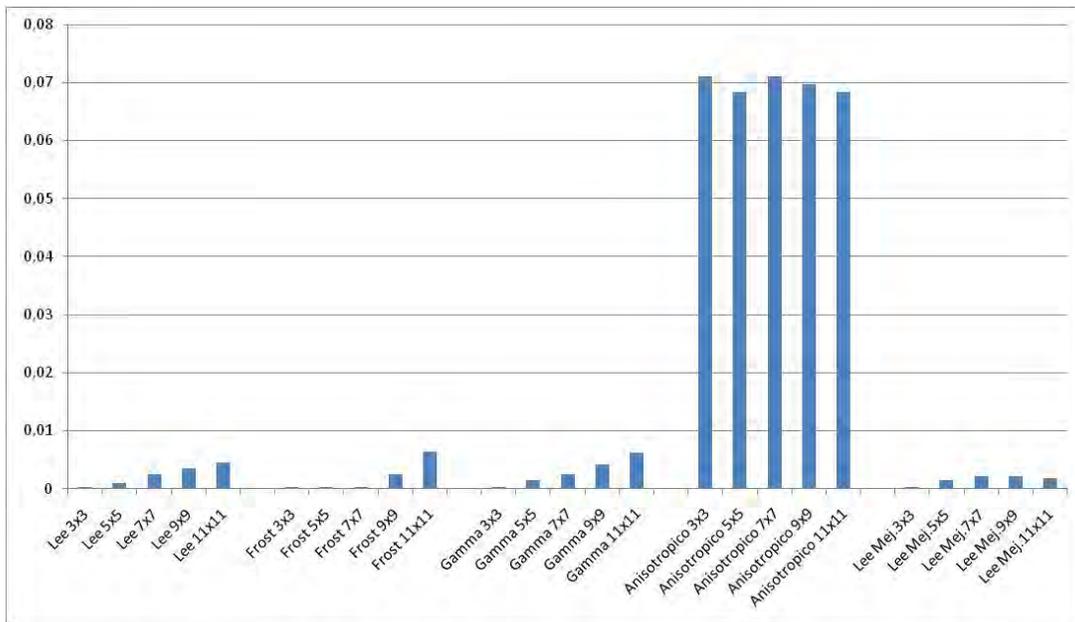


Figura 26 - Diferencia a media de Mancha a imagen original

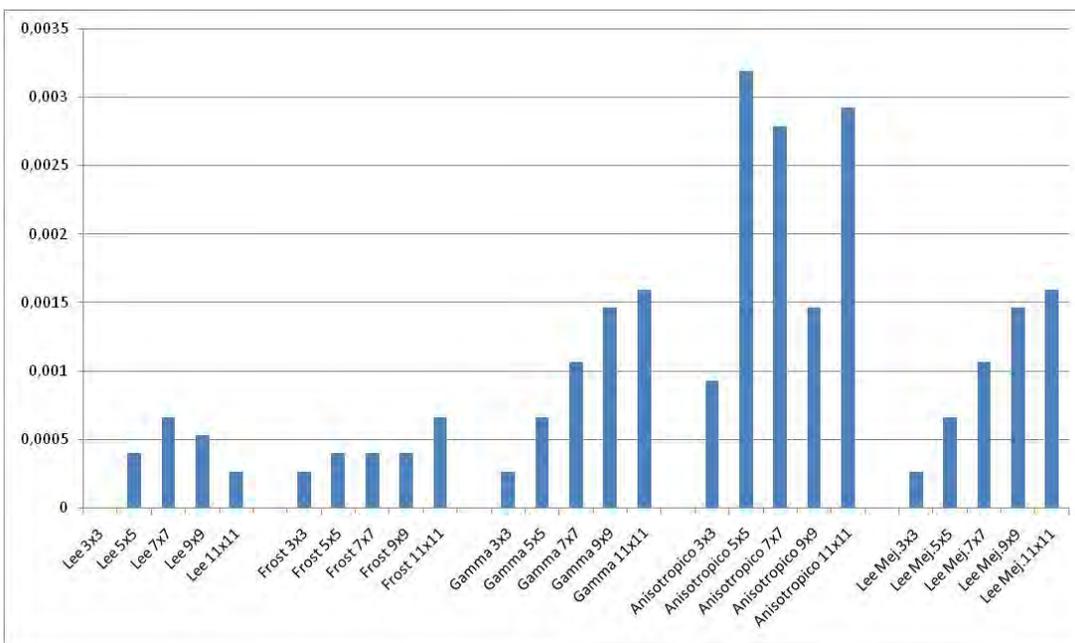


Figura 27 - Diferencia a media de Mar a imagen original

Segmentación

La segmentación busca dividir la imagen en regiones de interés no superpuestas, orientadas de acuerdo a un cierto criterio, haciendo uso de una escala acorde del objeto a identificar. El proceso de segmentación es tan significativo como el paso previo de filtrado, determinando el éxito o fracaso del proceso de clasificación posterior.

Métodos de segmentación

Existe un amplio abanico de técnicas, algunas destinadas a propósitos generales y otras para tipos específicos de imágenes, y que podrían resumirse de acuerdo a:

Propiedades de discontinuidad: La propiedad de discontinuidad sirve para una división de la imagen teniendo en cuenta cambios de niveles de los valores de píxel, destacándose entre sus algoritmos el de detección de puntos aislados, y el de detección de bordes y de líneas.

Detección de puntos aislados: se entiende como un punto aislado a aquel que difiere significativamente de sus píxeles vecinos (los 8 de su entorno). Y se encontrará aislado si al resultar de aplicar una máscara (por ejemplo una Laplaciana de valor central 6 y vecinos -1) el valor absoluto es mayor o igual a un determinado umbral. Se usa un laplaciano ya que ante detalles puntuales, es la segunda derivada la que responde de manera más significativa.

Detección de bordes: entre ellos se cuenta con herramientas como filtros Sobel y Canny (Figura 28). La detección de bordes usando operadores de gradiente, es principalmente apta para imágenes en donde hay ruidos bajos y transiciones entre intensidades bien definidas.

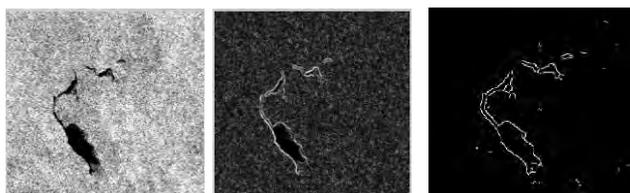


Figura 28 - Imagen original, Sobel, Canny

Propiedades de similitud: La propiedad de similitud se basa en la división de la imagen en función de las similitudes de los píxeles, siendo algunos de los algoritmos de referencia, los relativos a determinación de umbrales, al crecimiento de regiones, y al de división y fusión de regiones.

Umbralización: este método determinará la correspondencia de un píxel a una u otra región en función de un umbral de selección. Es un método de rápida aplicación para objetos que respondan claramente a niveles de gris notablemente diferentes. Con ese nivel de gris se podrán aplicar operaciones puntuales, técnicas de clasificación basadas en amplitud (a imágenes binarias), clasificación por histograma (de acuerdo a picos y valles que establecen los umbrales de separación. Al aplicar el umbral u se generará una división de la imagen de acuerdo a:

$$L(x, y) = \begin{cases} 1, & I(x, y) \leq u \\ 0, & I(x, y) > u \end{cases}$$

en el que los conjuntos se definirán de la siguiente manera:

$$L_u = \{(x, y) \in \Omega / I(x, y) < u\}$$

siendo la cantidad de componentes conexos de L_u la que determinará el número de regiones.

Este proceso, aunque poco robusto a la hora de identificar manchas, de todos modos sirve a la identificación de los picos del histograma que diferencia claramente las zonas de baja retrodispersión (Figura 29).

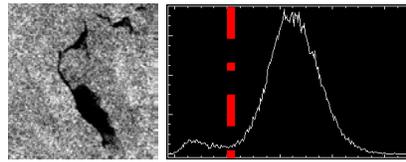


Figura 29 - Ejemplo de derrame e histograma de picos y valles de referencia

El pico menor es localizado alrededor del valor medio de retrodispersión del objeto oscuro, y el pico mayor alrededor del valor medio del fondo. El valor local mínimo entre los dos picos es guardado y utilizado para la segmentación de la imagen.

Este método, aunque no aplicado en manera generalizada a toda la imagen, es de mucha eficacia al momento de la elaboración máscaras de tierra. La máscara de tierra se puede construir de acuerdo a valores locales, ya que a nivel general y por las diferencias en rango durante la adquisición presenta los inconvenientes detallados en la Figura 30. Por lo que una ventana local es movida por toda la imagen, separando aquellos píxeles que se encuentran fuera de un rango local establecido. Dada la notable diferencia que presenta la retrodispersión de zonas marinas de las de tierra, es una de las técnicas utilizadas para la construcción de estas máscaras, si bien, como se ha dicho no es aplicable a nivel general en toda la imagen.

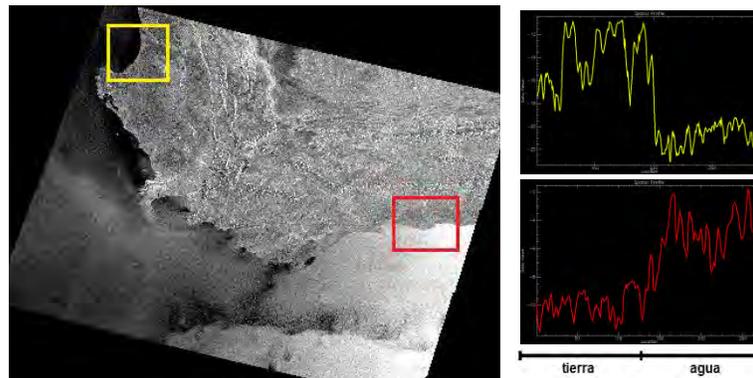


Figura 30 – Imagen Envisat-ASAR - Eventualidad por la que solo es posible aplicar el método a nivel local. Las diferencias en los perfiles tierra/agua son notables de acuerdo al área de estudio respecto al rango, mas allá de haber sido normalizada la imagen.

Si bien es claro por su simpleza y efectividad en este campo, presentará inconvenientes que redundarán en cierta ambigüedad cuando la superficie marina disponga de coberturas vegetales, o de descargas de ríos en zonas costeras (Figuras 31a y 31b).

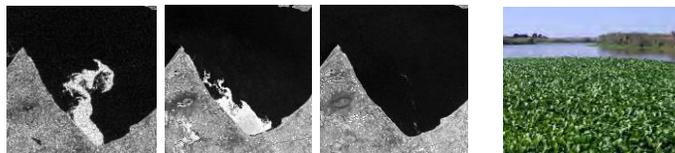


Figura 31a - Imágenes Cosmo Skymed - Bahía de Kisumu, Lago Victoria, Kenya.
Zona costera con vegetación flotante típica de la zona (Water hyacinth)

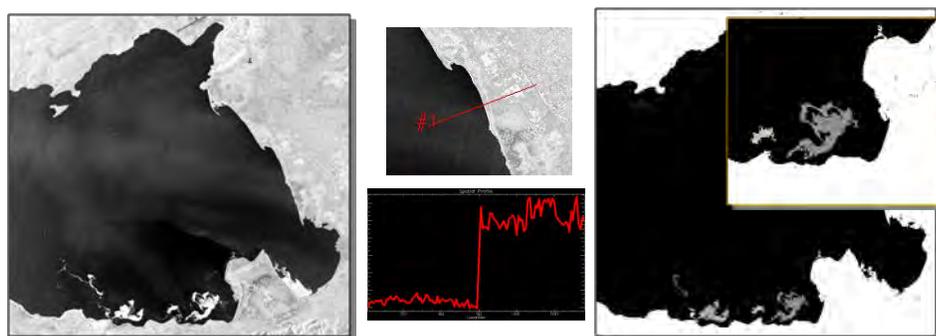


Figura 31b - Mascareo de zona de tierra por umbralización, y vegetación flotante costera

Para esto, el píxel identificado como el más oscuro se selecciona como el del punto de inicio y a modo de aplicar en otro paso un crecimiento de regiones hasta delinear la mancha en función de un umbral definido con anterioridad.

Crecimiento de regiones (region growing): El crecimiento regional se inicia desde uno o más puntos semillas, y cada valor de píxel es comparado con los vecinos inmediatos. Si su valor medio es lo suficientemente cercano (de acuerdo a un criterio determinado), el píxel es agregado al segmento, y recalculado el valor medio de este segmento. Si más de una región está lo suficientemente cerca, entonces se agregará a la más cercana. Sin embargo, si las medias de las dos regiones son lo suficientemente cercanas, las regiones son mezcladas y el píxel es agregado a la región resultante. Si la media de ninguna de las regiones vecinas está lo suficientemente cerca entonces es creado un nuevo segmento tomando el valor de este píxel.

División y fusión (split & merge): Este método comienza con una segmentación inicial y sucesivamente combina aquellas que son lo suficientemente parecidas, dividiendo y uniendo regiones, en ese orden. Comienza tomando a la imagen entera, y sucesivamente la divide en cuartos en caso de que el segmento analizado no sea lo suficientemente homogéneo, es decir, si la diferencia entre la intensidad de gris mayor y menor es lo suficientemente grande. Cuando termina la primera etapa se inicia la unión de regiones, y si dos bloques adyacentes son lo suficientemente homogéneos se unirán dando lugar a un nuevo bloque, continuando el proceso hasta tanto no puedan fusionarse mas segmentos. En esta

técnica se prevee que el umbral de decisión pueda variar entre las dos etapas, y se suele tomar un umbral bastante estricto al momento de dividir y se suaviza al unir bloques.

Segmentación por árbol (quadtree): Este proceso divide la imagen en una grilla de objetos cuadrados. Esta grilla consiste en cuadros en la que sus lados tienen una potencia de 2 y se encuentran alineados al lado izquierdo y superior. Se aplica a todos los objetos y cada uno es cortado de acuerdo a esta grilla. Esta estructura se construye de modo que cada cuadro disponga de un tamaño máximo posible y que además complete el criterio de homogeneidad definido por los parámetros de escala.

Segmentación por diferencia espectral: este algoritmo une objetos vecinos de acuerdo a los valores medios de intensidad, en función de si la diferencia entre las intensidades medias de los objetos se encuentra por debajo de un valor dado por la máxima diferencia espectral. Este proceso está diseñado para refinar segmentaciones ya existentes, uniendo objetos que espectralmente son similares y que fueron identificados por segmentaciones previas.

➤ **Metodología implementada por algoritmos del software Envi-Ex respecto a segmentación y extracción**

Dentro de los paquetes informáticos disponibles para realizar la segmentación de una imagen, el ENVI-Ex dispone del procedimiento ENVI_FX (ENVI Feature Extraction Module) que permite la automatización de la extracción de objetos en función de parámetros específicos de segmentación (nivel de unión y de escala) y clasificación (umbral: utilizado para clasificación basada en reglas o mediante SVM).

La identificación y clasificación de objetos se puede realizar mediante la definición de los umbrales de cada característica espacial, textural y espectral, las que conformarán un conjunto de reglas.

En lo que respecta al proceso de segmentación, el diagrama de flujo de la metodología aplicada es descrito en la Figura 32.

La transformación *watershed* aplicada en este proceso considera los bordes de los objetos en donde los niveles de gris cambian más rápidamente, siendo el gradiente la técnica que lo evidencia.

Los mínimos locales forman cuencas simulando lo que se puede entender como lo sucedido en un terreno real, a modo agua acumulándose. El límite será el punto de desborde de la cuenca y los bordes identificados son los límites o umbrales que evitan la fusión de cuencas.

Uno de los efectos no deseados a que puede conducir esta transformación es la de sobresegmentar (Figura 33), generando contornos irrelevantes al objeto de estudio, siendo necesaria una posterior eliminación de contornos no deseados o una modificación de la imagen de gradiente, a fin de que la transformación vincule a los valles solamente con el objeto buscado. El método correctivo incorporado por el software será la unión de regiones similares a posteriori de manera iterativa (Haris, 1998).

Finalmente, se ejemplifica su aplicación sobre un vertido para su posterior caracterización mediante un set de reglas (Figura 34).

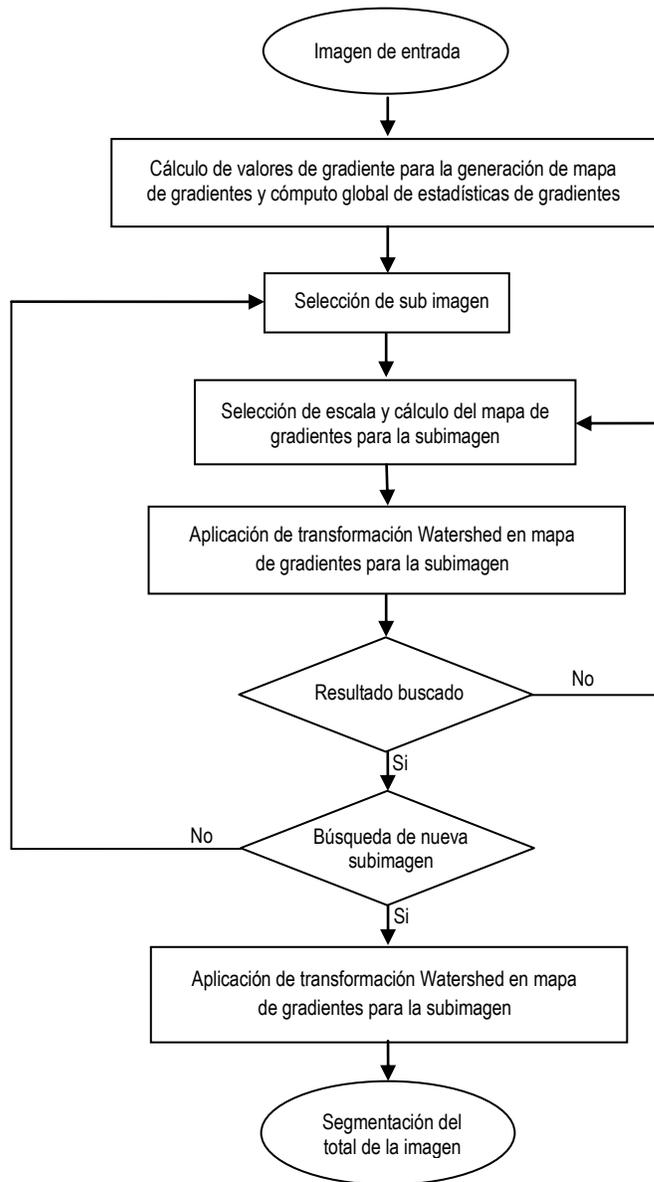


Figura 32 - Metodología de segmentación utilizada por el software ITT EnviEx (Xiaoying, 2009)

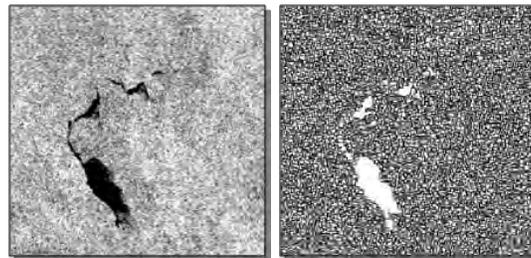


Figura 33 - Imagen original (izquierda) y aplicación de transformación Watershed (derecha), en la que se nota una clara sobresegmentación

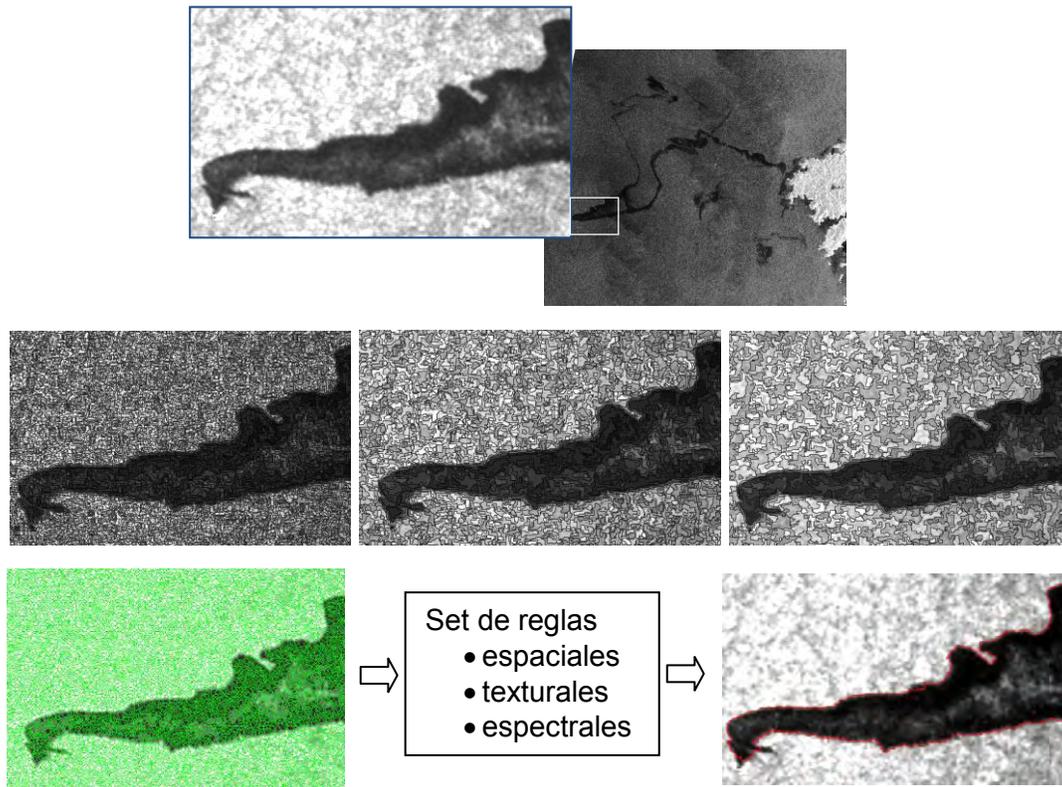


Figura 34 - Ingreso de imagen filtrada, selección de alternativas de escala y merge de corrección de sobresegmentación, aplicación de reglas, y extracción de objeto en base a características

➤ **Metodología de Extracción basada en Lógica Difusa: clustering Fuzzy c-means**

El agrupamiento de datos y números es la base de muchos procesos de clasificación, teniendo como objetivo la identificación de agrupamientos naturales de datos de un gran conjunto para representar el comportamiento de un determinado sistema. La agrupación o clustering por el método Fuzzy c-means (FCM), es una técnica no supervisada que ha sido aplicada ya a áreas de clasificación en campos como la geología, el reconocimiento de objetivos y la segmentación de imágenes. La imagen puede representarse en varios espacios, y los algoritmos relativos al método FCM clasifican los puntos del espacio en clusters. Esto se realiza por una optimización iterativa que minimiza una función de costo que es dependiente de la distancia de los píxeles al centro del cluster.

$$J = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^c u_{ij}^m \|x_j - v_i\|^2$$
, en donde u_{ij} representa la correspondencia del píxel x_j en el cluster i , siendo v_i el centro del cluster i . Y el parámetro m controla el grado de difusión de la partición.

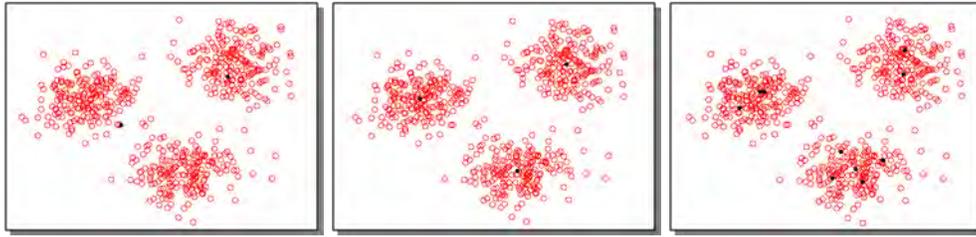


Figura 35 - Centroides de agrupamientos de acuerdo a Clustering de 2, 3 y 10 grupos

La función de correspondencia representa la probabilidad de pertenencia a un cluster específico. En este caso, esta probabilidad dependerá de la distancia entre el píxel en cuestión y cada centro de cluster. Las funciones y los centros son actualizados por las funciones:

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_j - v_i\|}{\|x_j - v_k\|} \right)^{2/(m-1)}} \quad v_i = \frac{\sum_{j=1}^N u_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^N u_{ij}^m}$$

Este algoritmo de agrupamiento, que es una variante del algoritmo k-means, fue originalmente introducida por Jim Bezdek (Bezdek,1981) como un avance respecto a los métodos de agrupamiento previos, y diferenciándose en que permite la pertenencia parcial de un dato a más de un grupo, y en la metodología utilizada para la actualización de los centroides.

Las herramientas informáticas disponibles en el mercado (entre ellas la provista por el software Matlab), disponen de funciones que inician una aproximación hacia los centros de las agrupaciones, en donde se estima se encuentra la localización media de cada grupo. La primera estimación para el cálculo de los centros de estos grupos es mayormente poco precisa. Pero a medida que se suceden las iteraciones, los centros de los clusters y los grados de pertenencia para cada punto, los centros se relocalizan a un centro más preciso. Y esto es teniendo en cuenta la minimización de una función objetivo que representa la distancia de un punto cualquiera al centro del cluster ponderado por el grado de correspondencia de los puntos.

El resultado es una lista de nuevos centros y una serie de grados de correspondencia para cada punto.

Los algoritmos convencionales de clustering difuso no tienen en cuenta la información espacial dada por la correlación entre píxeles vecinos. En (Chuang et al.,2006) se propone la incorporación de información espacial a la función de correspondencia a fin de incrementar la precisión en los resultados obtenidos en la segmentación. Las funciones de correspondencia de los píxeles vecinos, centrados en un píxel del dominio espacial se enumeran para obtener la estadística de distribución de las agrupaciones. Y éstas se transforman en función de ponderación a fin de que puedan ser incorporadas a la función de correspondencia original. Las ventajas de esta nueva metodología según el autor, radicaría en la identificación de regiones más homogéneas en relación a otros métodos,

reduciría la generación de falsos objetos, y removería puntos de ruido al ser menos sensible a éste que otras técnicas.

En este caso de una metodología FCM que tenga en cuenta la información espacial, se parte de la idea de que existe una fuerte correlación entre píxeles vecinos, por lo que la probabilidad de que pertenezcan al mismo cluster es alta.

El autor plantea que en regiones homogéneas, las funciones espaciales solamente fortalecen la función de correspondencia original, mientras que para píxeles ruidosos la fórmula reduce el peso del cluster ruidoso por referencia de sus píxeles vecinos.

La metodología realiza una serie de pasos similares a los de una FCM estandar en una primera instancia, para el cálculo de la función de correspondencia. Mientras que en una segunda etapa, la información de correspondencia de cada píxel es analizada en el dominio espacial.

La próxima iteración se realiza con la nueva función de correspondencia que tiene incorporada la función espacial previa, y se detiene al momento de que una máxima diferencia entre dos centros de cluster, en dos pasadas sucesivas, es menor a un cierto umbral.

Y luego se aplica una defuzzificación para asignar a cada píxel a su cluster de referencia en donde la función de correspondencia es máxima.

En (Li et al., 2011) en tanto se propone un nuevo nivel fuzzy para la segmentación de imágenes, en donde se incorpora la información espacial durante la optimización adaptativa, eliminando las operaciones morfológicas intermedias derivando posteriormente los niveles de segmentación del agrupamiento fuzzy.

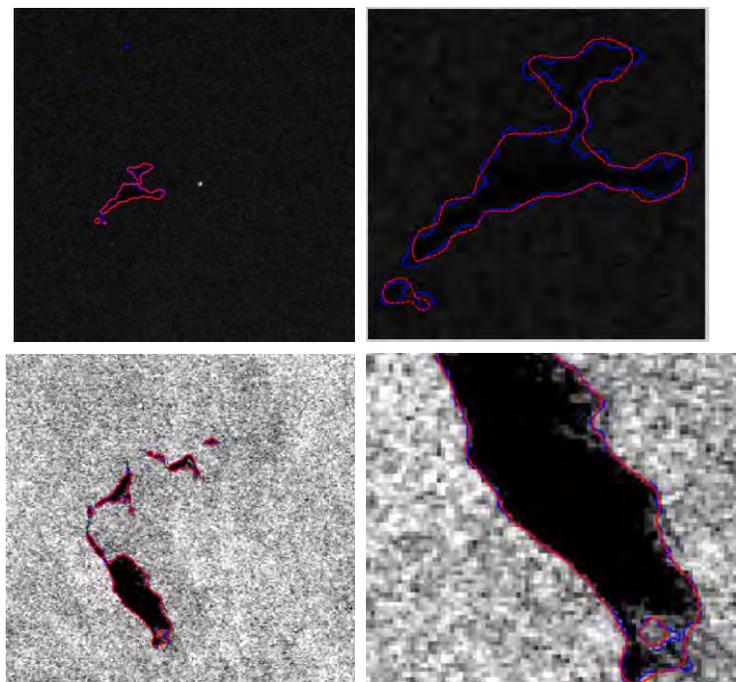


Figura 36 - Imagen original segmentada por FCM estandar (azul), y por FCM espacial (rojo)

➤ **Metodología de Extracción por Morfología**

Entre los pasos significativos que explican esta metodología de extracción se pueden mencionar:

1. Lectura de la imagen
2. Selección del elemento estructurante

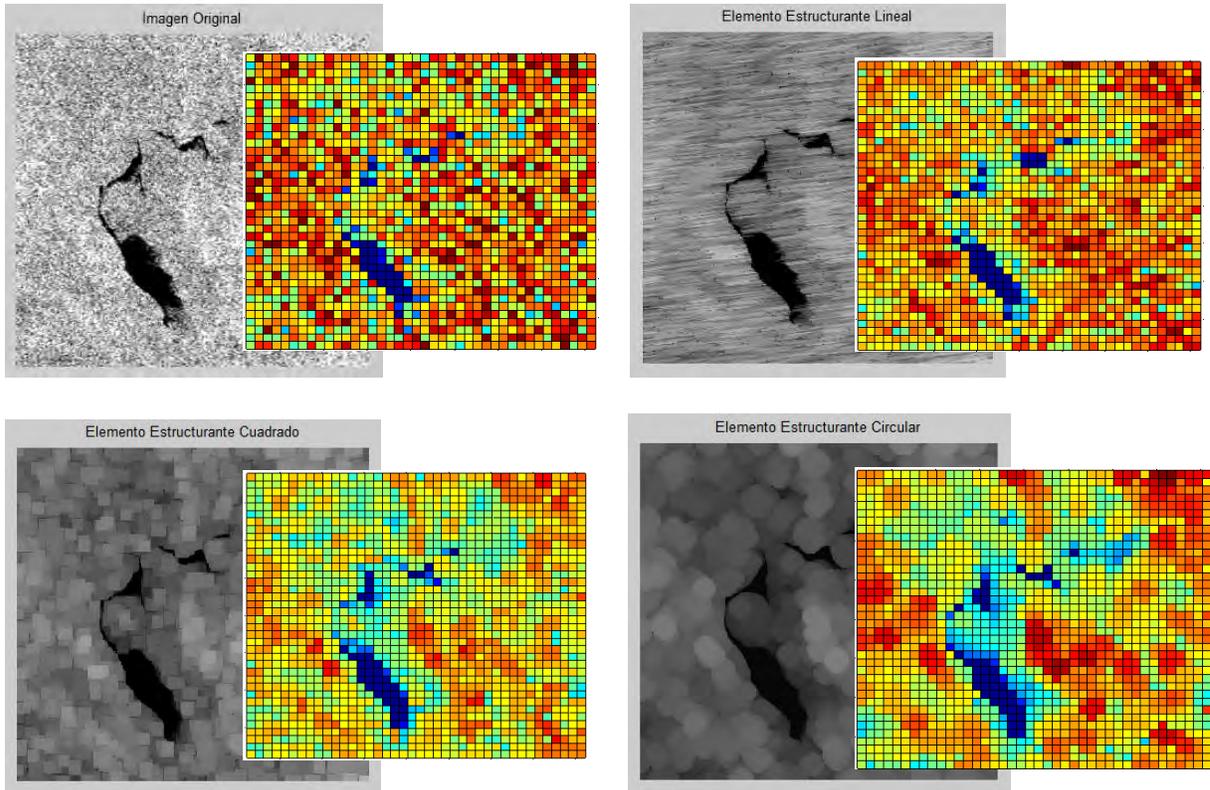


Figura 37 – Aplicación de distintos elementos estructurantes

3. Eliminación del fondo de la imagen de la imagen original
4. Incremento del contraste
5. Establecimiento de umbral de corte
6. Remoción de componentes que cuenten con una cantidad menor a determinada de píxeles
7. Relleno de espacios vacíos
8. Identificación de los objetos
9. Etiquetado de los objetos

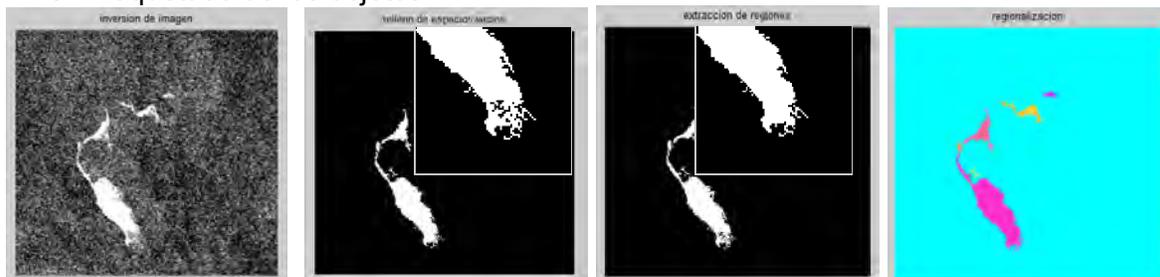


Figura 38 – Etiquetado de regiones

Para el presente trabajo, se ha optado por esta última metodología, siendo implementada su automatización para facilitar la operatoria (Figura 40).

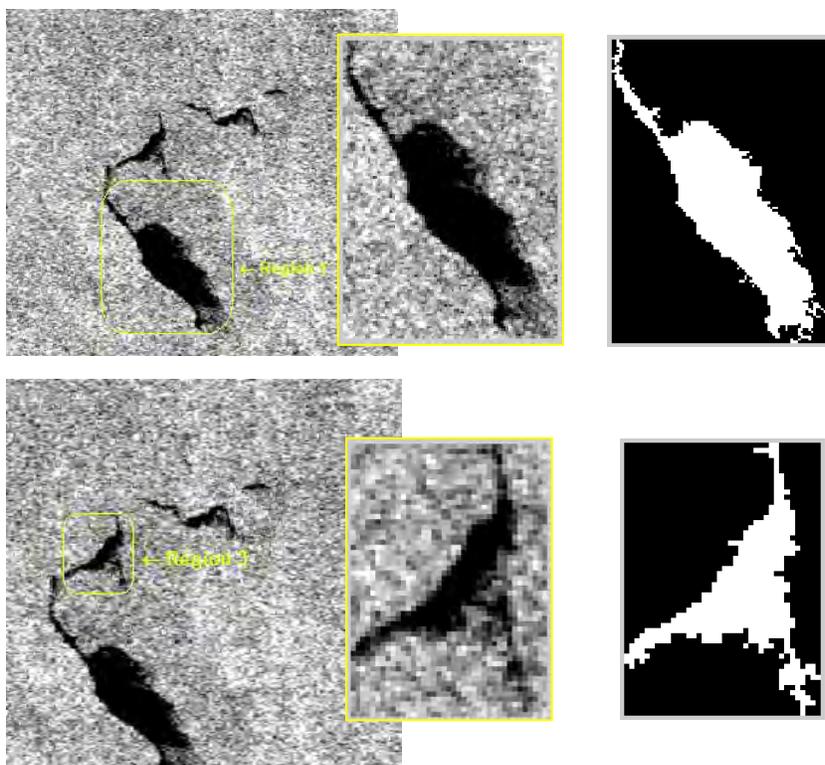


Figura 39 – Ejemplo de regionalización

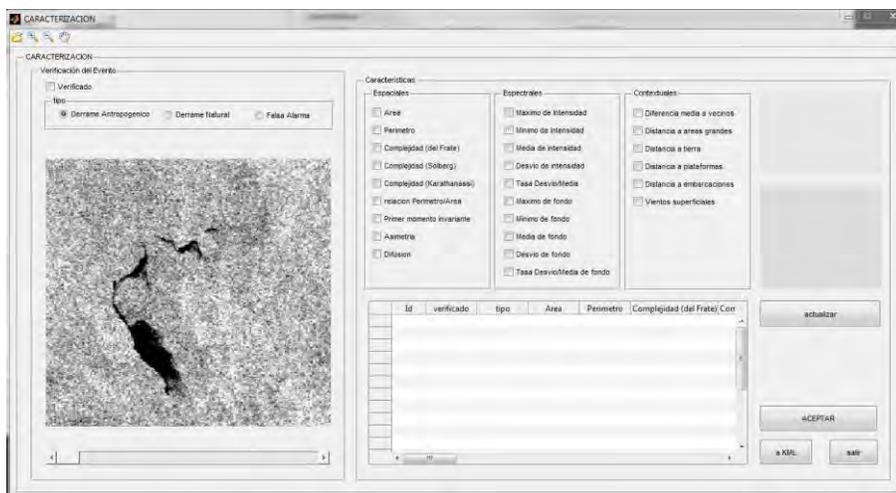


Figura 40 – Implementación de extracción de características de regiones

Características distintivas

Hay una serie de parámetros que sirven a la hora de distinguir lo que es un derrame de hidrocarburos de una zona de baja retrodispersión, entre ellos, los propios valores retrodispersados, morfologías, contextos geográficos y temporales y la relación con otras imágenes.

El uso de los valores absolutos de σ^0 para distinguir los distintos tipos de eventos con bajo nivel de retrodispersión suelen tomarse como uno de los primeros recursos, pero no solo estos sino la información relativa a valores de contraste suele ser eficaz al momento de la individuación.

Una vez detectada la zona de contraste que individua a un objeto de análisis, su morfología, el contexto meteorológico, información oceanográfica, etc., provee información que indicará vínculos a su origen.

Las características morfológicas que aportarán información serán las relativas a formas, bordes y extensión espacial. También valores de textura, como es el caso de los bordes de las regiones en donde se encuentran vientos bajos son normalmente menos pronunciados que lo que se pueden observar en las manchas reales de hidrocarburos.

Otras de las características a evaluar para la discriminación serán la proximidad y topografía de la costa, la geomorfología y batimetría. Y el conocimiento de las actividades que se vienen llevando a cabo en esa región como pueden ser las prácticas pesqueras, operaciones de movimiento de carga o descarga de petróleo, rutas marítimas de buques tanqueros, información sobre el desarrollo a través del tiempo del fenómeno, etc., servirán para dar un apoyo al análisis. Asimismo, la presencia de otros objetos detectados también dará información de utilidad.

Más allá de los análisis de las características mencionadas, el hecho de quitar completamente la ambigüedad de una identificación es prácticamente imposible, y menos aún si se cuenta únicamente con solo una imagen y de una sola polarización (Colon et al., 2000).

De acuerdo a la literatura consultada (Solberg y Theophilopoulos, 1997; Solberg et al., 1999; Del Frate et al., 2000; Karathanassi et al., 2006; Brekke y Solberg, 2005) la información útil para describir a un derrame puede resumirse en:

- Las características geométricas, como pueden ser los valores de área, perímetro, etc.
- Las características físicas que responden a valores de retrodispersión de la mancha, de sus vecinos, del espacio de fondo, etc.
- Las características que describen su relación con el contexto, es decir, cercanía a costas, presencia de buques o plataformas, etc.

En este capítulo se describirán las características utilizadas por varios autores a la fecha, se aplicarán a casos de estudio extrayendo valores testigo y se determinarán aquellas que en función de la experiencia respecto a esos casos, y a lo realizado al momento por otros autores resumen la mayor eficacia hacia una posterior clasificación.

➤ Características Espaciales

En lo que respecta al valor que agregan para la identificación de manchas, las propiedades que pueden extraerse a partir de la forma de las regiones podrían resumirse en las siguientes:

Área: Área del objeto detectado

áreas grandes: los derrames típicos, que usualmente provienen de descargas de embarcaciones y de plataformas, normalmente no cubren grandes superficies. En contraposición, los objetos grandes pueden responder a zonas de bajo viento.

áreas pequeñas: áreas demasiado pequeñas normalmente responden a anomalías en la imagen o a un detenimiento momentáneo a pequeña escala de los vientos.

Perímetro: Perímetro del objeto detectado

Rectángulo que lo contiene

Centroide del objeto

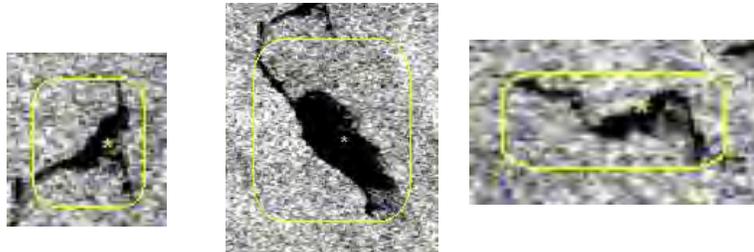


Figura 41 - Rectángulo que contiene a objetos y Centroides

Complejidad: describe la complejidad geométrica del objeto

Complejidad (según Del Frate) = $\text{Perímetro} / (2 * \sqrt{\pi * \text{Área}})$

Esta característica dará como resultado un valor menor para regiones de una complejidad simple y serán valores mayores para regiones de mayor complejidad geométrica.

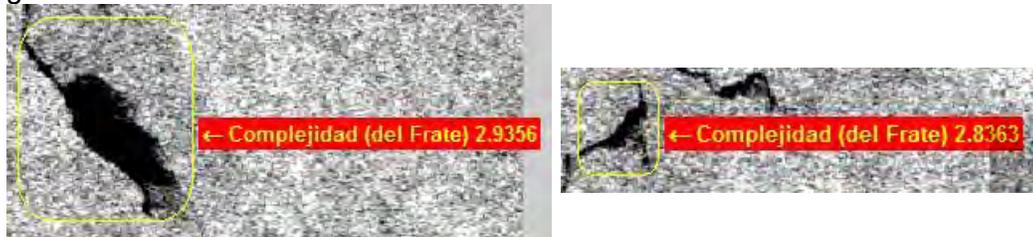


Figura 42 – Complejidad (del Frate)

Complejidad (según Solberg) = $\text{Perímetro}^2 / \text{Área}$

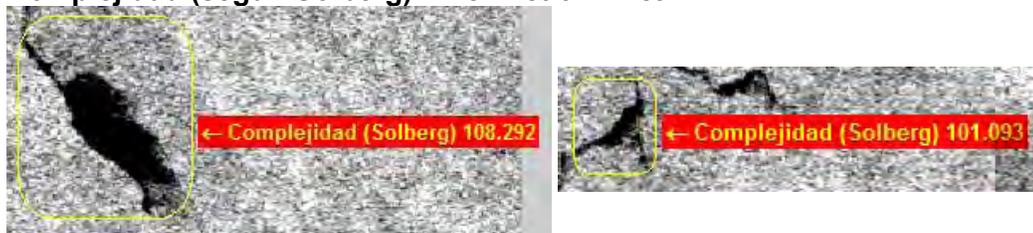


Figura 43 – Complejidad (Solberg)

Complejidad (según Karathanassi: Dimensión Fractal): los derrames usualmente presentan un grado de linealidad con bordes suavizados. En (Karathanassi et al., 2006) se asume que las formaciones pueden tener valores fractales superiores en objetos mas brillantes que en oscuros. De este modo, este índice puede aportar una diferencia significativa para una posterior distinción.

Una imagen es llamada “fractal” si muestra una similitud con sí misma; siendo dividida en parte, cada parte de la imagen original, es al menos de manera aproximada una copia reducida de ésta.

Una caracterización posible de un fractal la provee el método de conteaje de cajas (o *box-counting*). El numero N de cajas de tamaño R que se necesitan para cubrir un fractal responde a la regla $N = N_0 * R^{(-df)}$, en donde $df \leq D$, siendo D la dimensión del espacio, que puede ser por ejemplo 1, 2, etc.

La df es conocida como la dimensión Minkowski-Bouligand, o dimensión Kolmogorov, o simplemente dimensión del conteo de cajas (dimensión box-counting). Una de las maneras de calcular la dimensión fractal es el conteo de cajas que son necesarias para cubrir la imagen (Figura 44). Y la dimensión se calcula mirando cuánto cambia este conteo a medida que se afina la grilla.

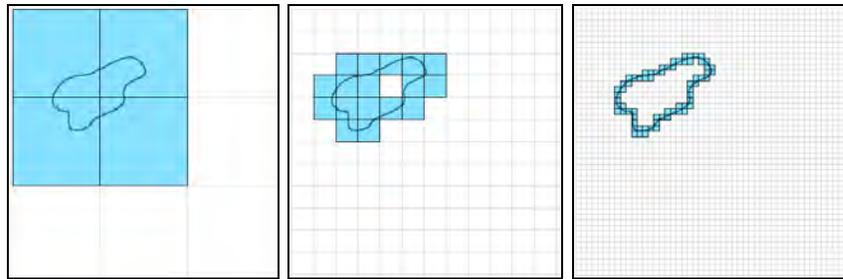


Figura 44 –Complejidad (Karathanassi) – Dimensión fractal: Método de box-counting

Dadas $N(\epsilon)$ número de cajas de longitud requeridas para cubrir la imagen, entonces la dimensión de conteo de cajas se definirá como:

$$\dim_{\text{box}}(S) := \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\epsilon)}{\log(1/\epsilon)}$$

si este límite no existe, entonces se debe hablar de la dimensión superior o inferior que corresponda al límite superior o inferior respectivamente. La dimensión de conteo de cajas quedará bien definida si las dimensiones superior e inferior son iguales. La dimensión superior es llamada dimensión superior de Minkowski, mientras que la inferior es llamada dimensión inferior de Minkowski, entre otras denominaciones.

Longitud del axis mayor y menor: especifican la longitud de los axis mayor y menor de la elipse que tiene el mismo segundo momento normalizado central que el de la región.

Factor de forma (según Karathanassi: Asimetría): tasa de la longitud de axis mayor y menor de la elipse que describe el objeto.

Relación Perímetro Área: Perímetro / Área

Diámetro equivalente: especifica el diámetro del círculo de la misma área que la región. Es calculado como la raíz de $4 \cdot \text{Area} / p$.

Factor de forma (según Fiscella): mide la dispersión de los píxeles la zona oscura desde el axis longitudinal (Fiscella et al., 2000).

Factor = $4 \cdot p \cdot (\text{AREA}) / (\text{total perimeter})^2$, siendo 1 para el caso de un círculo mientras que para un cuadrado será de $p/4$ (ITT ENVI Ex Help).

Orientación: especifica el ángulo dentro del rango que va desde -90° a 90° , entre el eje X y el axis mayor de la elipse que tiene el mismo segundo momento que el de la región.



Figura 45 - Axis y orientacion de la elipse de referencia. El ángulo es definido por la horizontal y el axis mayor



Figura 46 –Orientación

Nota: Tanto la longitud del axis mayor como la orientación, serán también de utilidad al momento de definir la antigüedad de un vertido, en función de las corrientes y el impacto de los vientos superficiales.

Factor de forma (según del Frate: Difusión): este valor proviene del análisis de componentes principales de los vectores cuyos componentes son las coordenadas de los píxeles del objeto. Teniendo en cuenta a λ_1 y λ_2 como los eigenvalues asociados con la matriz de covarianza, la extensión será: $100\lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2)$, la que será baja cuando se trate de objetos largo y finos, mientras que será alta para objetos cercanos a formas circulares (Del Frate et al., 2000).

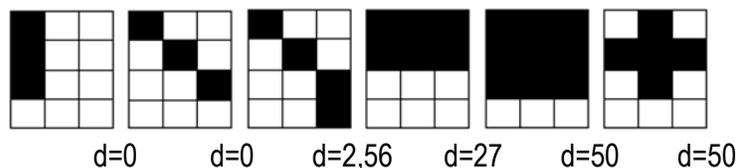


Figura 47 - Difusión

Excentricidad: especifica la excentricidad de la elipse que tiene el mismo segundo momento que la región detectada. Es la tasa entre la distancia entre el foco de la elipse y la longitud de su axis mayor. Este valor se encuentra entre 0 y 1, siendo más cercano a 0

al hacer referencia a formas mas circulares, mientras que sera tendiente a 1 cuando se acerque más a la forma de línea.

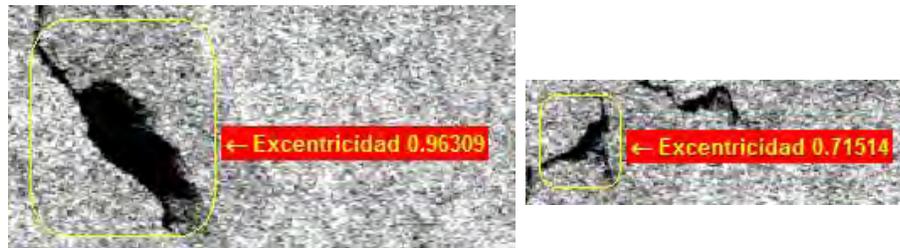


Figura 48 - Excentricidad

Extensión: tasa que especifica la relación entre los píxeles en la región respecto a los píxeles contenidos en el rectángulo que lo contiene. Se calcula como el área dividida el área del rectángulo contenedor.



Figura 49 - Extensión

Anchura: tasa entre área y diámetro del esqueleto del objeto (Solberg et al., 1999).

➤ Características espectrales

Valor medio de intensidad: Valor medio de intensidad del objeto.

Máximo y mínimo de intensidad

Desvío de intensidad: Desviación standar de los valores de intensidad de los píxeles del objeto.

Tasa Desvío-Media: Tasa entre la desviación standar y la media de los valores de intensidad del objeto.

Media de fondo: Media de los valores de intensidad respectivos a la región de interés, seleccionado por el usuario alrededor del objeto.

Máximo y mínimo de intensidad de fondo

Desvío de fondo: Desviación de los valores de intensidad de los píxeles de la región de interés, seleccionada por el usuario alrededor del objeto.

Tasa Desvío-Media de fondo: tasa entre la desviación de fondo y media de fondo.

➤ Características contextuales

Distancia a tierra: la vecindad a tierra, puede provocar cambios en la velocidad del viento, que puede llegar a resultar en la formación de objetos oscuros en la imagen SAR.

En este caso, de no haber estructuras del tipo de plataformas, puertos, o buque detectado cercana a la mancha, puede vincularse la misma a una potencial falsa alarma.

Distancia a embarcación: la cercanía a una embarcación, debido a causas de liberación de aguas de lastre y limpieza de tanques, genera un mayor grado de probabilidad de asociar lo identificado con un derrame de origen antropogénico.

Distancia a infraestructuras: fallas en cañerías y roturas en plataformas es una de las causas de más rápido seguimiento. A pesar de esto, la sombra de viento da señales de falsa alarma ligadas a infraestructuras que será preciso caracterizar.

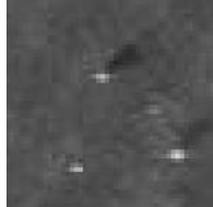


Figura 50 - Derrame desde plataformas en Mar del Norte. Imagen Envisat-ASAR.

➤ Características texturales

La unidad textural, es el elemento homogéneo más pequeño de igual valor radiométrico. Y en el marco de una imagen radar la misma puede ser dividida en 3 componentes: macro, meso o micro.

Esta última, la micro textura, es la vista como efecto speckle, en la que los elementos aparecen del tamaño de la resolución de la celda, con valores de brillo aleatorios. Este tipo de textura, como es ya sabido no responde a variaciones reales de una celda a otra, siendo que son esencialmente producto del sistema y no de la escena.

Los componentes texturales de nivel medio, sí son relativos a la escena, en la que se entiende como la variación natural del promedio de valores retrodispersados a escala de varias celdas.

El tono, como promedio de valores σ^0 , es un concepto local y es su variación espacial la que provee el valor textural. Por lo que una limitación para el análisis textural será la resolución espacial, y la calidad radiométrica debería ser relativamente constante en donde son tomadas las muestras texturales.

Y los niveles macro texturales son los provenientes de variaciones de brillo que se extienden a muchas celdas de resolución, orientada a la detección de estructuras. Este tipo de unidad de medida es importante para interpretación geológica u oceanográfica, la que es evaluada mediante la detección de bordes y patrones. (ESA Radar Course, 2011).

La homogeneidad de los objetos que constituyen un área o zona oscura suele ser alta en el caso de las falsas alarmas y menor en el caso de los verdaderos derrames de hidrocarburos que están afectados por fenómenos naturales como la injerencia del viento y sus cambios, o a la circulación de Langmuir.

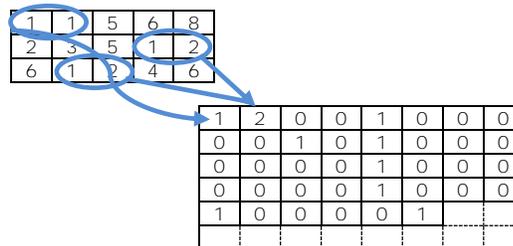
Matriz de coocurrencias de niveles de gris (GLCM)

En procesos de identificación de objetos, los valores texturales se presentan como uno de los más significativos, sobre todo en las imágenes SAR donde hay información disponible de una sola frecuencia o polarización. Existen diversas características que se pueden

calcular basadas en las dependencias espaciales de sus niveles de gris. Y estas pueden identificarse haciendo uso de la matriz de coocurrencias de niveles de gris (GLCM).

La GLCM calcula cuán frecuente el valor de un píxel (i) con una determinada intensidad en la escala de grises se produce en sus adyacencias horizontales con un valor determinado (j). Cada elemento (i,j) especifica el número de veces que este píxel de valor (i) aparece. (Haralick, 1979)

En la siguiente imagen se puede ver un ejemplo de la construcción de esta matriz, donde el elemento (1,1) contiene el valor 1 porque en solamente una instancia se da la situación de que píxeles adyacentes tengan valores 1 y 1. Mientras que el elemento (1,2) contiene el valor 2 porque hay 2 oportunidades en que en píxeles adyacentes aparecen los valores 1 y 2.



El número de operaciones requeridas para el cálculo de la matriz es directamente proporcional al número de celdas de resolución y del número de niveles de gris presentes en la imagen (Haralick et al., 1973).

La GLCM posteriormente es normalizada por la suma de todos los elementos en la matriz de coocurrencias. Y es a partir de estas matrices que se extraerán los descriptores texturales a utilizar.

Estas características brindan información respecto a la homogeneidad, dependencias espaciales de los tonos de gris, contrastes, naturaleza de los bordes y complejidad de la imagen (Haralick et al., 1973)

La aplicación de filtros basados en esta matriz dará valores de textura que servirán a la posterior caracterización del objeto. Entre ellos, se encuentra el valor medio, varianza, homogeneidad, contraste, disimilitud, entropía, correlación y segundo momento.

Media

$$\sum_i \sum_j P(i, j) * i$$

Varianza

$$\sum_i \sum_j P(i, j) * (i - \mu)^2$$

Homogeneidad

Mide la cercanía en la distribución de los elementos en la matriz GLCM a la diagonal de la matriz

$$\sum_i \sum_j \frac{P(i, j)}{1 + |i - j|}$$

Contraste

Mide las variaciones locales en la matriz

$$\sum_i \sum_j P(i, j) * (i - j)^2$$

Disimilitud

$$\sum_i \sum_j \frac{1}{1+(i-j)^2} * P(i, j)$$

donde $\mu = \frac{\sum P(i, j)}{n}$ $\mu_x = \frac{\sum_j P(i, j)}{n}$ $\mu_y = \frac{\sum_i P(i, j)}{n}$

y n es el numero de elementos

Entropía

La entropía, es una medida de complejidad, para la cual cuanto mas grandes sean las variaciones en el entorno, mayor será el valor de la entropía.

$$\sum_i \sum_j -P(i, j) * \log_e P(i, j)$$

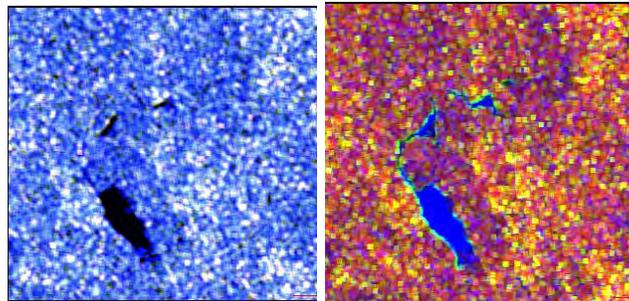


Figura 51 - RGB: Contraste–Disimilitud–Entropía (izquierda) - RGB: Media–Varianza–Homogeneidad (derecha)

Energía

Es el resultado de la suma de los elementos cuadrados en la matriz. También es conocido como uniformidad o segundo momento angular.

$$\sum_i \sum_j P(i, j)^2$$

Correlación

La correlación es una medida de probabilidad de ocurrencia de valores de pixel en los dominios vertical y horizontal. Puede definirse como una medida de dependencia lineal en una imagen.

$$\sum_i \sum_j (i - \mu_x) * (j - \mu_y) * P(i, j)$$

Contraste medio

Diferencia entre el valor medio del fondo o entorno del objeto de estudio y el valor medio del objeto de estudio.

Contraste máximo

Diferencia entre el valor medio del fondo o entorno del objeto de estudio y el valor mínimo del objeto.

La media, la homogeneidad y la energía son medidas de similitud en los valores del entorno en el bloque de la imagen. Si el bloque analizado tiene menos transiciones de

niveles de gris entonces la matriz de coocurrencias tendrá menos entradas de gran magnitud, lo que significa valores medios mas bajos para los indicadores de textura mencionados (Ravikumar, 2008).

ESPACIALES	TEXTURALES	CONTEXTUALES	ESPECTRALES
Área	Homogeneidad de fondo (GLCM)	Máxima velocidad del viento	Valor máximo de mancha
Perímetro	Energía de fondo (GLCM)	Mínima velocidad del viento	Valor mínimo de mancha
Complejidad (del Frate)	Contraste de fondo (GLCM)	Media de velocidad del viento	Valor medio de mancha
Complejidad (Solberg)	Correlación de fondo (GLCM)	Desvío de velocidad del viento	Desvío de mancha
Complejidad (Karathanassi)	Entropía de fondo (GLCM)	Mediana de velocidad del viento	Mediana de mancha
Longitud de axis mayor	Homogeneidad de mancha (GLCM)	Máxima distancia a infraestructuras*	Tasa desvío/media de mancha
Longitud de axis menor	Energía de mancha (GLCM)	Mínima distancia a infraestructuras	Valor máximo de zona**
Excentricidad	Contraste de mancha (GLCM)	Distancia media a infraestructuras	Valor mínimo de zona
Factor de forma (Fiscella)	Correlación de mancha (GLCM)	Desvío de distancia a infraestructuras	Valor medio de zona
Factor de forma (del Frate)	Entropía de mancha (GLCM)	Mediana de distancia a infraestructuras	Desvío de zona
Orientación	Valor máximo de borde	Máxima distancia a costas	Mediana de zona
Extensión	Valor mínimo de borde	Mínima distancia a costas	Tasa desvío/media de zona
Díametro equivalente	Valor medio de borde	Distancia media a costas	Valor máximo de fondo
Relación perímetro/área	Desvío de borde	Desvío de distancia a costas	Valor mínimo de fondo
	Mediana de borde	Mediana de distancia a costas	Valor medio de fondo
	Tasa desvío/media de borde		Desvío de fondo
	Contraste medio		Mediana de fondo
	Contraste maximo		Tasa desvío/media de fondo
			Tasa entre: tasa desvío/media de mancha y tasa desvío/media de fondo
			Tasa entre valor medio de mancha y valor medio de fondo
			Tasa entre desvío de mancha y desvío de fondo
			Tasa entre media de mancha y media de zona

* barcos y/o plataformas
 **zona: rectángulo que contiene a la mancha

Tabla 5 - Tabla resumen de características evaluadas

La detección de embarcaciones, para el caso particular del monitoreo de derrames de petróleo permitirá la asociación de la descarga clasificada con la embarcación responsable. Asimismo, al margen del monitoreo de derrames, supone como potenciales usuarios a responsables de monitoreo del tráfico de barcos vinculados a la industria pesquera, de seguridad marítima civil o defensa.

La necesidad de monitorear grandes extensiones a través de una imagen satelital se presenta tediosa si debe ser realizada por un operador, por lo que la automatización de los mecanismos de detección es el medio al que se recurre. Sin embargo, las capacidades de detección presentan algunas restricciones respecto a la cobertura y resolución espacial, y en relación a los contrastes entre las embarcaciones y el océano. La detección de embarcaciones es mas eficaz en el caso de polarización HH para ángulos de incidencia $>45^\circ$, y usando polarización cruzada para ángulos $<45^\circ$. (ESA Sentinel Bulletin, 2007).

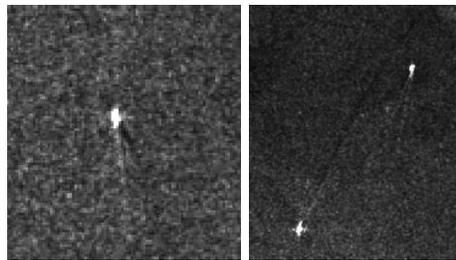


Figura 53 - Embarcaciones detectadas de imagen ENVISAT Scansar VV

De acuerdo a estudios realizados a lo largo de los últimos años, se concluye que un sólo algoritmo no producirá resultados suficientes o satisfactorios en términos de una baja cantidad de falsos objetivos.

En general, la metodología de detección implica las siguientes etapas:



Figura 54 – Proceso de discriminación de embarcaciones

La primera etapa de enmascarado de tierra se debe llevar a cabo, ya que el proceso de detección produciría en su defecto niveles de contraste generadoras de una gran cantidad de falsas alarmas.

En general, los algoritmos operacionales para la detección de embarcaciones mas utilizados estan basados en la detección de valores de brillo alto en relación a su entorno. Los barcos, con frecuencia, disponen de superestructuras que actúan como típicos “corner reflectors”. Estos tienen la propiedad de retornar la radiación hacia el origen, paralelamente a su dirección de llegada.

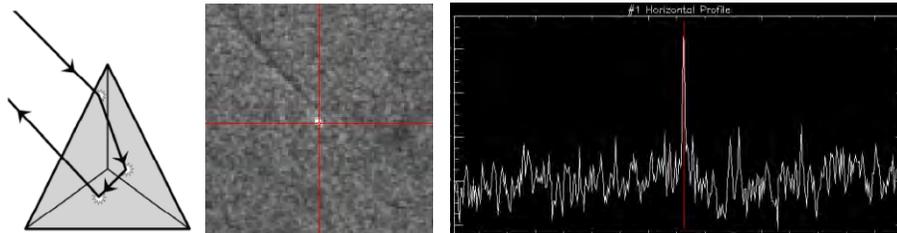


Figura 55 - Corner Reflector (izquierda) – embarcación detectada imagen Envisat-ASAR (centro). Perfil intensidad (derecha)

Los modelos de detección tienen en cuenta en su mayoría umbrales adaptativos simulando distribuciones del fondo de la imagen y una tasa de falsa alarma constante para determinar esos umbrales.

Se diferencian en detalles de implementación y en presupuestos respecto al comportamiento del entorno. Generalmente o se utilizan las distribuciones gaussianas, K y gamma (modelos de distribución paramétricos) o aquellos que se ajustan a cualquier distribución (modelos no paramétricos). (Chen et al., 2005) describe 3 algoritmos para la detección: Modelo de parámetros doble, Modelo de distribución K-Gamma, y Modelo Probabilístico de Redes Neurales.

Las tasas de detección de los modelos existentes rondan el 90% de casos favorables, mientras que en el peor de los casos esta tasa puede caer al 70%.

Estas tasas dependerán de la imagen utilizada, la geometría, tamaño y tipo de embarcación y de las condiciones meteorológicas presentes.

Entre la información que estos sistemas de detección proveen al margen de la localización, está la longitud, ancho y velocidad de la embarcación. Mientras que al momento, de acuerdo la bibliografía consultada, no está desarrollada la capacidad de identificar el tipo de embarcación (por ej. tanquero, buque de pesca, etc.) y la clasificación gira en torno a la estimación de medidas.

La estima del largo parece ser más confiable en mares calmos y a alta resolución (8 mts.). Con ya imágenes de menor resolución (25 mts.) la confiabilidad respecto a estas mediciones decae, ya que los objetos se tornan mas borrosos generándose complicaciones al momento de interpretarlas.

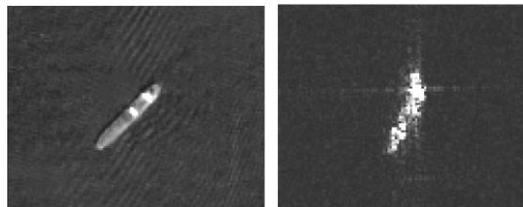


Figura 56 - Buque de 220 metros de largo Imagen SPOT 2.5 mts. (izquierda) – Imagen Radarsat Fine 8 mts. (derecha)

Para el presente trabajo se aplicará el Modelo de parámetro doble:

Modelo de parametro doble

El procedimiento de tasa constante de falsa alarma (o CFAR) es dar una medida relativa basada en una estadística local del fondo y así sostiene el número de falsas alarmas constante mientras la media varía. Utiliza una ventana local de un tamaño cercano a la resolución de la imagen y de un tamaño que contenga a una embarcación, una ventana buffer que contenga a la ventana previa y una mas grande que contenga a las anteriores. Estas son movidas por la imagen como un todo, y en cada posición se calculan la media de la zona donde se encuentra el objetivo (m_o), y la media y el desvío de las zonas buffer (m_b) y del fondo (σ_f).

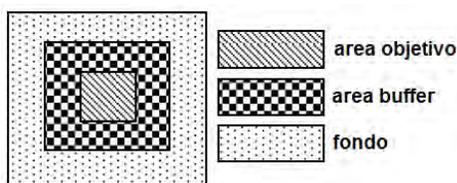


Figura 57 – Esquema de parámetro doble

Se aplicará $d = (m_o - m_b) / \sigma_f$, y de acuerdo a un umbral T si $d > T$ se dará a ese objetivo la clasificación de barco (Friedman et al., 2001).

Si bien este sistema de acuerdo a distintos autores ha dado muestras de su efectividad, se da el caso de aparición de falsas alarmas. El origen de muchos de estos falsos positivos se vinculan a objetos grandes, como lo son las plataformas de perforación o a veces las mismas embarcaciones, que bajo ciertos ángulos generan píxeles de brillo secundarios debido al efecto de resonancia que no se elimina completamente durante la etapa de preprocesamiento (Schwartz et al., 2002).

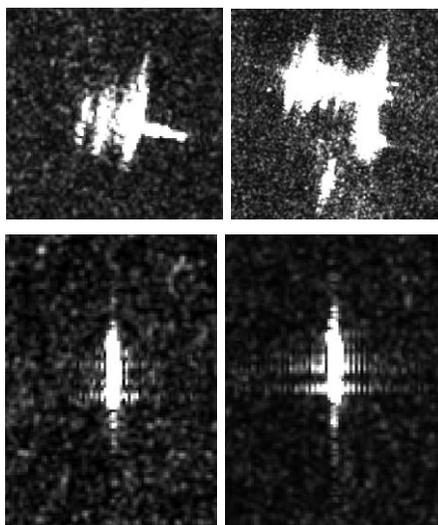


Figura 58 - Arriba: Imagen Cosmo-SkyMed - resonancia provocada por plataformas de extracción
Abajo: Buque detectado en Imagen Envisat-ASAR ScanSAR - VV (izquierda) - HH (derecha)

Los falsos positivos, que nacen de estos clusters de píxeles, son efectivamente detectados porque los niveles de brillo son lo suficientemente intensos como para que el sistema los detecte, independientemente si fueron o no provocados por efectos de resonancia.

Para mejorar la identificación y dejar fuera falsos positivos, se asume que los barcos en mar abierto no se encontrarían en un rango uno de otro menor a los 300 metros. Dependiendo de la resolución de la imagen se asume un margen menor a esta distancia para evitar inclusive la baja probabilidad de encontrar pares de embarcaciones cercanas, aglomerando los píxeles vecinos.

Los resultados abordados con la metodología descrita previamente y mediante la utilización de este modelo dan resultados satisfactorios, si bien se propone verificar su robustez con un mayor número de imágenes que presenten diversas condiciones del mar, ángulos y longitudes de onda.

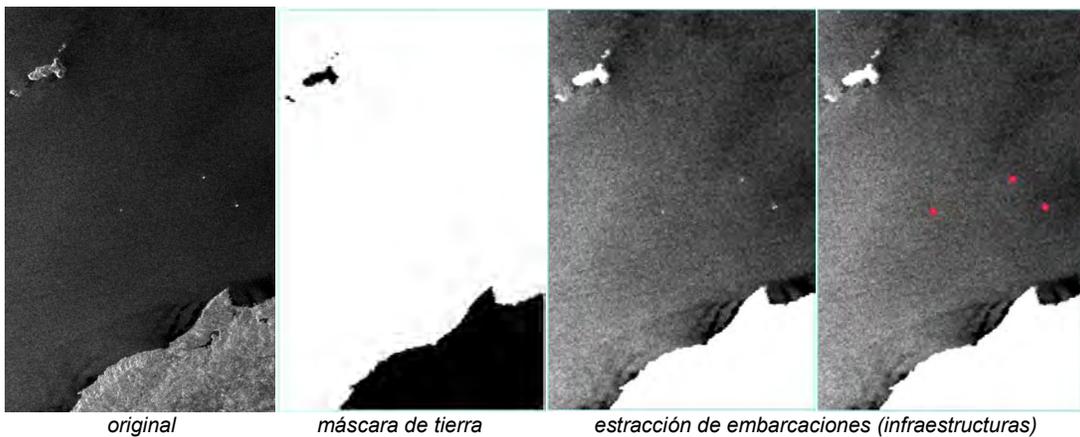


Figura 59 - Imagen Envisat-ASAR – Proceso de detección de embarcaciones

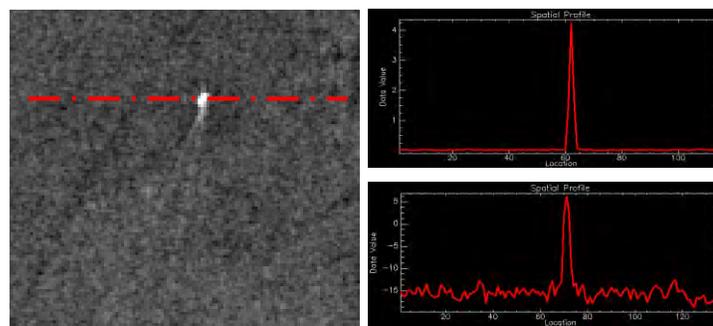


Figura 60 – Perfiles sobre embarcación expresados en Intensidad (superior) y dB (inferior)

EJEMPLO:

	Mín	Máx	Mean	Desvío
Objetivo a	0.038369	4.250023	1.601233	1.344333
Objetivo b	0.020776	0.042239	0.033310	0.006584
Objetivo c	0.020776	0.057133	0.034268	0.007300
Objetivo d	0.017003	0.042055	0.026323	0.007289

Buffer a	0.010483	4.250023	0.077258	0.329200
Buffer b	0.013538	0.064313	0.035471	0.008513
Buffer c	0.013941	0.067291	0.032537	0.008483
Buffer d	0.011730	0.062139	0.030591	0.009181
Fondo a	0.010483	4.250023	0.038523	0.149577
Fondo b	0.011263	0.105060	0.034224	0.009566
Fondo c	0.008626	0.072965	0.032294	0.009131
Fondo d	0.008626	0.072965	0.032505	0.009213

$$d = (m_o - m_b) / \sigma_f$$

Intensidad a: $(1.601233 - 0.077258) / 0.149577 = 10.1886$

Intensidad b: $(0.033310 - 0.035471) / 0.009566 = -0.2259$

Intensidad c: $(0.034268 - 0.032537) / 0.009131 = 0.1896$

Intensidad d: $(0.026323 - 0.030591) / 0.009213 = -0.4633$



Tabla 6 – Estadísticas de aplicación de método de parámetro doble

Estela de barcos

Si bien la metodología de detección de estelas será implementada en desarrollos posteriores, se describen a continuación los aportes que esta característica suma al sistema de identificación y la metodología a implementar:

Una embarcación en movimiento produce un conjunto de ondas que frecuentemente aparecen en la imagen como líneas claras u oscuras (Figura 61). La detección de barcos asociada a la detección de las estelas puede brindar información de la nave, dirección y velocidad.

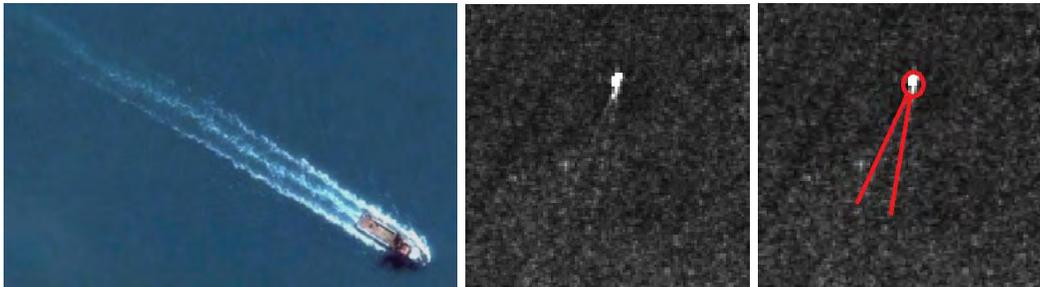


Figura 61 - Imagen de estela de embarcación (izquierda) – estela detectada en imagen Envisat-ASAR (centro-derecha)

Normalmente, se asume a la detección de embarcaciones en las imágenes SAR como objetivos fijos. Si la embarcación se encuentra en movimiento, la posición en la imagen está desplazada en azimuth de su posición actual. Esta información permite el cálculo de la velocidad de la misma y su sentido.

Algunos autores (Murphey, 1986; Copeland et al., 1995) creen que es ventajosa la detección de la estela de la embarcación en lugar de la misma embarcación dado el tamaño y la facilidad de distinción. Los argumentos que se oponen al expuesto, plantean que sería más robusta la búsqueda de una embarcación en términos de variaciones en las condiciones del mar mientras que a ángulos de incidencia grandes las estelas serían menos visibles que las embarcaciones.

La estela tras la popa es la característica más dominante, siendo la turbulencia generadora del aplacamiento de las ondas de Bragg, y por consiguiente de zonas oscuras detectables desde una imagen SAR (De Staerke y Wadsworth, 1981; Lyden et al., 1985),

y la línea fina y oscura que genera este evento es normalmente bordeada por dos líneas de mayor brillo. Estas últimas, producto de las ondas generadas por el casco de la embarcación son las únicas que pueden distinguirse en condiciones de viento inferiores a los 3.5m/s (Lyden et al., 1985; Hammond et al., 1985).

Al mismo tiempo, la misma embarcación al incrementar los niveles de rugosidad a su paso, genera una onda en forma de V con un retorno de brillo distinguible.

Un punto a destacar de esta característica es la posibilidad de estimar la mitad del ángulo generado por esa estela, dado por $\alpha = \tan^{-1}((C_g/V_s) * \cos(\theta))$, donde:

C_g es la velocidad de las ondas de Bragg,

V_s es la velocidad de la embarcación, y

θ es la dirección azimutal respecto a la trayectoria de la embarcación

A medida que la dirección de mirada se va desviando de la perpendicular al eje de la estela, α decrece.

En lo que respecta a las herramientas para detectar las ondas en V en el área circundante a la embarcación, la transformada Radon (Figura 62) es la elegida por varios autores.

Esta transformada calcula proyecciones de una imagen desde una serie de direcciones específicas. Esta función toma varias proyecciones de la imagen desde distintos ángulos rotando la fuente desde el centro de la imagen (MATLAB Help, 2010).

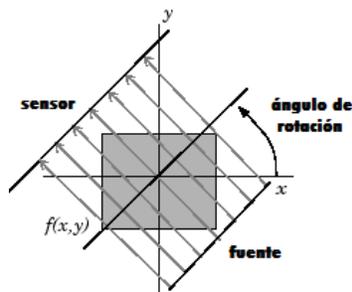


Figura 62 – Transformada Radon

La remoción del ruido junto al mejoramiento de bordes son hechos que son de interés al momento de la detección de estelas, partiendo del hecho que el speckle las hace menos visibles y difíciles de detectar. Recién una vez moderadamente removido el efecto speckle es que puede ser aplicada la transformada de modo que la detección sea lo suficientemente buena.

Antes del cálculo de la transformada, a la imagen original se le aplica un detector de bordes. La imagen quedará con valores 0 si el píxel está sobre un borde y 1 en caso contrario (Figura 63).

Dado que el píxel puede pertenecer a una cantidad numerosa de líneas de acuerdo a la ecuación $p = x_0 \cos \theta + y_0 \sin \theta$, que es un senoide en el espacio $p - \theta$, todas las contenidas en el plano ángulo-radio que lo intersecta es incrementado en uno (conocido como proceso de "votación"). En el caso de que muchos píxeles se localicen sobre una línea de la ecuación $p_0 = x_0 \cos \theta_0 + y_0 \sin \theta_0$, el correspondiente (p_0, θ_0) tendrá un mayor número de votos vinculados.

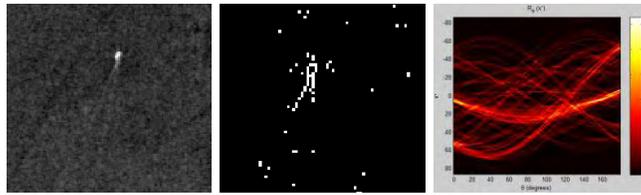


Figura 63 – Cálculo de la transformada

Los picos de la imagen de la transformada son los correspondientes a las ubicaciones que en la imagen real tienen las líneas identificadas.

Por ejemplo, dada una imagen binaria con líneas bien notorias (Figura 64), se distingue la línea vertical a un ángulo $\theta = 0^\circ$ que corresponderá a la perpendicular de 90° en la posición $x'=30$ de la imagen original.

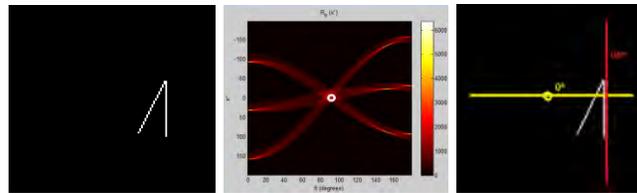


Figura 64 - Ejemplo de identificación de líneas y direcciones por transformada Radon

El proceso se resume en los siguientes pasos (Scherbakov et al., 1996):

- I. Identificación y eliminación del barco: se eliminan las áreas cercanas al punto de mayor intensidad detectado como embarcación ya que dado a su alto brillo hace dificultosa la detección de la estructura de la estela. A estos valores se los reemplaza por el valor medio de los valores de la imagen.
- II. Aplicación de la transformada tomando como centro la localización de cada embarcación, y de un tamaño de ventana lo suficientemente grande como para que incluya la estela. Pero cuanto mas grande sea esta ventana de aplicación respecto a la estela real, menor sera la tasa ruido-senal. Y cuando menor sea el tamaño de esta ventana, se reducirán demasiado las fluctuaciones del ruido reduciendo asimismo su valor promedio.
- III. Selección del máximo local del espacio de la transformada. Se asume que cada máximo corresponde a una estructura lineal en la imagen.
- IV. Determinación de línea como estela: uno de los métodos utilizados es la asociación de esta línea con la proximidad a una embarcación. El grado de separación es estimado mediante el cálculo del desplazamiento Doppler producido por el movimiento de la embarcación con una velocidad estimada en la dirección del rango.

➤ Campos de viento

Los parámetros físicos y geométricos, por si solos, no son suficientes para generar la información necesaria a la hora de identificar la naturaleza de una mancha. Las falsas alarmas que muchas veces responden de similar manera a las características físicas, mediante la utilización de información de campos de viento pueden ser discriminadas llegando a una mejor clasificación, e incluso determinar su antigüedad.

Vientos entre 7 y 15 m/s incrementan las posibilidades de que una mancha pueda ser identificada como derrame de hidrocarburos, ya que algunas falsas alarmas desaparecen en este rango. Mientras que en velocidades inferiores, la discriminación no es tan clara (Salvatori et al., 2003).

Una de las fuentes de vientos utilizadas para contextualizar lo detectado, son fuentes externas de scaterómetros y radiómetros (datos QuickScat, Seawinds, Ascat, WindSat, entre otros).

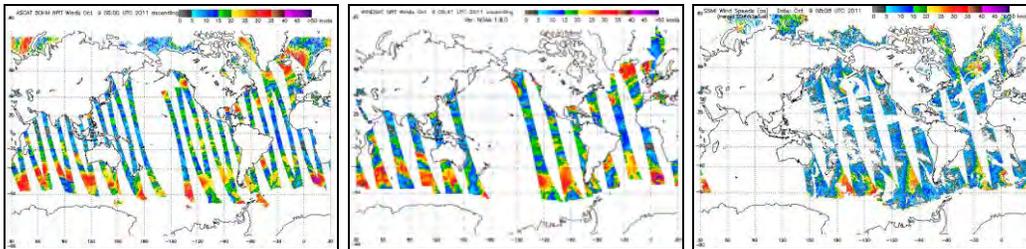


Figura 65 - Datos ASCAT (izquierda), WINDSAT (centro), SSM-I (derecha)

Cada producto, dispone de una resolución espacial y temporal determinada.

productos SSMI: datos de viento de superficie a una altura de 19,5 metros. Las imágenes provistas contienen información de hasta 22 horas previas al momento de la actualización.

productos SeaWinds: datos provistos a 10 metros de altura sobre la superficie del mar.

productos Ascat: productos a 25 y 50 Km de resolución, a 10 metros sobre la superficie del mar. Los datos disponibles son de las últimas 22 horas desde la creación de la imagen.

productos QuikScat: productos a 12,5 y 25 Km de resolución. Ya no esta operativo, siendo la ultima información registrada el 23 de Noviembre de 2009. Si bien no se tienen datos actualizados, este tipo de información sirve a las veces de determinar vientos predominantes.

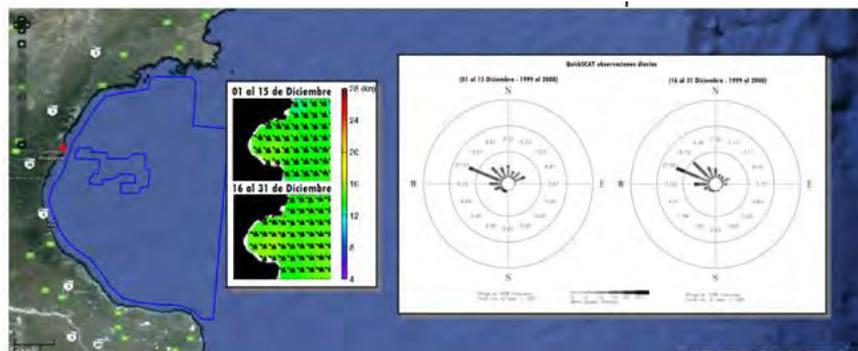


Figura 66 - Histórico promediado de vientos QuickSCAT de acuerdo a serie temporal Diciembre 1999-2008 sobre zona del derrame detectado sobre las costas de Caleta Cordova, Argentina, en Diciembre de 2007. Los valores promedio que se pueden notar en la zona de estudio, rondan los 8.2 m/s aproximadamente, lo que garantizaría la posibilidad de discriminación del vertido mediante imágenes SAR. Algo notable es la tendencia de vientos dirección Noroeste, lo que indicaría que el factor predominante de transporte para este caso particular es el factor corrientes marinas, y no por arrastre de vientos.

Algunos de los problemas que trae aparejado este tipo de sistemas es la contaminación por el efecto de la lluvia que afecta los escaterómetros, y provoca vectores con velocidades de viento erróneos.

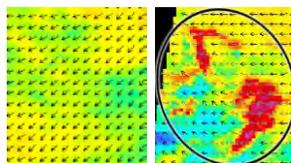


Figura 67 - Imagen limpia (izquierda),
Imagen con efecto de lluvia, en el que los vectores ya son señalados por el proveedor en tonalidad gris (derecha)

Para la República Argentina El Servicio Meteorológico Nacional provee de un servicio de previsiones de viento a 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 y 24 horas, a 10 metros sobre la superficie del mar.

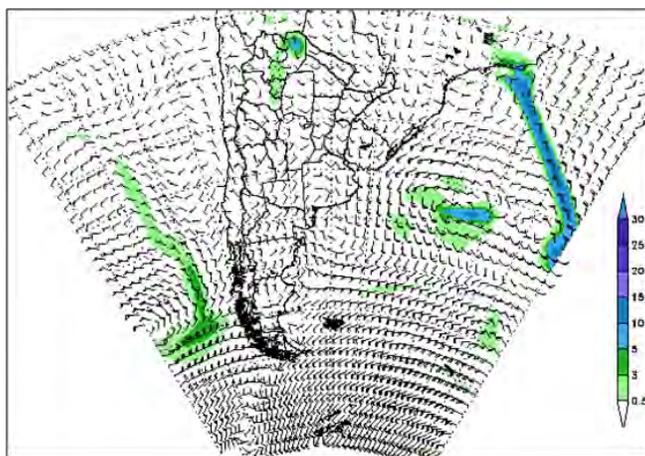


Figura 68 - Vientos superficiales a 10mts. (Fuente: SMN)
(La imagen muestra asimismo las precipitaciones acumuladas cada 3 horas)

En relación a los productos mencionados previamente, la utilización de rutinas de lectura automática de los datos via ftp, da una clara facilidad de acceso a la información de modo de poder sumarla al contexto de análisis de la mancha detectada.

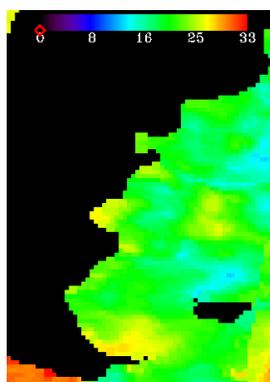


Figura 69 - Mapa de velocidades de viento (Quickscat)
descargado mediante rutina de lectura de datos diaria (IDL, Matlab)

➤ **Metodología para Detección de vientos desde imágenes SAR**

El comportamiento de los vientos y la posibilidad de monitorear su evolución sobre todo en zonas costeras, es de gran importancia para las actividades humanas. Teniendo un efecto directo en las actividades costeras económicas, turísticas y en el tráfico marítimo, se presentan dificultades para realizar observaciones a una resolución espacial adecuada.

En este aspecto, las imágenes SAR proveen información de vientos incluso sobre líneas costeras, cosa no posible desde los otros medios.

Los vientos son el fenómeno atmosférico mas importante capaz de modificar la superficie del mar lo suficiente como para que el coeficiente de retrodispersión del radar se vea modificado. Y las imágenes SAR dan la posibilidad de estimar las velocidades del mismo a partir de las variaciones en lo retrodispersado expresado como NRCS. Esto se logra a un mayor nivel de resolución espacial respecto a los productos ofrecidos por los scaterómetros conocidos, siendo como se ha dicho, en ámbitos costeros donde es más notable.

La adquisición de valores de viento a partir de una imagen SAR es un proceso llevado a cabo en dos etapas. En la primera se extraen las direcciones de los vientos, las que son necesarias como una entrada a la segunda etapa para el cálculo de las velocidades de viento a partir de los valores de intensidad.

La metodología que este proceso utiliza se describe a continuación:

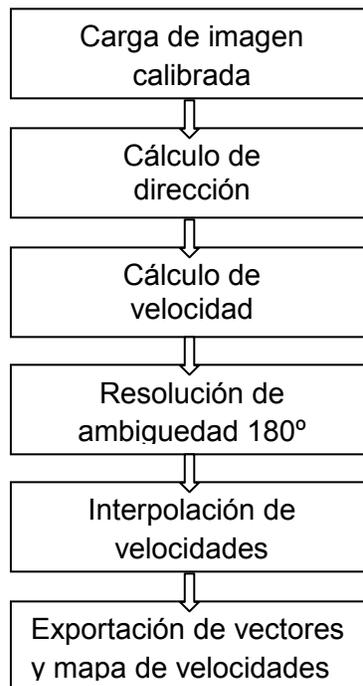


Figura 70 – Proceso de detección de campos de viento

- **Dirección de vientos**

Existen numerosos fenómenos naturales que permiten la estimación de la dirección del viento. La identificación de este dato está basada mayormente en la interpretación de fenómenos atmosféricos, que pueden ser analizados mediante una inspección visual.

Las direcciones pueden asimismo ser obtenidas de medios externos como modelos meteorológicos de predicción, scaterómetros, mediciones locales, o estimadas directamente de la imagen SAR a partir de análisis espectrales de los rasgos alineados con las corrientes de viento.

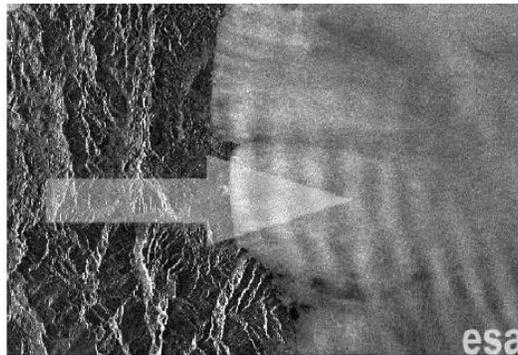


Figura 71 - Ondas generadas por vientos del Oeste provenientes de zona montañosa (Salvatori et al., 2003)

La dirección de los vientos se induce siendo visible en la mayoría de las imágenes SAR. Su aparición más clara se puede observar en las llamadas sombras de viento o “wind shadows” (Figuras 72 y 73). La orientación de estos fenómenos está asociada con la dirección de los vientos, y no siempre y de acuerdo a la polarización serán distinguibles, como puede notarse en la Figura 72 en donde en banda L esta característica es distinguible con polarización HH y no con VV.

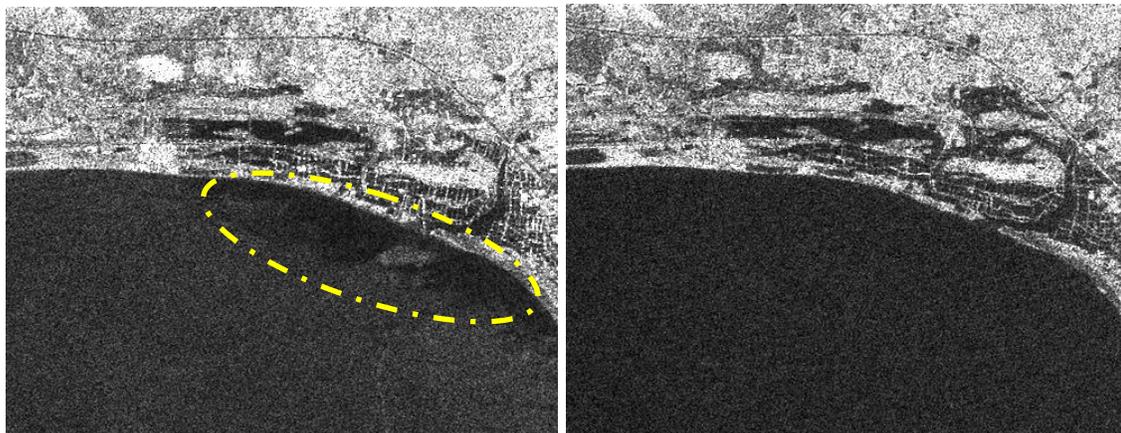


Figura 72 - Imagen Alos-PALSAR polarización HH (izquierda) polarización VV (derecha)

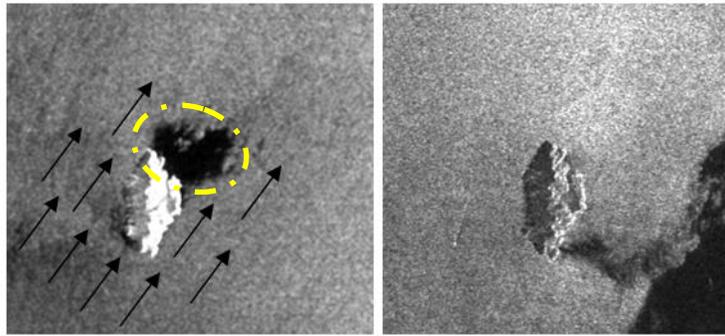


Figura 73 - Imágenes ENVISAT ASAR
Sombra de viento identificada (izquierda) - La misma zona sin sombra de viento (derecha)

Otro método para poder estimar la dirección de los vectores de viento, tiene que ver con los **gradientes locales** derivados de las mismas imágenes.

Las imágenes SAR son suavizadas y reducidas a un tamaño apropiado de píxel. De estos píxeles se calculan las direcciones locales definidas como la normal al gradiente local (aunque dejando abierto un problema de ambigüedad de 180°).

La ambigüedad mencionada previamente puede ser removida si en el espacio de estudio se presenta el fenómeno de sombra de viento vista en las Figuras 72 y 73, el que es con frecuencia visible en las líneas de costa y cercano a grandes estructuras, como en nuestro caso pueden ser plataformas de extracción *offshore*.

Esta ambigüedad será necesario resolverla en caso de querer incorporar la información a un modelo de predicción de trayectorias, no siendo imprescindible su resolución para el caso de la estimación del viento local en el área de la mancha analizada. Se entiende que si la zona cubierta por la ventana de campos de viento es mayor en tamaño que la cubierta por la mancha a analizar, la intensidad del viento al que la mancha está sujeta puede ser la misma que la de la zona circundante. Caso contrario, se deberá recurrir a fuentes de datos externas como los productos mencionados en párrafos previos.

Retomando la problemática del análisis de las direcciones, se seleccionará la más frecuente (y probable recurriendo a asunciones adicionales sobre los patrones de flujo de vientos en caso de ser necesario).

Este proceso, implementado ya en el software NEST de la Agencia Espacial Europea, se resume en los siguientes pasos (Wackerman et al., 2003):

1. Mascareo de las zonas de tierra.
2. La imagen SAR se subdivide en una grilla de ventanas de un tamaño definido por el analista. En caso de que la ventana local cuente con una mayor parte de píxeles sobre tierra entonces allí no se calculará el campo de viento.
3. Para cada celda de la grilla, se estima la dirección utilizando el método de frecuencia del dominio (frequency domain method).
4. Se determina el tamaño de una FFT local para cada ventana en donde será calculada la dirección, de un tamaño de $2/3$ del de la ventana (calculándose de esta manera 4 espectros que se superponen en un 50% cada uno con el vecino).
5. Seguidamente se suaviza cada ventana aplicando un filtro de media, y se divide por la imagen filtrada.

6. Una vez aplicadas las transformaciones FFT se promedian los resultados de los 4 espectros.
7. Se le aplica un buffer o zona de exclusión de entre 3km a 15km, dejando para el análisis la energía dentro de esa zona.
8. Se aplica un nuevo filtro de mediana de 3x3 para remover el ruido remanente.
9. Y para finalizar se ajusta un polinomio de grado 2 a los espectros resultantes y se determina la dirección que pasa por el origen y que tiene el término cuadrático mas grande. La dirección asumida será la que se encuentre a 90 grados de esa dirección encontrada en el paso previo.

Estimada ya la dirección, se puede pasar al cálculo de la velocidad del viento, mediante la utilización de una Función de Modelo Geofísico (GMF).

- **Estimación de la velocidad de vientos**

Existe una relación entre el valor NRCS y los valores de velocidad de viento representada bajo una Función de Modelo Geofísico o GMF.

Un valor σ_0 dependerá de la velocidad del viento, del ángulo relativo entre el ángulo azimutal del instrumento α y de la dirección del viento χ .

Junto al viento otros parámetros geofísicos influenciarán al valor de retrodispersión (estabilidad del entorno, precipitaciones, etc.).

La relación entre el NRCS de la superficie del mar σ^0 con la velocidad del viento de superficie u , la dirección de viento contra la dirección de mirada de antena ϕ , y el ángulo de incidencia θ se expresa de la siguiente manera:

$\sigma_0^{pol} = a(\theta)u^{\gamma(\theta)} [1+b(\theta) \cos\phi + c(\theta)2\cos\phi]$, siendo a , b , c , γ coeficientes que en general dependen de la frecuencia de radar y su polarización.

Inversión de vientos: Una GMF predice valores de retrodispersión modelados de acuerdo a un campo de viento local. Observados una serie de valores de retrodispersión se toma la mejor estimación del vector de viento superficial, que se logra minimizando una función de costos en el espacio z :

$$MLE(v, \chi) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{z^m(v, \chi - \alpha_i, \theta_i) - z_i^o}{k_p [\sum_{i=1}^N z_i^{o2}]^{1/2}} \right)^2$$

De acuerdo a lo expuesto, diversos autores han desarrollado al momento GMF para bandas C, X y L con diversos grados de sensibilidad respecto a otras mediciones, tomadas por ejemplo a partir de medios externos.

A fin de evidenciar esta estimación se brinda un resultado obtenido para banda C generado por el software NEST (Figura 74).

Es importante recordar que la atenuación en velocidades de viento obtenida por este producto en zonas como la detallada en la siguiente figura, no explicará valores de viento leves sino que únicamente evidencia aquellas zonas en que lo retrodispersado cuenta con valores bajos. Del mismo modo, en zonas de rango cercano, en donde la señal se satura y en caso de que la imagen no haya sido normalizada previamente, este producto da una respuesta de vientos fuertes, siendo esto no atendible. Se entiende como necesario hacer esta salvedad ya que

el producto se presenta como un mapa de campos de viento, siendo el mismo no del todo preciso.

A lo obtenido por el software se le aplicará una interpolación de los puntos de velocidad calculados. De acuerdo a documentación consultada se ha interpolado la información de velocidades de acuerdo al método Inverso de la Distancia Ponderada (IDW) el que podría dar buenos resultados ajustados a velocidades normales, dando mayor estabilidad que otros métodos (Steppek y Wijnant, 2011; Gonzalez Ferreiro et al., 2008). El método IDW asume que cada punto muestral tiene una influencia en su vecindad que disminuye con la distancia. Se le otorga mas peso a los puntos mas cercanos a la celda de la que se obtiene el valor para las que estan mas alejadas.

Y por último, se exportan los resultados a un formato KML de utilidad para la incorporación automática al sitio dedicado a alertas de eventos que se desarrolla en el último capítulo.

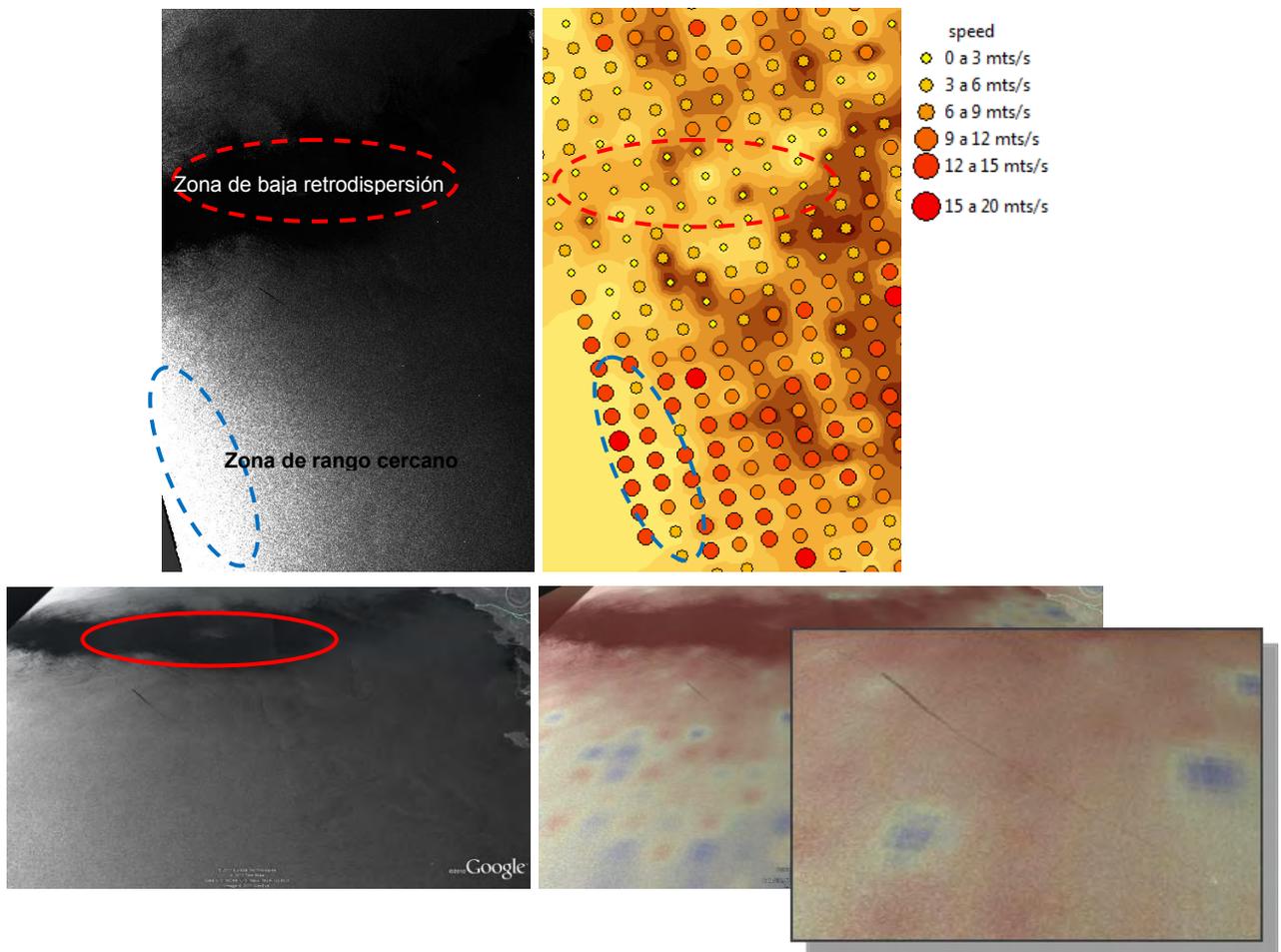


Figura 74 - Arriba: imagen Envisat ASAR – zonas de bajos y altos valores de retrodispersión con mapa de interpolaciones
Abajo: imagen Envisat ASAR – zona de bajos valores de retrodispersión (izquierda) - Interpolación y exportación a formato KML (derecha)

En (Salvatori et al.,2003) se ha analizado la diferencia existente entre los datos obtenidos desde el escaterómetro Quicksat y la GMF CMOD4 (Figura 75), llegando a una diferencia media entre ambos no superior a 1m/s.

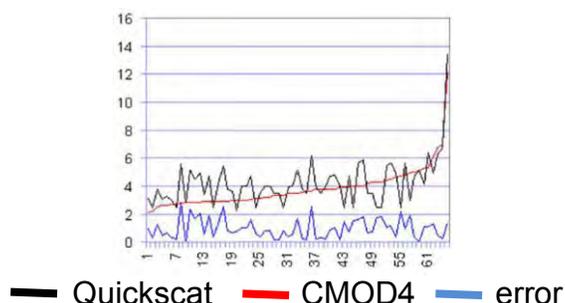


Figura 75 – Diferencias entre escaterómetro Quicksat y GMF CMOD4

➤ **Largo y orientación del derrame como medida de su antigüedad**

Algunas de las manchas detectadas como derrames son finas y refieren a una estructura lineal (pueden ser derechas, ligeramente oblicuas, o angulares) que dependerá de las condiciones climáticas a las que el derrame estuvo expuesto.

Será de importancia el conocimiento en este caso no solo de la longitud de la mancha sino de la historia de los campos de viento locales ya que la distribución de la mancha dará información soporte para estimar la antigüedad de la misma.

Normalmente, si la fuga del hidrocarburo se realiza desde un punto fijo o en movimiento, éste será notable en su desenvolvimiento posterior. Una embarcación, de acuerdo a su velocidad y dirección producirá manchas en las que la asimetría preponderante será dada por una longitud que excede al ancho, y en donde vientos o corrientes necesitarán de un tiempo para cambiar su forma.

La longitud de una mancha puede estar dada por la velocidad de la embarcación multiplicada por el tiempo del derrame. Por ejemplo, para conocer la antigüedad de un vertido, este puede ser deducido de antemano conociendo la longitud. Por ejemplo si la misma es de 36km, dada una velocidad de la embarcación de 10m/s, se obtendría como resultado el valor de 1 hora de antigüedad para ese derrame. En (Espedal y Wahl, 1999) se enumeran una serie de velocidades promedio para diferentes tipos de embarcaciones. Cualquier cambio en la dirección causará cambios en la curvatura observada:

Tipo de embarcación	Velocidad
tanqueros	9-10m/s
buques de pesca	6-7m/s (menor siendo en pesca de arrastre)
buques de carga y de pasajeros	9-10m/s
transbordadores de gran tamaño	12-12.5m/s

Tabla 7 - Velocidades estimadas por tipo de embarcación

Si el escape o fuga se realiza desde un foco fijo, el movimiento se asume sea a un 3% de la velocidad del viento, entre otras de las variables que lo afectan. Si fuese este el evento que mayor influencia tiene al momento del derrame, se podría establecer una relación entre la antigüedad y la longitud de la misma. Por ejemplo,

si un derrame esta sometido a un viento de 5m/s y la fuga se viene realizando durante 2 horas, su longitud podría esperarse sea de 1,1km., mientras que a vientos de 7m/s su longitud alcanzaría los 1.5km. Como se dijo, esto se daría si es el viento el que afecta mayormente al evento, pero esto no necesariamente se da en la realidad ya que las corrientes marinas impactarán en la conformación y evolución de la forma de la mancha.

Estimación de la antigüedad de la mancha

El procedimiento implica:

1. Identificación de la fuente de derrame, sea una embarcación o plataforma: Tratar de vincular al rasgo identificado con localizaciones conocidas de instalaciones, de modo de saber si se trata de una fuga desde un punto fijo o en movimiento (si no se ha identificado el origen, para determinar la antigüedad habra que realizar el analisis desde las dos puntas del derrame).
2. Vinculación de mancha detectada con historia de viento (Figura 76): En caso de que la coincidencia sea posible de efectuar, será entonces posible establecer una aproximación a la antigüedad de la mancha. Caso contrario, se debe recurrir a los vectores de corrientes históricos.

	Su 25.	Su 25.	Su 25.	Mo 26.	Tu 27.	We 28.	Th 29.	Th 29.															
	14h	17h	20h	05h	08h	11h	14h	17h	20h	05h	08h	11h	14h	17h	20h	05h	08h	11h	14h	17h	20h	05h	08h
Wind speed (m/s)	6	5	5	4	5	5	5	6	6	6	6	5	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	6
Wind direction	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙	↙

Figura 76 - Fuente externa de datos históricos de vientos

En la Figura 77 se muestra el impacto de los vientos desde el momento de inicio del vertido, y como la dinámica de vientos afecta su forma:

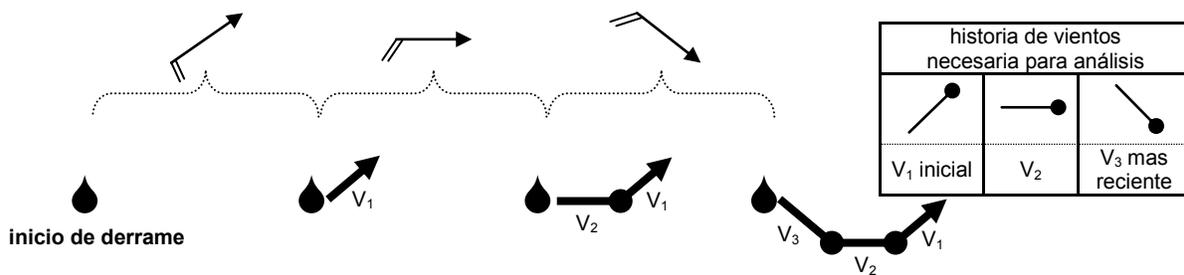


Figura 77 - Esquema de vinculación de historia de vientos con configuración de mancha (Espedal y Wahl, 1999)

Escala de vientos de Beaufort²

□ rango de velocidades de viento que facilita la detección de un derrame

#	knots (0.514 m/s)	m/s	etiqueta	efecto en el mar	estado del mar
0	1	0 - 0.2	Calmo	Mar suavizado como espejo. Plano	
1	1-3	0.3-1.5	Aire liviano	Ondas con algunas apariciones de escalas, pero sin espuma	
2	4-6	1.6-3.3	Brisa liviana	Olas pequeñas, cortas, pero más pronunciadas. Las crestas tienen apariencia cristalina y no se rompen.	
3	7-10	3.4-5.4	Brisa suave	Olas con crestas que empiezan a romper. Espuma de aspecto vidrioso. Espumas en rompientes dispersos conocidas como "caballos blancos".	
4	11-15	5.5-7.9	Brisa moderada	Olas pequeñas, pero con espumas en rompientes (caballos blancos) bastante frecuentes.	
5	16-21	8.0-10.7	Brisa fresca	Oleaje moderado, con formas mucho más pronunciadas, y muchas espumas en rompientes. Posibilidad de aparición de aerosoles.	

² La escala de Beaufort es una medida empírica que relaciona la velocidad del viento con las condiciones observadas en el mar o en tierra.

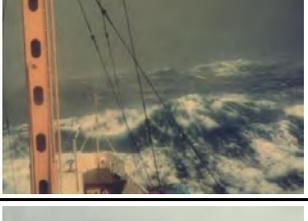
6	22-27	10.8-13.8	Brisa fuerte	Olas grandes que comienzan a formarse, crestas de espuma blanca mas amplias en todas partes. Probabilidad de existencia de sprays.	
7	28-33	13.9-17.1	Viento fuerte, cercano a tormenta	Masas de agua y espuma blanca que comienza a ser soplada en líneas a lo largo de la dirección del viento.	
8	34-40	17.2-20.7	Tormenta	Olas moderadamente altas y de mayor longitud, con los bordes de las crestas que empiezan a romper. La espuma se dispersa claramente a lo largo de la dirección del viento.	
9	41-47	20.8-24.4	Tormenta severa	Olas altas. Rayas densas de espuma a lo largo de la dirección del viento. Las crestas de las olas empiezan a caer y rodar. Los aerosoles pueden afectar la visibilidad.	
10	48-55	24.5-28.4	Tempestad	Olas muy altas con más suspensión de las crestas. La espuma resultante, que forma grandes manchas, es soplada en densas líneas blancas a lo largo de la dirección del viento. En conjunto, la superficie del mar, tiene una apariencia blanca. El caer del mar se torna mas pesado. La visibilidad se ve afectada.	
11	56-63	28.5-32.6	Tempestad violenta	Olas excepcionalmente altas (en donde embarcaciones pequeñas y medianas podrian desaparecer detras de las olas). El mar esta completamente cubierto de largas manchas blancas de espuma volando a lo largo de la dirección del viento. En todas partes los bordes de las crestas de las olas son sopladas formando espuma. La visibilidad se ve afectada.	
12	64-71	32.7-36.9	Huracán	El aire esta lleno de espuma y de aerosoles. El mar se encuentra completamente blanco con el derive de la espuma del mar. La visibilidad se encuentra seriamente afectada.	

Tabla 8 – Vientos según escala de Beaufort. Fuente: *Titulos Náuticos: Red Española de Información para la preparación de los títulos náuticos para el gobierno de embarcaciones de recreo*

A modo de detalle, se exponen las funciones que cada modelo geofísico vincula a cada banda y que serán tenidas como referencia en los desarrollos futuros:

modelo CMOD: banda C

Este modelo de inversión fue desarrollado por la ESA para la evaluación de vectores de viento del scaterómetro de radar para banda C, y puede ser aplicado para las imágenes SAR, a partir del valor de coeficiente de retrodispersión vinculado a la velocidad del viento, su dirección y el ángulo de incidencia.

La función general de este modelo queda expresada de la siguiente manera:

$\sigma_0 = B_0 [1 + B_1 \cos(\varphi) + B_3 * \tanh(B_2) * \cos(2\varphi)]^{1.6}$, siendo los coeficientes B_0 , B_1 , B_2 y B_3 dependientes del ángulo de incidencia del radar y de la velocidad del viento.

En (Hersbach, 2003) se desarrolla extensamente este modelo CMOD.

El modelo CMOD fue aplicado exitosamente para obtener los valores de viento de imágenes SAR de banda C VV en el satélite ERS1 y 2, en donde la exactitud del algoritmo fue comprobada en torno a 1 m/s de velocidad (Schneiderhn et al.,2005).

modelo LMOD: banda L

(Shimada et al., 2003) define el modelo GMF para la estimación de velocidades de viento en Banda L de acuerdo la siguiente función:

$\sigma_{lin}^0 = a_0 + a_1 * \cos\Phi + a_2 * \cos 2\Phi + a_3 * \cos 3\Phi$, en donde Φ es la dirección relativa del viento. Los coeficientes a_0 , a_1 , a_2 y a_3 son funciones de la velocidad del viento.

modelo XMOD: banda X

(Konig et al., 2010) define en su trabajo la GMF y coeficientes de aplicación a la banda X.

$\sigma_0(U_{10}, \theta, \varphi) = x_0 + x_1 U_{10} + x_2 \sin(\theta) + x_3 \cos(2\varphi) + x_4 U_{10} \cos(2\varphi)$, en donde: U_{10} es la velocidad del viento, θ el ángulo de incidencia, y φ el ángulo entre la dirección del viento y la dirección de mirada del SAR

CAPITULO 5. Clasificación

Es sabida ya la complejidad que conlleva la clasificación de lo detectado desde una imagen SAR en potenciales derrames o falsas alarmas, presentándose éste como el principal reto en el proceso de monitoreo de derrames.

Las características geométricas, niveles de backscattering y los datos contextuales obtenidos en la etapa de procesamiento y desarrolladas en el capítulo previo son las que integradas sirven para abordar el problema en su conjunto. Y a partir de la información provista por estos métodos de procesamiento, se han propuesto una variedad de clasificadores que varían en su grado de intervención humana, en complejidad, y en magnitud de ingresos necesarios para darle mayor fiabilidad a lo clasificado. Y cuanto mayor sea el poder discriminatorio de estas características mas se facilitará el proceso de clasificación (Brekke y Solberg, 2005).

Se distinguen dos aproximaciones a la metodología implementada para la detección, siendo esta **manual** o **automática** (Indregard et al., 2004).

La detección manual es un método que depende en su totalidad de la pericia del analista y su experiencia en el tema. Todas las manchas susceptibles de análisis son interpretadas visualmente por el operador, quien se sirve de información de contexto como la velocidad de los vientos e infraestructuras entre otras fuentes de información para interpretar lo detectado. Asimismo se basa en los contrastes que observa respecto al entorno, la homogeneidad con las manchas vecinas y sus formas. La determinación de niveles de confianza no es una ciencia exacta y esta sujeta siempre a un grado de incerteza (Brekke y Solberg, 2005). Asimismo, el establecimiento de pautas comunes de estos niveles no es homogénea por lo que genera una difícil confrontación de datos provenientes de distintas fuentes u operadores.

En (Fiscella et al., 2000) se plantea que un intérprete de imágenes humano tiene similares habilidades respecto a algoritmos de clasificación para discriminar derrames de falsas alarmas. Si bien suele ser efectiva, esta metodología es demandante en tiempo de operación, siendo necesaria la instrumentación de combinar algoritmos de detección automática con el conocimiento experto.

Son diversos los servicios que hoy en el mercado proveen las empresas dedicadas a la identificación y monitoreo de este tipo de eventos. Y existen metodologías automatizadas en su totalidad (implementadas por ejemplo desde el NR Norsk Regnesentral – Norwegian Computing Center), semiautomatizadas con algoritmos chequeados por operadores expertos (por ejemplo desde QinetiQ Group), o mediante inspecciones visuales llevadas a cabo por operadores expertos (KSAT Kongsberg Satellite Services).

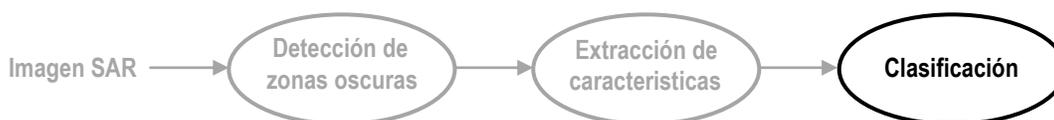


Figura 78 - Algoritmo de detección de derrames

En el método llevado a cabo durante una inspección manual, la información de contexto es un factor de gran significancia para la discriminación posterior de lo detectado entre

derrames y falsas alarmas. El desafío a afrontar es el cómo implementar el conocimiento experto en algoritmos automáticos o semiautomáticos.

En la Tabla 9 pueden notarse algunas de las características de ocurrencias geográficas entre otras, de los distintos fenómenos causantes de falsas alarmas, que sirven de apoyatura hacia una clasificación. Y en la Figura 79 se ejemplifica un caso de descarga de ríos y que conforma un tipo de falsa alarma a ser evaluada.

Fenómeno geofísico	Expresión en imagen SAR	Ocurrencia geográfica	Limitaciones climáticas	Valores de retrodispersión (dB)	Gradiente (dB/100m)
Capa natural	Se acondiciona fácilmente con interacción de corrientes	Regiones costeras y de surgentes	Desaparecen con vientos superiores a los 7 m/s	-24 a -15	1.5 a 3 5
Témpano	Grandes áreas oscuras	Mayormente a lo largo de bordes de hielo, aunque pueden ser encontrados en aguas abiertas	Epoca invernal o noches frías cercanas al borde del hielo	-24 a -14	1-2
Velocidad de viento	Grandes áreas oscuras	En todo lugar	Velocidad de vientos inferior a 3m/s	-26 a -18	0.3-0.5
Celdas de lluvia	Celdas brillantes con centros oscuros	Regiones subtropicales	Lluvia densa y vientos fuertes	-24 a -8	0.1-0.3 1.4-5.0
Sombras por costas	Áreas oscuras cercanas a la costa	En zonas cercanas a costas y en fiordos	Aun a altas velocidades de viento (15m/s)	-24 a -12	1.5-3.0
Olas internas	Serie paralelas de líneas brillantes y oscuras	En aguas poco profundas	Velocidad de viento menor a 8m/s	-24 a -8	0.4-1.0
Interacción de olas con corrientes	Firmas curvas finas, brillantes u oscuras	Áreas de corrientes fuertes	Velocidad de viento menor a 10-12m/s	-24 a -8	0.2-0.4
Surgentes	Áreas oscuras	Zonas divergentes de corrientes superficiales, mayormente cercanas a costas	Velocidad de viento asumida como menor a 6-8m/s	-24 a -15	

Tabla 9 - Resumen de características relevadas de falsas alarmas, sobre imágenes ERS-1. Fuente: Hovland et al., 1994.



Figura 79 - Imagen ASAR – Río Miño – España-Portugal. Fuente: Gonzalez Vilas et al., 2007.

La posibilidad de mediante un conjunto de reglas ajustar las probabilidades iniciales de que en ese espacio se provoquen manchas vinculadas a falsas alarmas es un paso inicial que habilita la posterior reducción del conjunto de datos a analizar.

En un primer paso, la discriminación de zonas de vientos bajos o inexistentes, imposibilita la detección vía imágenes Sar de cualquier tipo de vertido. Es este el caso por ejemplo de zonas como la expuesta en la Figura 80, en donde los vientos predominantes reducen la potencialidad de aplicación de la metodología Sar debiendo recurrir a otros rangos del espectro (Laneve et al., 2011).



Figura 80 - Imagen Radarsat. Lago de Maracaibo – Venezuela

En los métodos semiautomáticos como los utilizados por el grupo QinetiQ, los algoritmos están orientados a la detección de las zonas oscuras siendo la clasificación un proceso que debe ser llevado a cabo por un operador (Indregard et al., 2004).

Dado un ejemplo de distintas aproximaciones a la detección con distinto tipos de algoritmos manuales, semiautomáticos y automáticos, en (Brekke y Solberg, 2005) se exponen las divergencias a las que se pueden llegar. En el mismo se expone que dado un conjunto de 32 imágenes Radarsat con 17 derrames verificados, la metodología utilizada por KSAT detectó 15 manchas, el algoritmo llevado a cabo por NR 14, mientras que desde QinetiQ identificó 12. Lo que pone en evidencia el reto al que los operadores están expuestos respecto a la asignación de niveles de confianza similares. Al mismo tiempo, en cada proceso ha llevado tiempo de análisis de entre 3 y 25 minutos por escena para la metodología utilizada por KSAT, de 3 minutos en la utilizada por NR y de 20 por los algoritmos de QinetiQ, en promedio, lo que deja a la luz lo que el incremento en la cantidad de imágenes a analizar puede conllevar, aparte de la divergencia marcada previamente.

En lo que respecta a metodologías automáticas, un punto a tener en cuenta y de gran importancia son las diferencias existentes entre los distintos sensores SAR, por lo que cada algoritmo debe tenerlas en cuenta como así también sobre los resultados obtenidos por cada autor de acuerdo a cada tipo de clasificación utilizada.

Entre las distintas propuestas se encuentran las que recurren a máquinas de vectores soporte (Zhang et al., 2008; Gonzalez et al., 2009; Hua et al., 2010), redes neuronales (Del Frate et al., 2000; Topouzelis et al., 2007; Hang y Duong, 2009), lógica difusa (Keramitsoglou et al., 2006; Karathanassi et al., 2006), regresión múltiple o análisis discriminante de Fisher (Nirchio et al., 2002; Nirchio et al., 2004), clasificador Mahalanobis (Fiscella et al., 2000) y aproximaciones probabilísticas (Solberg et al., 2007; Fiscella et al., 2000; Nirchio et al., 2005; Topouzelis et al., 2008).

En (Gonzalez et al., 2009) el método utilizando SVM alcanza un grado de precisión del 98,1% y de 93,5% de significancia en la validación.

En (Topouzelis et al., 2007) incorporando 24 imágenes ERS-2, se han clasificado un 91% de derrames y de un 87% de las falsas alarmas (Tabla 10), mientras que en (Del Frate et al., 2000) sobre 600 imágenes ERS se clasificó un 82% de derrames y un 90% de falsas alarmas (Tabla 11) . En (Hang y Duong, 2009) los resultados alcanzados con imágenes Alos-PALSAR llegan a un 82% de exactitud en la clasificación.

	Derrames				Falsas alarmas			
	mínimo	máximo	media	desvío	mínimo	máximo	media	desvío
Area	382	346550	30471.09	55930.64	401	907090	47242.99	116988.16
Asimetría	0.15	1	0.86	0.19	0.05	1	0.72	0.26
Media de fondo	78.94	172.21	115.94	18.56	78.12	168.74	113.97	17.52
Perímetro	138	25290	2812.06	3823.01	192	32326	4233.16	5038.28
Tasa entre desvío y media de fondo (1)	0.24	0.54	0.39	0.08	0.25	0.54	0.42	0.07
Desvío de fondo	26.83	59.87	44.28	8.52	26.57	57.9	46.8	7.81
Tasa entre media de objeto y media de zona	0.15	0.76	0.39	0.13	0.18	0.75	0.45	0.14
Diferencia entre media de fondo y mínimo de objeto	77.6	157.21	113.08	18.02	71.54	163.53	112.83	17.56
Media de gradiente	23.36	121.29	72.36	20.67	23.84	116.05	67.58	21.27
Tasa entre media de objeto y media de fondo	0.15	0.8	0.38	0.14	0.17	0.75	0.41	0.14
Tasa entre desvío de objeto y desvío de fondo	0.39	0.91	0.63	0.1	0.47	0.87	0.65	0.1
Maximo de gradiente	141	255	226.62	34.11	140	255	234.92	28.72
Media del gradiente	54.19	149.36	79.85	14.38	42.83	110.51	79.11	11.66
Desvío del gradiente	21.1	51.6	37.9	7.87	18.79	51.98	38.24	7.5
Difusión	1.05	22.9	5.72	4.8	1.02	22.29	4.06	4.51
Diferencia media a vecinos	10.56	65.98	35.86	12.44	6.29	63.74	31.84	13.36
Media de intensidad del objeto	17.37	130.33	43.57	18.07	17.44	91.45	46.4	15.39
Tasa entre desvío y media del objeto (2)	0.3	1.31	0.72	0.29	0.27	1.6	0.72	0.26
Tasa entre (2) y (1)	1.04	3.61	1.84	0.62	1.06	3.08	1.73	0.54
Desvío de intensidad de objeto	12.84	43.35	27.92	7.19	15.9	47.09	30.32	6.51
Perímetro / Area	0.02	0.75	0.21	0.14	0.03	0.95	0.25	0.19
Complejidad	1.51	11.77	4.33	2.4	1.58	16.28	6.02	2.56
Textura media (Haralick)	18.36	130.41	44.52	17.69	19.22	91.58	47.42	14.85
Textura de forma	0.17	0.24	0.22	0.01	0.21	0.29	0.23	0.01
Textura espectral	14.79	51.47	33.84	8.44	18.14	58.06	36.37	7.58

Tabla 10 - Resultados de clasificación sobre 24 imágenes ERS-2. Fuente: Topouzelis et al., 2007.

	Derrames				Falsas alarmas			
	mínimo	máximo	media	desvío	mínimo	máximo	media	desvío
Area (km2)	0.4	40.6	.4	7.5	1.1	115.6	13.3	17.0
Perímetro (km)	4.2	117.6	28.1	22.1	7.1	396.4	52.4	57.2
Complejidad	1.1	6.8	3.2	1.1	1.1	10.4	3.9	1.7
Difusión	0.1	40.8	4.2	7.4	0.1	45.2	11.8	11.4
Desvío de objeto	0.8	3.8	1.7	0.6	0.9	3.2	2.0	0.6
Desvío de fondo	0.8	3.0	1.1	0.4	0.9	2.3	1.5	0.4
Diferencia entre media de fondo y mínimo de objeto	3.2	15.7	9.2	2.6	2.6	14.9	10.8	2.2
Diferencia entre media de fondo y media de objeto	0.4	10.9	4.8	1.9	0.4	9.3	5.3	1.7
Maximo de gradiente	2.8	15.5	7.2	2.2	3.6	16.8	8.5	2.6
Media de gradiente	0.0	6.5	3.0	1.1	0	5.2	2.7	1.0
Desvío de gradiente	0.8	2.7	1.4	0.4	0.6	2.6	1.5	0.5

Tabla 11 - Resultados de clasificación sobre 600 imágenes ERS. Fuente: Del Frate et al., 2000.

Clasificación	Imagen	Area	Perímetro	Complejidad	Shape factor
Derrame	1	25.095.000	111.800	6,30	36,62
	3	58.694	6.144	7,16	12,57
	5	25.492	4.726	8,35	41,43
Falsa alarma	2	119.965.000	357.400	9,21	1,36
	4	7.310	986	3,25	1,23

Tabla 12 - Resultados de clasificación sobre imágenes Alos-PALSAR - Project KC0.22/06-10 Ministerio de Ciencia y tecnología de Vietnam. Fuente: Hang y Duong, 2009.

En (Del Frate et al., 2000) la discriminación se hizo en función de la experiencia del analista. Y los resultados concluyen entre otras cosas que los derrames tienen formas menos complejas y más delgadas, muestran valores de gradiente más altos que los de las falsas alarmas, las que además son generalmente de mayores dimensiones.

Tomando como referencia imágenes Envisat-ASAR (Gonzalez Vilas et al., 2007) realiza un seguimiento sobre 27 imágenes del vertido que en 2002 el buque tanquero Prestige derramó a kilómetros de las costas de Galicia, tomando contacto con las playas españolas, portuguesas y francesas tiempo después. El total de combustible vertido alcanzó los 76.000 m³. En función de lo analizado el autor concluye que los parámetros relativos al tamaño como Área y Perímetro no logran separar al vertido de lo que se podía asociar a falsas alarmas, sirviendo únicamente a fines descriptivos. Respecto a parámetros de contexto, la cercanía a costas presenta los resultados propios del conjunto de datos tratados, no necesariamente expresando potencial de discriminación.

Ha encontrado una gran cantidad de falsas alarmas en las zonas más cercanas a las bahías. Y por ejemplo, respecto a las características radiométricas todas en este caso mostraron diferencias entre las manchas verificadas como derrames respecto a las verificadas como falsas alarmas. Y dentro de estos los valores, los de retrodispersión promedio de la mancha respecto al promedio de su entorno fueron los que dieron un mayor poder discriminatorio.

En (Keramitsoglou et al., 2006) se aplicó el método sobre 35 imágenes ERS-1 y 2, mientras que en (Karathanassi et al., 2006) se alcanza una correcta clasificación de derrames de un 99% respecto a un 98% de falsas alarmas.

En (Nirchio et al., 2005) sobre 12 imágenes ERS-1 y 2, alcanzando una performance del 88% y del 99% de clasificaciones. Y en (Fiscella et al., 2000) para la aproximación probabilística el porcentaje clasificado correctamente es del 79%. Dentro del mismo método, para (Solberg et al., 2007) de un total de 84 imágenes ERS, fue de un 94% para los derrames y de un 99% para las falsas alarmas y finalmente para (Nirchio et al., 2005) un 74% de derrames correctamente clasificados.

Si bien todos los autores alcanzan niveles aceptables de clasificaciones correctas no todos recurren al mismo grupo de características que mejor discriminarían al derrame de una falsa alarma. En (Akar, 2007) se han detallado una serie de técnicas utilizadas en autores referentes en la materia como Del Frate, Fiscella, Marghany, Espedal y Solberg. A continuación se actualiza la tabla de características con otras aproximaciones evaluadas según sean relativas al espacio, textura, del espectro o del contexto.

	Zhang 2008	Gonzalez 2010	Del Frate 2000	Topouzelis 2009	Keramitsoglou 2006	Karathanassi 2006	Nirchio 2004	Solberg 1999	Fiscella 2000	Brekke 2005	Hang 2009	Montali 2006
espaciales												
Área			X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Perímetro			X	X			X		X		X	
Rectángulo que lo Contiene (zona)								X				
Centroide de objeto												
Complejidad		X	X	X		X		X		X	X	
Excentricidad					X							
Longitud de axis mayor y axis menor											X	
Tasa longitud/ancho				X		X						
Extensión												
Relación Perímetro/Área				X			X		X			
Diámetro equivalente												
Primer momento				X				X		X		

Factor de forma				X								
Orientación		X										
Asimetría				X		X						
Difusión			X	X			X		X			
Anchura								X		X		
Dimensión Fractal				X							X	
texturales												
Media (GLCM)				X		X						
Varianza (GLCM)	X											
Homogeneidad (GLCM)	X							X				
Contraste (GLCM)	X							X		X		X
Disimilitud (GLCM)	X											X
Entropía (GLCM)	X											X
Segundo momento (GLCM)	X											
Correlación (GLCM)	X											X
Gradiente máximo del borde de objeto			X	X								
Gradiente medio del borde de objeto			X	X				X	X	X		
Desvío de gradiente del borde de objeto		X	X	X								
Mediana de gradiente del borde de objeto		X										
Contraste medio			X	X								
Contraste máximo			X	X								
Tasa entre media de objeto y media de fondo				X			X		X			X
Tasa entre desvío de objeto y desvío de fondo				X			X		X			X
Tasa entre media y desvío de intensidad de objeto (1)							X		X			
Tasa entre media y desvío de intensidad de fondo (2)							X		X			X
Tasa entre (1) Y (2)									X			
contextuales												
Vientos											X	
Distancia a grandes áreas						X					X	
Distancia a tierra		X			X	X						
Distancia a Embarcación y/o Infraestructuras								X			X	
Distancia de objetos fractales						X						
Número de objetos en la imagen					X			X				
Número de objetos vecinos					X			X			X	
espectrales												
Valor medio de intensidad				X		X	X		X			X
Mínimo de intensidad												
Máximo de intensidad												
Desvío de intensidad	X	X	X	X			X		X			X
Tasa desvío/media				X				X				X
Mediana	X											X
Valor medio de fondo				X			X		X			X
Mínimo de fondo												
Máximo de fondo												
Desvío de fondo	X	X	X	X			X		X			X
Tasa desvío/media				X								

de fondo												
Mediana de fondo		X										
Tasa entre: tasa desvío/media de objeto y tasa desvío/media de fondo				X								
Tasa entre: tasa media/desvío de objeto y tasa media/desvío de fondo							X					
Diferencia media con vecinos				X		X						

Tabla 13 - Tabla resumen de algunas de las características consideradas en procesos de detección de derrames

Area	Orientación	Energía (GLCM) de objeto	Homogeneidad (GLCM) de fondo	Tasa desvío/media intensidad de zona	Tasa entre media de objeto y media de fondo	Distancia media a barcos y/o plataformas
Perimetro	Equi diametro	Contraste (GLCM) de objeto	Energía (GLCM) de fondo	Máximo de intensidad de gradiente	Tasa entre desvío de objeto y desvío de fondo	Mediana de distancia a barcos y/o plataformas
Complejidad (del Frate)	Difusión	Correlacion (GLCM) de objeto	Contraste (GLCM) de fondo	Mínimo de intensidad de gradiente	Tasa entre media de objeto y media de zona	Desvío de distancia a barcos y/o plataformas
Complejidad (Solberg)	Máximo de intensidad de objeto	Entropía de objeto	Correlación (GLCM) de fondo	Media de intensidad de gradiente	Máxima distancia a tierra	Máxima velocidad de viento
Complejidad (Karathanassi)	Mínimo de intensidad de objeto	Máximo de intensidad de fondo	Entropía de fondo	Desvío de intensidad de gradiente	Mínima distancia a tierra	Mínima velocidad de viento
Factor de forma	Media de intensidad de objeto	Mínimo de intensidad de fondo	Máximo de intensidad de zona	Mediana de intensidad de gradiente	Distancia media a tierra	Velocidad media de viento
Asimetría	Desvío de intensidad de objeto	Media de intensidad de fondo	Mínimo de intensidad de zona	Tasa desvío/media intensidad de gradiente	Mediana de distancia a tierra	Desvío de velocidad de viento
Axis mayor	Mediana de intensidad de objeto	Desvío de intensidad de fondo	Media de intensidad de zona	Tasa entre: tasa desvío/media de objeto y tasa desvío/media de fondo	Desvío de distancia a tierra	Mediana de velocidad de viento
Axis menor	Tasa desvío/media intensidad de objeto	Mediana de intensidad de fondo	Desvío de intensidad de zona	Diferencia entre media de fondo y media de objeto	Máxima distancia a barcos y/o plataformas	
Excentricidad	Homogeneidad (GLCM) de objeto	Tasa desvío/media intensidad de fondo	Mediana de intensidad de zona	Diferencia entre media de fondo y mínimo de objeto	Mínima distancia a barcos y/o plataformas	

Tabla 14 - Tabla resumen de características evaluadas en este trabajo

Desde diversos autores se ha intentado aproximar un ordenamiento en orden de importancia de las características con mayor poder de discriminación (Montali et al., 2006; Topouzelis et al., 2003; Karathanassi et al., 2006). Pero no necesariamente, este enfoque evidencia que la combinación de aquellas características con mayor poder discriminatorio provea de resultados tan efectivos como una combinación de factores o características de menor capacidad. Esto tiene su explicación en que la capacidad de discriminación de una sola característica es medible explícitamente pero que para un caso de múltiples características la capacidad de discriminación total no es igual a la suma de las capacidades individuales (Topouzelis et al., 2009). Y es desde este estudio que se sugieren próximas investigaciones con mayor cantidad de imágenes de evaluación y de combinación de características. En el presente capítulo se ha trabajado con imágenes de un sola polarización, como así también ha sido el desarrollo de los trabajos previos de clasificación mencionados, pero es necesario notar que se han encontrado capacidades de discriminación en firmas multipolarimétricas. (Maio et al., 2001) propone algoritmos para la discriminación entre vertidos reales y falsas alarmas, que abren una serie de propuestas futuras de investigación, lo que da paso a una nueva serie de características distintivas aún poco exploradas.

MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN

➤ Clasificación basada en reglas

Este método de clasificación permite la definición de objetos por un conjunto de reglas basadas en sus atributos. La construcción del conjunto de reglas se basa en el conocimiento de un experto del evento a individuar. Podrá definirse que si se intenta identificar a un derrame provocado desde una embarcación, uno de los atributos discriminantes será el nivel de elongación del objeto. Para la identificación de las manchas, un atributo explicativo serán los niveles de backscattering y contraste, explicados ya en capítulos previos. Y la combinación de estas reglas conformará el set que permitirá extraer al objeto.

➤ Lógica difusa

Las clasificaciones basadas en reglas normalmente se refieren a reglas binarias. Es decir, se puede pertenecer a una clase y solo a una. Pero esta separación, como se sabe, no siempre es fácil de establecer, habiendo píxeles que pueden pertenecer a una o mas clases. Por ejemplo, zonas de transición entre las clases, pueden suscitar imprecisiones difíciles de abordar. En este sentido, las técnicas de lógica difusa permiten trabajar con estos umbrales de incerteza. Por lo que en lugar de clasificar a un objeto bajo sentencias binarias de pertenencia o no pertenencia, las metodologías difusas refieren a funciones que dan cuenta de grados de pertenencia.

La salida de cada regla es un mapa de confianza en el que los valores hacen referencia a un grado en el que un objeto o pixel pueda asociarse a una clase. Finalmente será asignado a aquella que responda con un mayor nivel de confianza. En la construcción final de las reglas se controlará también el grado de incerteza de cada condición.

➤ Redes neuronales

Las redes neuronales artificiales son un paradigma de la programación que busca emular la microestructura del cerebro (Noriega, 2005). Entre ellas, el Multilayer Perceptron (MLP) es un ejemplo de red neuronal artificial que es utilizada para la resolución de un gran número de problemas, incluidos el reconocimiento de patrones e interpolaciones..

Como se ha dicho, las redes neuronales artificiales, nacen modelando el funcionamiento del cerebro humano, consistente en billones de celdas llamadas neuronas, estando todo el conocimiento y experiencia codificado mediante las conexiones existentes entre dichas neuronas. Pero antes de entender el cómo se estructuran estas conexiones, es necesario comprender el funcionamiento de una neurona.

Las neuronas pueden modelarse como simples medios de entrada-salida, vinculadas entre si en una red. La entrada o *Input* de una neurona la recibe de otras neuronas que se encuentran en eslabones de la cadena de niveles inferiores. Y la salida o *Output* se transmite a niveles superiores de la cadena. La información se genera al pasar por este proceso hacia arriba en la cadena.

La información que estas conexiones generan hacia el grupo inmediatamente superior de neuronas pueden asumir 3 formas distintas: excitación, inhibición y potenciación.

En la primera forma, se incrementa la semejanza con la siguiente neurona de la cadena. En la forma inhibitoria la conexión atenúa la semejanza con la siguiente neurona y en forma de potenciación se ajusta la sensibilidad de las siguientes neuronas para

incrementar o atenuar semejanzas, entendido como el proceso de aprendizaje o entrenamiento.

En general, las redes artificiales son medios *Input-Output* en donde las neuronas se organizan en capas de información. Un perceptrón simple consistirá en un layer de neuronas de entrada asociado a un layer de neuronas de salida, mas un layer de ponderación entre ellos (Figura 81).

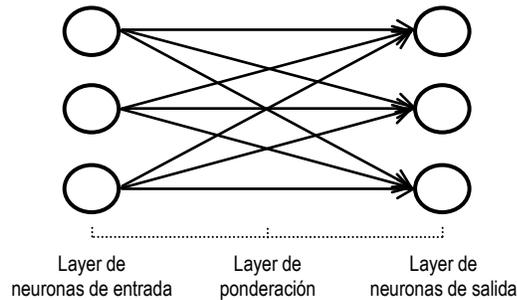


Figura 81 - Perceptrón simple

En el proceso de aprendizaje (Figura 82), las redes se ajustan para que una entrada particular corresponda con una salida específica. Esto puede ser visualizado con una simple tabla lógica con un operador AND. Por ejemplo: dados valores 0 en las neuronas de entrada A, B y C se obtiene una neurona de salida D con valor 0.

El modo en que este último proceso se modele dependerá del paradigma utilizado (Noriega, 2005). El modelo de neurona y la arquitectura de la red neuronal describirán la manera en que la red transformará las entradas en salidas.

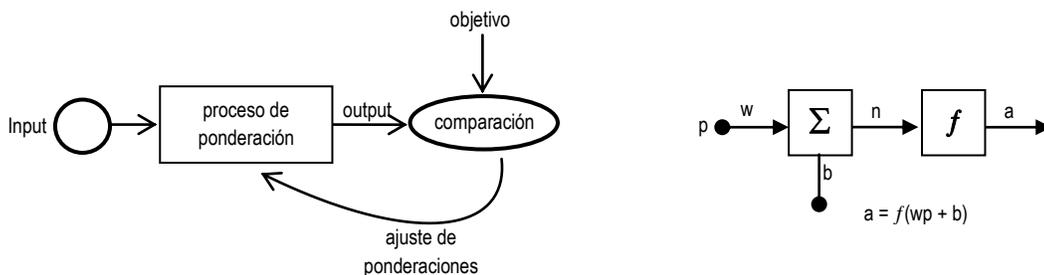


Figura 82 - Entrenamiento de la red neuronal

En la Figura 82 (derecha) se puede notar el proceso, en donde los valores w y b son parámetros ajustables de la neurona de modo que la red muestre el comportamiento deseado. De esta manera la red puede ser entrenada hacia un trabajo particular ajustando el peso de éstos.

Las funciones de transferencia f pueden responder a distintos tipos de comportamientos. Entre las mas comunmente utilizadas se pueden mencionar a las funciones de límite duro (o *Hard-Limit transfer function*), Lineales o Log-Sigmoid (Figura 83).

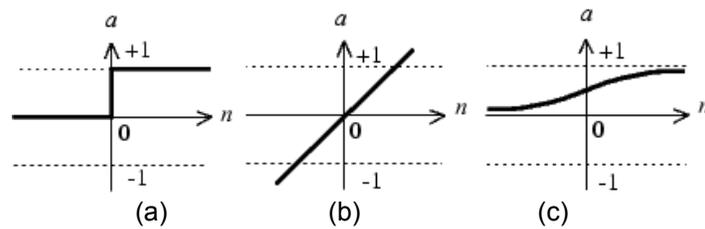


Figura 83 - Funciones de Límite Duro (a), Lineal (b), y Log-Sigmoid (c)

La función de transferencia no lineal Log-Sigmoid toma como entrada un valor que puede estar entre más y menos infinito, y arroja un valor resultante entre 0 y 1. Esta función es la comúnmente utilizada en las redes de retro-propagación y se define como:

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-x})$$

Para este trabajo se aplicará una red neuronal de Reconocimiento de Patrones. Estas son redes de retropropagación de dos capas con neuronas de salida Sigmoid, que son entrenadas para clasificar entradas de acuerdo a determinadas clases objetivo.

Para el caso de la clasificación de las manchas detectadas, las salidas tendrán valores 0 o 1, siendo el valor obtenido por la función cercano a 0 si la misma es asociada a un derrame de hidrocarburos o a 1 en el caso de que se asocie a una falsa alarma.

➤ Máquina de vectores soporte, o SVM

Como ventaja frente a métodos como árboles de decisión o redes neuronales, este método está diseñado para buscar una solución óptima a un problema de clasificación, mientras que los otros fueron diseñados para buscar una solución, que puede o no ser la óptima.

La SVM toma un conjunto de datos y predice para cada entrada su pertenencia entre 2 o más clases posibles. Dada una serie de grupos de entrenamiento, cada uno marcado como perteneciente a 1 de 2 categorías, un algoritmo de entrenamiento SVM construye un modelo que le asigna las muestras a esta u otra categoría.

El modelo de SVM puede representarse como muestras distribuidas como puntos en el espacio, y mapeados de modo tal que los ejemplos de las distintas categorías queden divididos por la brecha más amplia posible. Los nuevos objetos se mapearán en ese mismo espacio asignando la pertenencia a una u otra categoría basándose en el lado en que se encuentre de la brecha.

En otras palabras, la SVM construye un hiperplano o conjunto de hiperplanos en un espacio multidimensional (Figura 84) y encuentra uno con el margen máximo en ese espacio de dimensiones superiores (Hsu et al., 2007).

Existen distintas maneras de representar la función Kernel, siendo cuatro las básicas y de mayor difusión (Hsu et al., 2010): Lineal, Polinomial, Función de base radial y Sigmoid.

En esta metodología será necesario definir también un parámetro de penalidad para el algoritmo de clasificación utilizado, que permitirá el balanceo entre el permitir errores y la rigidez de los márgenes. Cuanto más grande sea se aumentarán al mismo tiempo los costos de clasificación errónea.

Otro de los parámetros a tener en cuenta será el umbral de probabilidad de clasificación, que marcará el límite para que el clasificador SVM asigne un píxel a un grupo, e incrementando este parámetro el proceso redundará en una mayor cantidad de píxeles no clasificados.

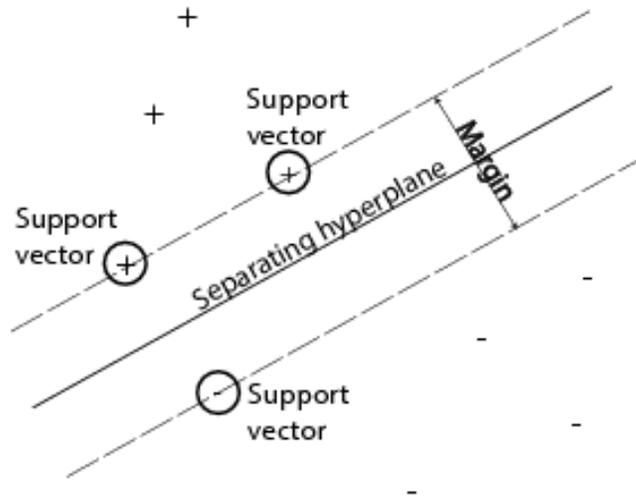


Figura 84 - Ejemplo de separación de clases por SVM (Matlab Help, 2010).

IMAGENES PROCESADAS

Para el presente estudio y de acuerdo a la mayor disponibilidad de imágenes del mismo sensor se han preprocesado 6 imágenes Envisat-ASAR (Tabla 15).

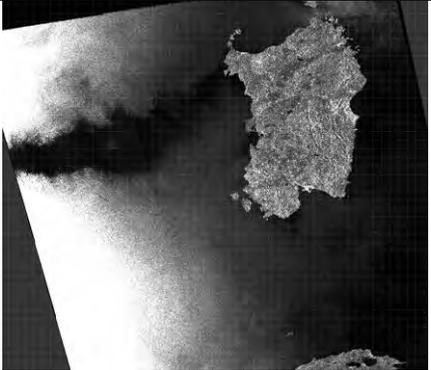
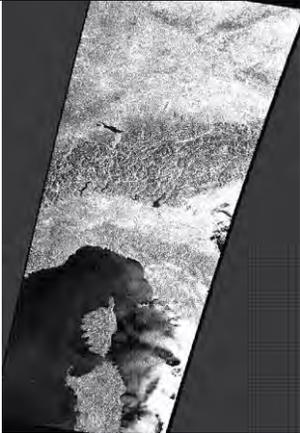
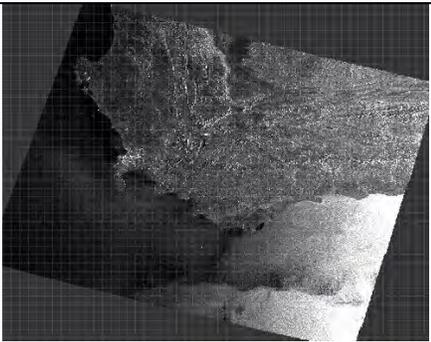
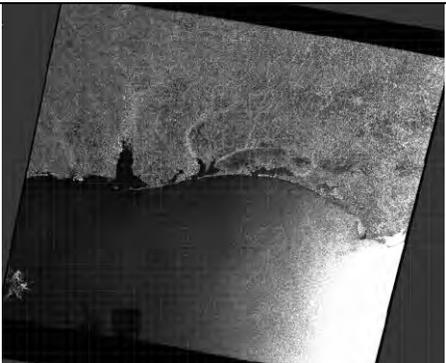
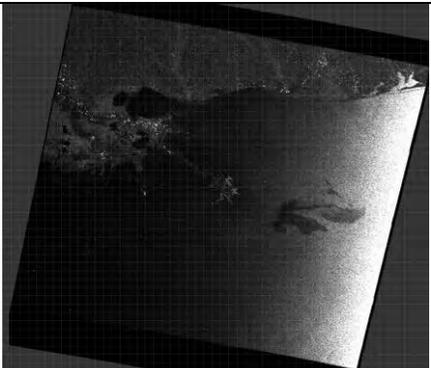
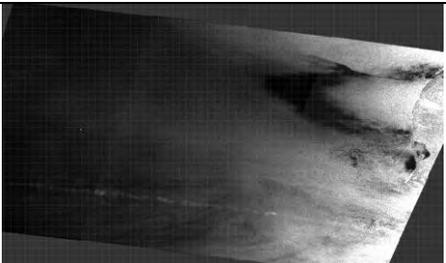
IMAGEN	Quicklook	IMAGEN	Quicklook
<p>mision Envisat tipo ASA WSM 1P adquisición pasada Ascendente track orbita</p> 		<p>mision Envisat tipo ASA WSM 1P adquisición 19-01-11 pasada Descendente track 338 orbita 46473</p> 	
<p>mision Envisat tipo ASA WSM 1P adquisición 31-03-05 pasada Descendente track 35 orbita 16121</p> 		<p>mision Envisat tipo ASA WSM 1P adquisición 09-05-10 pasada Descendente track 183 orbita 42822</p> 	
<p>mision Envisat tipo ASA WSM 1P adquisición 26-04-10 pasada Descendente track 498 orbita 42636</p> 		<p>mision Envisat tipo ASA WSM 1P adquisición 30-03-11 pasada Descendente track 0 orbita 47479</p> 	

Tabla 15 – Imágenes procesadas Envisat-ASAR

El paquete disponible de imágenes del mismo sensor, cuenta con una serie de zonas oscuras, en algunas de las cuales son verificados derrames de hidrocarburos. De modo de facilitar el procesamiento por el volumen de la información tratada, se han extraído zonas de interés que darán origen a las regiones oscuras a evaluar.

Dentro de las tipologías de falsas alarmas identificadas, puede mencionarse como la más notoria en este grupo de imágenes a las relativas a sombras de viento y de zonas con velocidades de vientos superficiales inferiores al umbral que permite la detección de derrames mediante la utilización de imágenes SAR. Se sugiere de todos modos para estudios futuros, la incorporación al set de una mayor variedad de falsas alarmas a fin de dar mayor robustez a la base de datos.

El proceso de clasificación en un primer paso genera los datos (características mencionadas en capítulos previos) que servirán para entrenar la red neural y posterior clasificación.

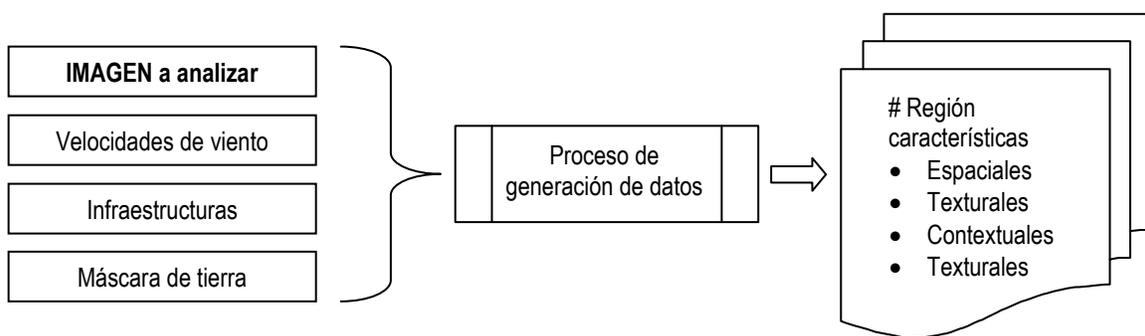


Figura 85 – Esquema de proceso de generación de datos

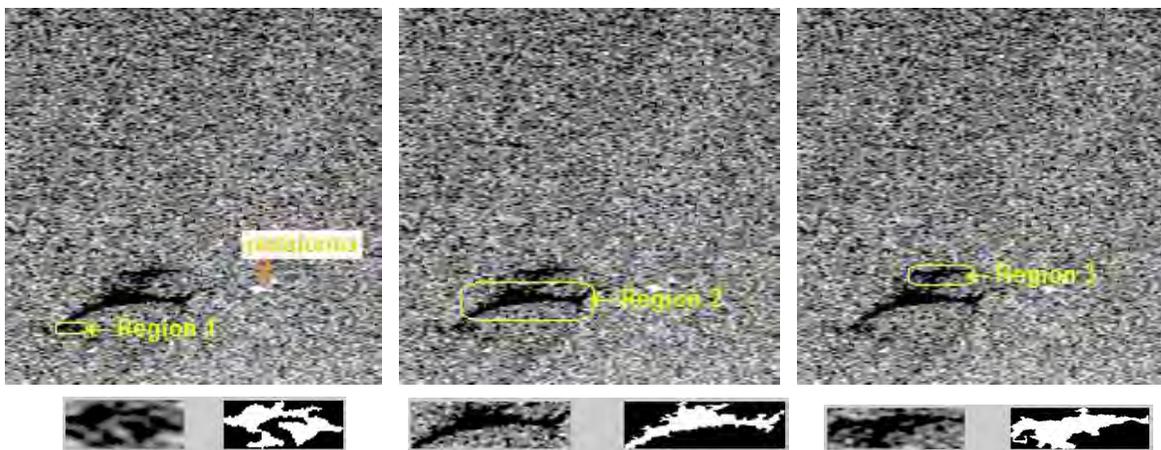


Fig.86 - Ejemplo de zona extraída de imagen Envisat con 3 regiones de análisis

Para realizar el muestreo de casos para el adiestramiento de la red se han extraído 30 zonas de interés de las imágenes de estudio (Figura 87).

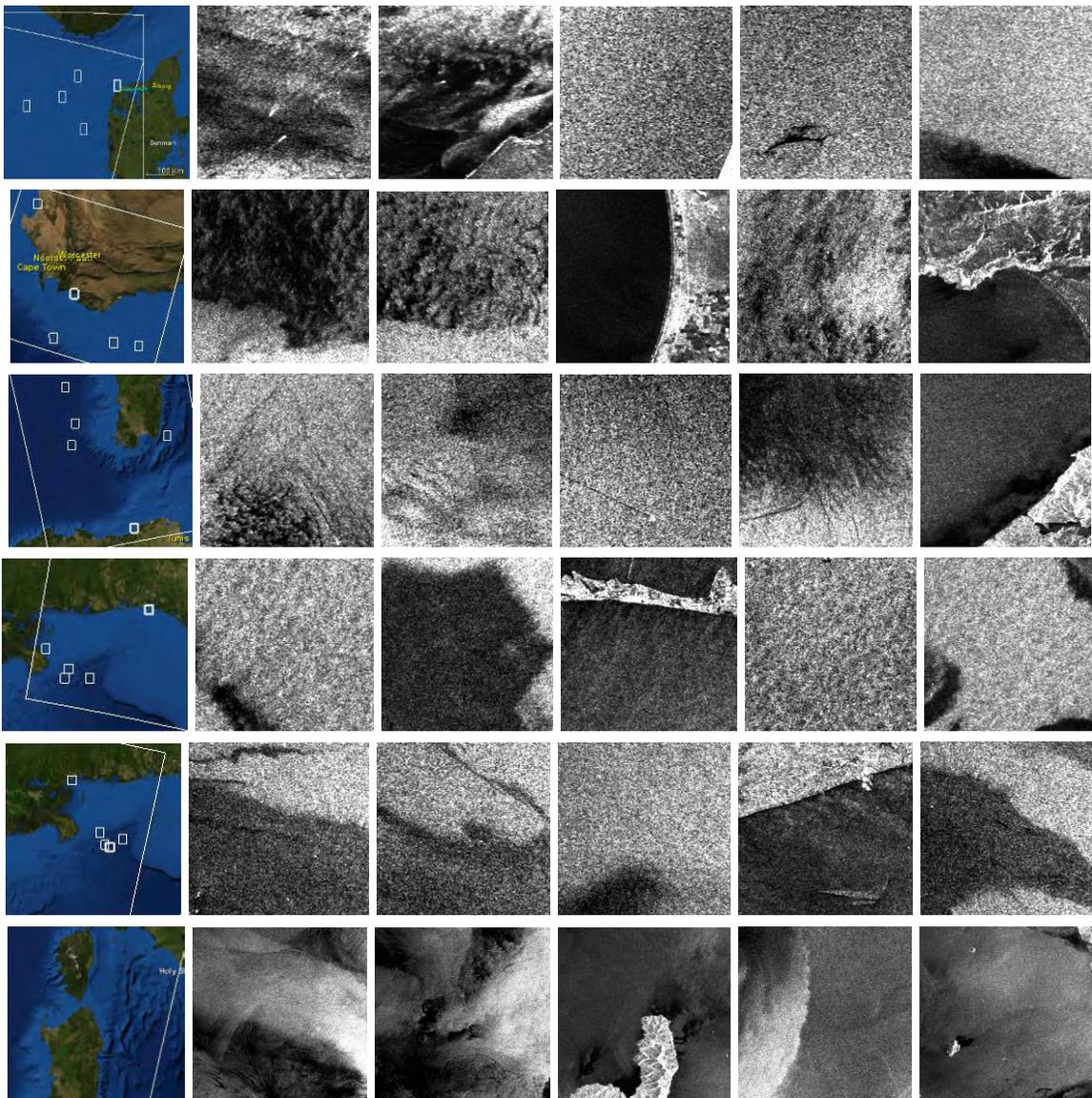


Figura 87 - Escenas de interés para la extracción de datos

El procesamiento generó un total de 228 manchas a analizar, de las que 16 estaban identificadas como derrames reales y 212 como falsas alarmas.

Las matrices de información fueron procesadas en una red neural de reconocimiento de patrones, dando un 70% de los casos (160 ejemplos) para el entrenamiento, un 15% (34 ejemplos) para validación y otro 15% (34 ejemplos) para el testeo.

La red se ajusta al error de los casos dados en el entrenamiento, los de la validación son utilizados para medir la generalización de la red y para detener el entrenamiento cuando esta generalización deja de mejorar la red. Mientras que la información de testeo únicamente provee medidas independientes de la performance de la red durante y después del entrenamiento.

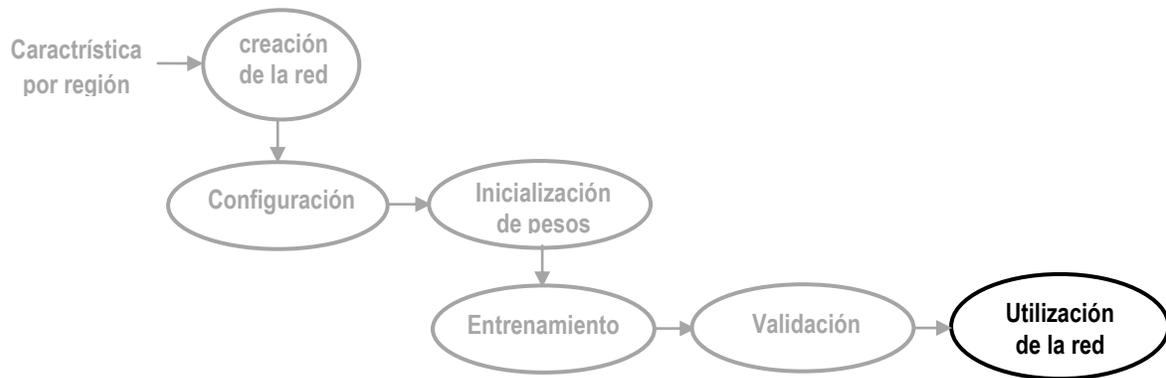


Figura 88 - Pasos en la implementación de la red

El número de neuronas ocultas para este ejercicio fue fijado en 20 (Figura 89). La división de los grupos objetivo se hizo aleatoriamente, utilizándose la función *Levenberg-Marquardt backpropagation* como función de entrenamiento y la estimación del error por mínimos cuadrados.

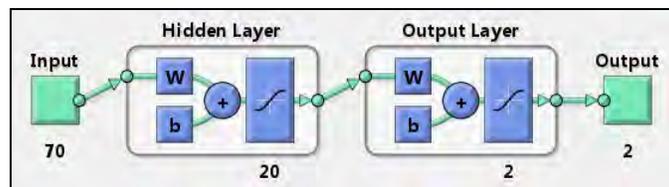


Figura 89 – Esquema de la red neural

Resultados de la clasificación

El mejor rendimiento de la red fue alcanzado en la iteración número 12 (Figura 90). Y en la matriz de confusión (Figura 91) se pueden apreciar las asignaciones realizadas a cada grupo, en donde las celdas diagonales dan cuenta del número de casos correctamente clasificados, y las que se encuentran fuera de la diagonal de aquellos mal clasificados, mientras que la celda azul muestra el porcentaje total de casos clasificados correctamente.

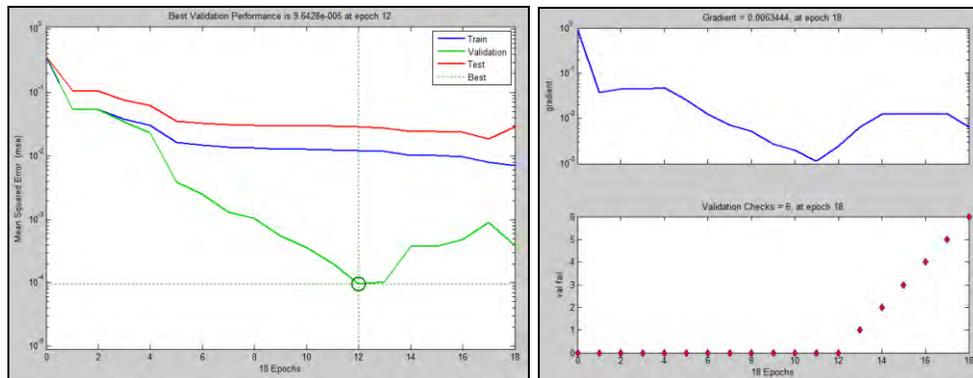


Figura 90 – Performance de la red

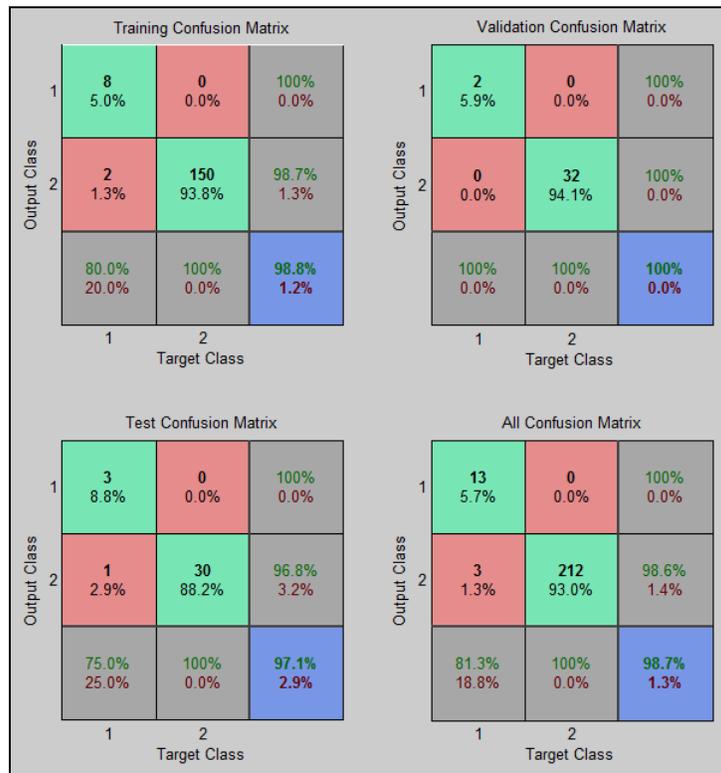


Figura 91 - Matriz de confusión de clasificación de red neural

Para el grupo de datos tratados de 228 manchas, de los 212 ejemplos de falsas alarmas, no hubo errores de clasificación, mientras que para los 16 casos de derrame verificados, realizó una correcta asignación en el 81,3% de los casos, asignando por error 3 manchas identificadas como falsas alarmas cuando deberían haber sido clasificadas como derrames.

Puede notarse en la Figura 92 cómo los errores cuadráticos medios no superan el 10% a lo largo de 225 asignaciones, exceptuando los 3 errores previamente identificados.

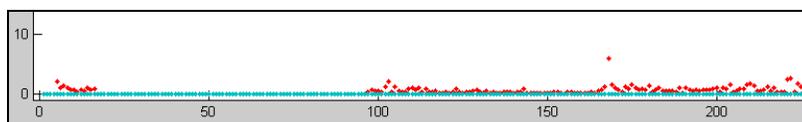


Figura 92 - Errores cuadráticos (fuera de las 3 asignaciones incorrectas)

Finalmente, se puede ver también la efectividad del clasificador por medio de la curva ROC. En el gráfico de la Figura 93, las líneas coloreadas representan las características del funcionamiento del receptor para las categorías Derrame o Falsa Alarma.

Esta curva expresa la tasa de verdaderos positivos (sensibilidad) respecto a los falsos positivos (1-especificidad). Un resultado óptimo debería mostrar los puntos en la esquina superior izquierda con un 100% de sensibilidad y 100% de especificidad.

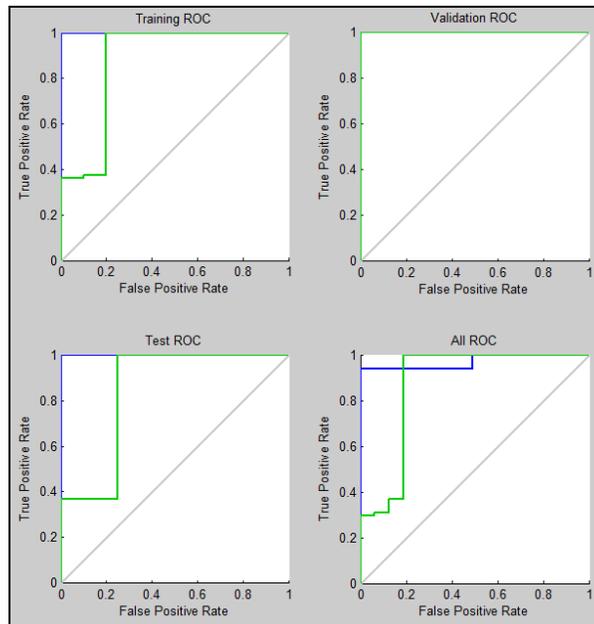


Figura 93 - Curvas ROC del proceso de clasificación

A modo de resumen, se exponen en la Figura 94 los pesos asignados durante la clasificación. A partir de este cuadro, en el que el eje X representa las características evaluadas para cada mancha detectada y el eje Y a las 20 neuronas, se puede concluir que no hay una tendencia evidente que permita extraer una característica de mayor significancia que otra. Como ya fue descrito en el capítulo 5, desde diversos autores se ha intentado aproximar un ordenamiento en orden de importancia de las características con mayor poder de discriminación (Montali et al., 2006; Topouzelis et al., 2003; Karathanassi et al., 2006). Pero no necesariamente, este enfoque evidencia que la combinación de aquellas características con mayor poder discriminatorio provea de resultados tan efectivos como una combinación de factores o características de menor capacidad. Esto tiene su explicación en que la capacidad de discriminación de una sola característica es medible explícitamente pero que para un caso de múltiples características la capacidad de discriminación total no es igual a la suma de las capacidades individuales (Topouzelis et al., 2009).

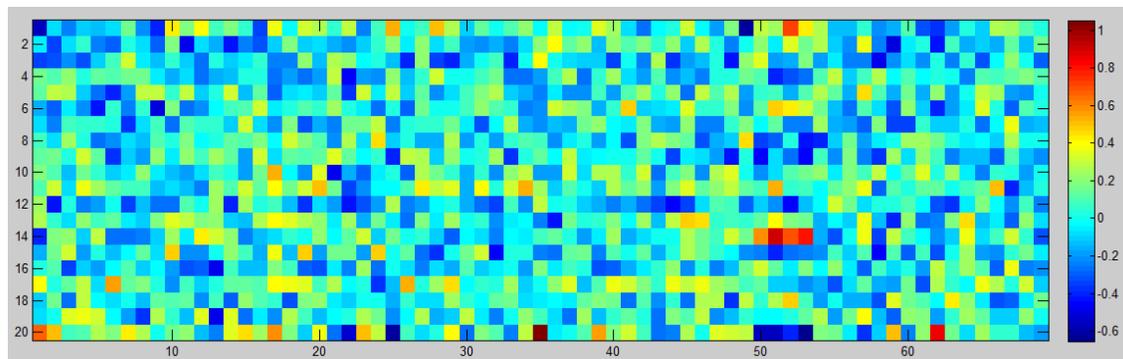


Figura 94 – Tabla de pesos asignados a cada característica por cada una de las neuronas

características	DERRAMES				FALSAS ALARMAS			
	Mínimo	Máximo	Media	Desvío	Mínimo	Máximo	Media	Desvío
área	515	421999	27890,94	105116,6	50	490798	4543,698	36609,13
perímetro	150,9533	18152,51	1532,982	4441,177	36,97056	13953,45	383,3276	1518,172
complejidad (del Frate)	1,812459	7,882718	3,463653	1,394124	1,238312	10,26267	2,544059	1,225425
complejidad (Solberg)	41,28062	780,8396	173,6547	172,8184	19,26949	1323,521	100,114	141,8778
complejidad (Karathanassi)	1,113737	1,415976	1,240624	0,092251	1,033985	1,466183	1,235582	0,102838
factor de Forma	0,016093	0,304413	0,113969	0,072781	0,009495	0,652138	0,225872	0,138097
relación Perímetro/Área	0,043016	0,481164	0,325587	0,122544	0,02843	1,460244	0,661154	0,284036
asimetría	1,320391	4,744373	2,402843	0,952898	1,109207	13,46055	2,545967	1,438547
axis Mayor	42,12554	1057,645	153,3809	251,042	11,97252	1003,397	46,65124	93,56956
axis Menor	21,91825	596,3256	70,78684	140,5965	3,22721	672,359	24,27143	64,84649
excentricidad	0,653008	0,977534	0,864852	0,090064	0,432685	0,997237	0,855536	0,116359
orientación	-80,1507	88,31955	-9,37058	36,94272	-89,4014	87,93368	0,588586	41,25543
diámetro Equivalente	25,607	733,0115	83,90543	174,2694	7,978846	790,5083	27,32784	71,14973
difusión	4,252595	36,43855	18,56701	9,442539	0,519684	44,83545	18,70031	10,53241
máximo de objeto	-17,2673	-0,7687	-6,69773	4,872652	-17,2848	0,21665	-13,5731	3,124427
mínimo de objeto	-24,5158	-8,05793	-11,6929	5,578322	-28,1126	-14,2225	-18,6581	2,154657
media de objeto	-19,3411	-5,79442	-8,48275	5,061023	-18,4556	-13,089	-15,5121	2,013446
desvío de objeto	-25,288	-11,8278	-16,1068	4,389566	-30,6855	-16,4703	-22,6086	3,612633
mediana de objeto	-19,4252	-5,90675	-8,42899	5,061986	-18,4422	-13,0177	-15,495	2,007626
tasa desvío/media (1)	0,115879	0,352515	0,180703	0,060635	0,04834	0,783661	0,221217	0,120265
homogeneidad (GLCM)	0,627143	0,920587	0,75894	0,088882	0,479181	0,986349	0,661491	0,073993
energía (GLCM)	0,041945	0,326535	0,107632	0,077568	0,030144	0,909712	0,074736	0,071708
contraste (GLCM)	0,159152	1,484127	0,724139	0,379995	0,027798	6,157895	2,043904	1,153495
correlación (GLCM)	0,741717	0,922057	0,813518	0,055232	0,153177	0,87132	0,609269	0,167572
entropía	1,3846	4,756861	2,470207	0,892686	0,860122	3,247221	1,854201	0,475924
máximo de fondo	-13,2685	4,597872	-3,25474	5,123378	-15,7996	-0,14801	-9,8391	3,706497
mínimo de fondo	-19,7848	-6,27253	-9,91718	4,719881	-28,1126	-12,4412	-16,2522	2,440094
media de fondo	-16,0201	-3,66739	-6,46516	4,677062	-16,7801	-7,60668	-12,7618	2,75359
desvío de fondo	-23,1112	-9,44846	-12,9762	4,743314	-27,2582	-9,287	-18,771	4,230235
mediana de fondo	-16,2528	-3,84546	-6,63389	4,673968	-16,8675	-8,09731	-13,0024	2,682648
tasa desvío/media de fondo (2)	0,18452	0,273055	0,224816	0,027301	0,0886	0,870865	0,27012	0,109188
homogeneidad (GLCM) de fondo	0,783805	0,971634	0,856746	0,044945	0,574293	0,91302	0,725795	0,064878
energía (GLCM) de fondo	0,100853	0,70835	0,202769	0,139343	0,042493	0,372514	0,102097	0,054497
contraste (GLCM) de fondo	0,056851	0,567797	0,31544	0,118242	0,17448	3,232323	1,172626	0,676962
correlación (GLCM) de fondo	0,778689	0,911592	0,864147	0,031836	0,318615	0,912636	0,689494	0,151573
entropía de fondo	2,435618	6,037005	4,516113	1,175786	1,363491	5,302413	3,160394	0,918441
máximo de zona	-13,2685	4,597872	-3,25474	5,123378	-15,7996	0,21665	-9,82595	3,737209
mínimo de zona	-24,5158	-8,05793	-11,7987	5,525089	-28,1126	-14,2225	-18,7148	2,212734
media de zona	-16,7371	-4,08008	-7,05063	4,746874	-17,6176	-9,39014	-13,5759	2,601718
desvío de zona	-21,7746	-8,93548	-12,3697	4,440913	-25,2903	-9,4937	-18,0505	3,975256
mediana de zona	-16,8791	-4,20019	-7,19051	4,688522	-17,963	-10,1579	-13,883	2,498316
tasa desvío/media de zona	0,245427	0,391672	0,296606	0,043014	0,158231	1,175807	0,384847	0,163869
máximo de gradiente	-17,2675	-5,37907	-7,60923	4,791538	-17,2848	-12,5594	-14,3951	2,238088
mínimo de gradiente	-20,4038	-6,81499	-9,88461	5,067715	-28,1126	-14,2225	-17,6482	1,843656
media de gradiente	-17,7195	-5,69888	-8,00492	4,805121	-17,9037	-13,1352	-15,1729	1,925065
desvío de gradiente	-28,496	-15,515	-18,7984	4,702356	-31,8853	-19,1447	-24,0892	3,995311
mediana de gradiente	-17,587	-5,62257	-7,90154	4,802928	-17,7616	-13,0106	-15,0652	1,94307
tasa desvío/media de gradiente	0,061706	0,108478	0,084263	0,013031	0,036046	0,35197	0,146121	0,07134
tasa entre: Tasa entre (1) y (2)	0,545704	1,494025	0,800948	0,237196	0,233478	1,967204	0,820643	0,268989
media de gradiente	0,010453	0,18023	0,107193	0,052669	0,004649	0,149294	0,032207	0,025292
tasa media de objeto y de fondo	-0,18023	-0,01045	-0,10719	0,052669	-0,14929	-0,00465	-0,03221	0,025292
tasa desvío de objeto y de fondo	0,380594	0,647684	0,493203	0,086048	0,084135	1,143103	0,442571	0,163818
tasa media de objeto/media de zona	0,50027	0,847897	0,723795	0,080665	0,297003	0,88649	0,656616	0,137212

Tabla 16 – detalle de algunos de los valores de características ingresados al proceso de clasificación

Si bien en el total de asignaciones correctas se alcanza un nivel del 98,7%, a medida que se disponga de más información validada, se sugiere continuar el entrenamiento del sistema a fin de dar mayor robustez al sistema.

Finalmente, la puesta en práctica de este proceso, da la posibilidad de ante un evento y ante una red neural entrenada y consistente, con solo ingresar las características de la mancha individuada, puede establecerse automáticamente un rango de pertenencia a la clase “derrame” o “falsa alarma” (se simula la red dándole como parámetro a la estructura de la red creada anteriormente, junto a la mancha en cuestión, accediendo finalmente a un par de valores, por ejemplo [0.9994 0.0073], tomando como referencia al 1:derrame y 0:falsa alarma.

Esta asignación, adjunta en la tabla de atributos de un posterior archivo geográfico, permitirá la generación automática de un mapa de referencia del potencial vertido clasificado (Figura 95).

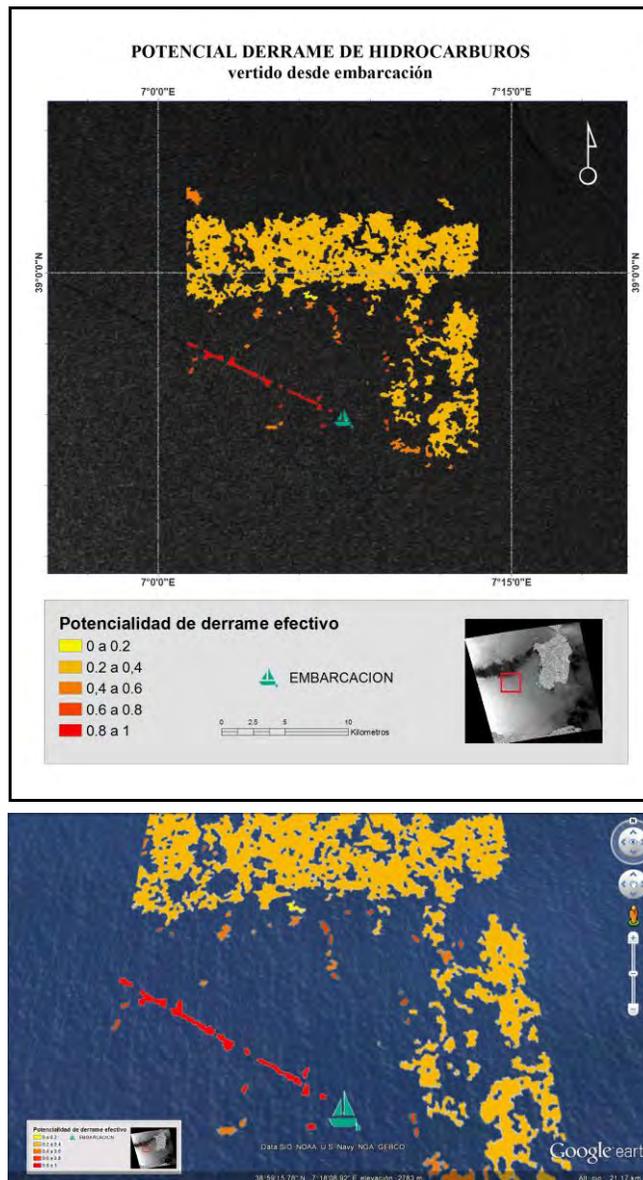


Figura 95 – Mapa de aplicación de clasificación (arriba) - Mapa de aplicación de clasificación en formato KMZ (abajo)

CAPITULO 6. Región de Interés. MAR ARGENTINO

En la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (Art.1.4), se define como contaminación del medio marino a: “La introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o de energía en el medio marino incluidos los estuarios, que produzca o pueda producir efectos nocivos tales como daños a los recursos vivos y a la vida marina, peligros para la salud humana, obstaculización de las actividades marítimas, incluidas la pesca y otros usos legítimos del mar, deterioro de la calidad del agua del mar para su utilización y menoscabo de los lugares de esparcimiento” (CONVEMAR: Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar; Escobar,2002).

Partiendo de esta definición, se plantea la necesidad de contextualizar el evento de derrame, ya que un sistema de monitoreo fuera de un contexto de impacto claramente identificado, carece de una justa valoración.

A este fin, es que la identificación de zonas y especies sensibles a un fenómeno de contaminación es de gran importancia para la evaluación de la magnitud de un potencial impacto. Esto debe realizarse previo a un suceso, siendo los índices de vulnerabilidad de especies y habitats expuestos al evento la herramienta para identificarlas a partir de mapas de sensibilidad que permitan orientar medidas de control específicas.

Mar y zonas costeras argentinas

“El Mar Epicontinental Argentino en su totalidad tiene 1.000.000 km² (IGM, 1998); el ancho varía, alcanzando 850 km a la latitud de las Islas Malvinas (Parker et al., 1997). La mayor parte se halla bajo la influencia de la corriente de Malvinas, de aguas frías (subantárticas). Entre los recursos naturales del Mar Argentino se destacan los hidrocarburos fósiles y la pesca; en total se han reportado más de 400 especies de peces (Gómez y Toresani, 1998). El recurso pesquero más importante es la merluza, pero también se pescan comercialmente más de una decena de especies (Subsecretaría de Pesca, 1997)” (Barragán Muñoz, 2005).

Las zonas costeras comprenden a 4 regiones que se diferencian en función de sus características ambientales, biológicas, socioeconómicas e históricas.

La region fluvial (3725Km), la región del Río de la Plata (392Km), y las regiones pampeana y patagónica (que en conjunto alcanzan una extensión de 4725Km, y con una área de cubierta de 230mil Km² en la pampeana y 750mil Km² en la patagónica).

La primera (fluvial) es rica en recursos naturales y presenta un incipiente desarrollo económico, basado en actividades agrícolas y forestales. Al mismo tiempo, la menor en dimensiones que es la del Río de la Plata, es la mas industrializada, urbanizada, y poblada de todo el país siendo al mismo tiempo la que presenta mayor grado de deterioro a nivel ambiental. Finalmente, la pampeana y patagónica, es la que dispone de recursos pesqueros importantes y turísticos³. También en estas regiones se concentran los principales puertos del país (Guerrero et al., 1997; MRAG, 1999).

³ La región costera y marítima pampeana tiene como actividades predominantes en toda esta región costera son el turismo y la actividad portuaria. Las playas atraen a la más importante corriente turística del país a una variada oferta de balnearios con características distintivas. Mar del Plata es la ciudad más grande y concentra la mayor capacidad hotelera y de viviendas en alquiler, pero además de ser una ciudad balnearia es un verdadero centro urbano multifuncional. Posee el principal puerto pesquero del país y tiene además actividad industrial, cerealera, deportiva, militar y de combustibles. Más al sur, la ciudad de Bahía Blanca actúa de cabecera regional y punto de enlace con la Patagonia. Allí se encuentra la principal

Fronteras marítimas y jurisdicciones

Según la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR) de 1982, la Zona Económica Exclusiva de cada estado se extiende hasta las 200 millas, de modo que la gran mayoría de las zonas costeras del mundo se encuentran bajo dominio público estatal (Figura 96).

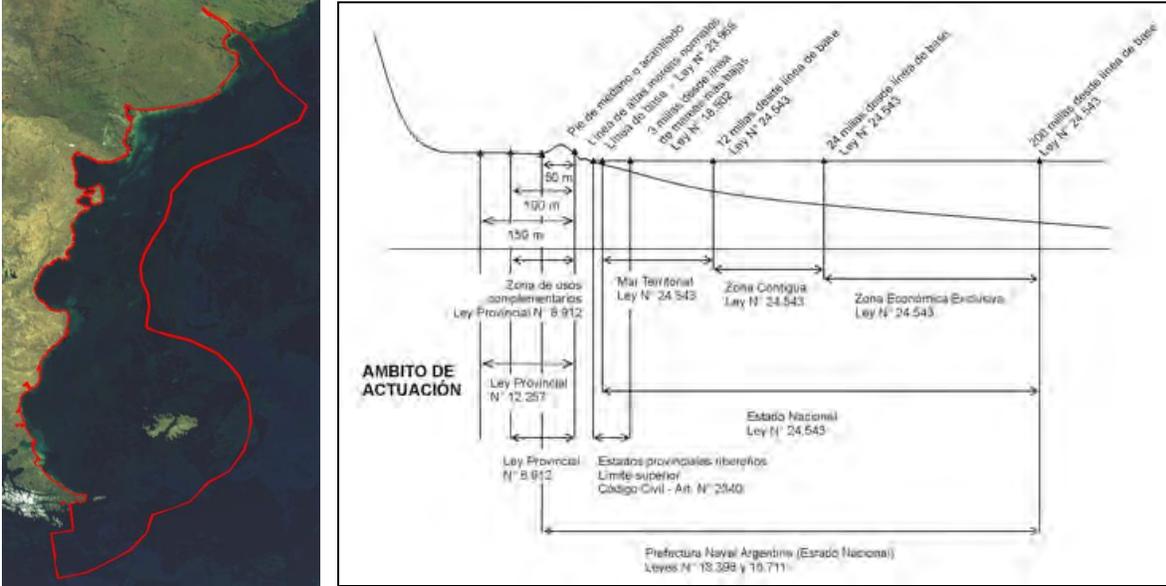


Figura 96 - Zona Jurisdicción Estado Nacional 200millas de línea de base (izquierda) Ambitos de actuación y jurisdicciones provinciales y nacionales (derecha)

La CONVEMAR fue aprobada en la Argentina por ley 24.543 y se encuentra vigente desde Diciembre de 1995. A partir de las líneas de base se fija el límite exterior del mar territorial a las 12 millas marinas, donde la Nación ejerce una soberanía plena, extensiva a su espacio aéreo, lecho y subsuelo.

Las provincias sólo tienen jurisdicción concurrente con el Estado nacional hasta las 3 millas (Laciar, 1987).

La zona contigua se extiende hasta las 24 millas marinas de las líneas de base; en esta zona, las autoridades argentinas pueden prevenir y sancionar las infracciones a sus leyes y reglamentos (Castelli, 1995).

La Zona Económica Exclusiva se extiende hasta las 200 millas marinas con derechos de soberanía para la exploración, explotación, conservación y administración de los recursos

base naval de la marina de guerra de la Argentina. Los recursos ictícolas están representados principalmente por la merluza, la anchoita, crustáceos y moluscos.

La región costera y marítima patagónica dispone de recursos pesqueros que incluyen peces, moluscos, crustáceos y erizos de mar. También se menciona como una actividad la vinculanda a la extracción de macroalgas para la obtención de gelificantes. El turismo incluye un alto porcentaje de visitantes extranjeros y es predominantemente de ecoturismo, aventuras, caza y pesca, destacándose los sitios de avistaje de ballenas y de observación de pingüinos y lobos marinos; caza submarina, pesca deportiva y deportes subacuáticos.

naturales (vivos y no vivos), tanto de las aguas como del lecho y del subsuelo; su extensión estimada es de 2.000.000 de Km² (Barragán Muñoz, 2005).

En lo que respecta al régimen de prevención y control ambiental vinculado a la exploración y producción petrolera, el mismo está regulado por la Ley 22190/80, que involucra a toda contaminación originada por barcos y otras infraestructuras navales.

La **contaminación por derrame de petróleo** es una de las principales amenazas a la biodiversidad marino costera en la Argentina, degradando hábitats clave de nidificación y reproducción y afectando directamente a las especies. La mayor parte del petróleo producido en el sur de la Patagonia argentina se transporta por mar. El petróleo crudo es transportado por barco desde los campos petroleros a las refinerías representando un potencial peligro de derrames. Existe un creciente riesgo de contaminación por hidrocarburos en la zona marino-costera debido tanto a maniobras operacionales (derrames intencionales, descarga de sentinas, etc.), como a accidentes. Frente a la costa argentina muy pocos derrames de gran magnitud se han registrado desde 1996; sin embargo, numerosos derrames no declarados han afectado la biodiversidad, impactando en la explotación de algas, empetrolando aves marinas y contaminando algunas playas. El transporte de crudo desde sitios de la Patagonia hasta las refinerías en la provincia de Buenos Aires es la actividad responsable de un problema crónico de contaminación marina por hidrocarburos, que anualmente afecta a cientos de aves marinas. En particular, las rutas migratorias y zonas de alimentación del Pinguino de Magallanes y otras aves marinas, se superponen con áreas de transporte marítimo, puertos y áreas de desarrollo de la industria petrolera, incluidas las terminales de petróleo y las plataformas de exploración y explotación (Fundación Patagonia Natural, 2011).

Durante el primer censo de contaminación costera argentina, realizado en el año 1997, se registraron en la zona costera un total de 559 pingüinos de Magallanes y otras 266 aves marinas y costeras con petróleo⁴.

Zonas de exploración petrolera en espacio marítimo argentino

A los efectos de establecer zonas prioritarias de monitoreo, se digitalizaron zonas de explotación petrolera en el espacio marítimo argentino.

De acuerdo a información realizada para el seminario internacional “Los recursos de lecho y subsuelo del mar” en Mayo de 2006 por la empresa Repsol-YPF titulada “Actividad Exploratoria de Repsol YPF en el Offshore de Argentina”, se expuso un resumen de las áreas de exploración involucradas en su plan de desarrollo, posicionándose como la empresa líder en materia de exploración offshore.

La tendencia mundial de los precios del crudo y la necesidad de reemplazo de lo producido lleva a la exploración en aguas profundas, y el Mar Argentino se entiende como un espacio de explotación de nuevos recursos hidrocarbúricos que sostengan un adecuado nivel de reservas.

⁴ Desde el informe realizado por la Fundación Patagonia Natural, Informe Técnico Número 41, se plantea que los valores pueden estar subestimados debido a que las fechas para evaluar la incidencia del petróleo sobre los pingüinos no fueron las más adecuadas. A pesar del número relativamente bajo de aves con petróleo, debe considerarse que debido a las características de historia de vida de las aves marinas, un incremento pequeño en la mortalidad de adultos puede resultar en un impacto significativo en sus poblaciones.

Con bloques activos en la Cuenca Golfo de San Jorge, Cuenca Austral, Cuenca Malvinas y Cuenca Colorado Marina, los prospectos exploratorios, aunque de distintos nivel de riesgo según la zona de estudio, involucrarían importantes recursos potenciales de hidrocarburos (*al momento del informe (Mayo 2006) estos recursos no fueron confirmados*).

La empresa asimismo ha realizado acuerdos con la empresa estatal ENARSA para la exploración conjunta, en la que el área **CGSJM-1** de la cuenca Golfo San Jorge habría revelado la existencia de importantes estructuras sin perforar.

El área **E-2** fue sujeta a estudios que según el informe revela a una “estructura para su perforación inmediata con importantes recursos y de riesgo relativamente moderado”.

Al tiempo que en el área **E-1** los estudios evidenciarían “grandes estructuras en el Talud Continental con importantes recursos potenciales, pero con un elevado riesgo exploratorio por su naturaleza de frontera”.

Finalmente en los bloques **CAA-40** y **CAA-46** pertenecientes a la Cuenca Malvinas, se han definido estructuras con importantes recursos potenciales de hidrocarburos, aunque de frontera exploratoria de alto riesgo.

Al mismo tiempo, y en funcion de informacion extraída de informes de Febrero de 2010 de impacto ambiental realizados por -entre otras- la firma Rockhopper, y que al momento operan en la zona del Atlantico Sur en el territorio nacional de las Islas Malvinas, se digitalizaron los bloques de exploración y pozos de extracción (Figura 97).

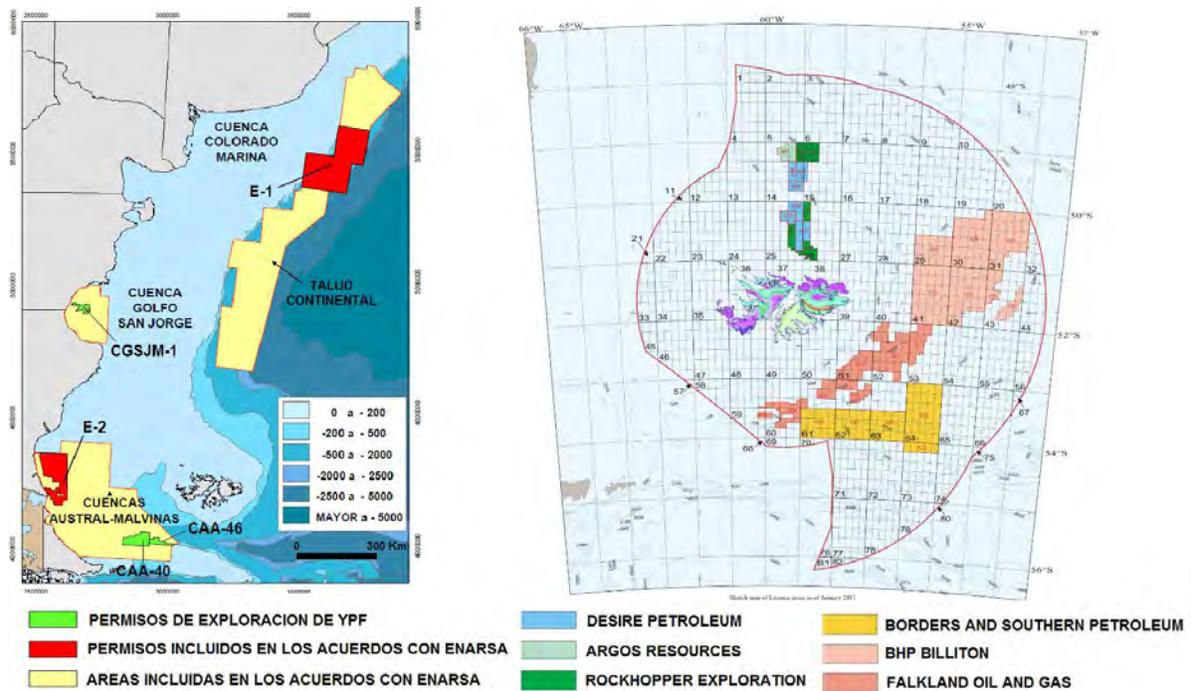


Figura 97 – Zonas de exploración en el mar argentino

Breve mención a cuenca Malvinas:

“Las Malvinas tienen cuatro cuencas sedimentarias, que geográficamente son la continuidad de la Cuenca Austral. En la Cuenca Norte hay 40 regiones que contendrían hidrocarburos en cantidades comercialmente viables. En una de ellas se estableció la existencia de 240 millones de barriles, que es algo más de un 10 % de lo que extrae anualmente la Argentina. El Reino Unido tiene apenas un poco más que Argentina en reservas probadas. Estas reservas rondan los 18 mil millones de dólares, nada más que en ese prospecto. Quedarían otros 38 solamente en la Cuenca Norte, que es apenas una de las cuatro cuencas que rodean las islas” (Bernal, 2011).

A continuación en la Figura 98 se detalla el volumen de imágenes COSMO-SkyMed (parte de la constelación para la gestión de emergencias italo-argentina SIASGE) catalogadas en dicha zona de interés para el período 2009 - 2012.

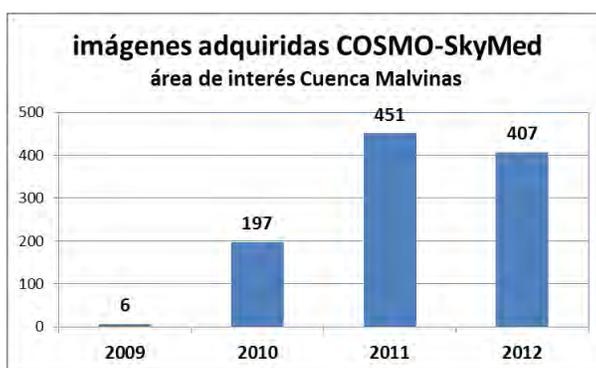
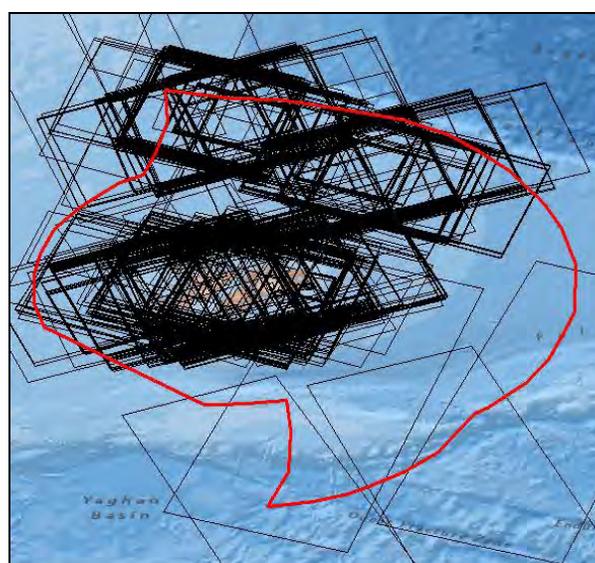


Figura 98 - Imágenes Cosmo Skymed catalogadas sobre área marítima en Islas Malvinas Período Enero 2009 - Diciembre 2012. (Fuente: e-Geos Catalog. COSMO-SkyMed Products)

Revisión del impacto de un derrame:

En (Wisner et al., 2004) se plantea la problemática de cuán buenas son las estadísticas relativas a desastres. Estas son tan buenas o malas como los métodos usados para su recolección. Uno de los puntos en los que no hay definiciones acordadas universalmente es ya en lo que se refiere al concepto de desastre (Quarantelli, 1998). Otro es el concepto de población afectada, en donde la concepción de qué significa estar afectado difiere entre las distintas organizaciones.

La polución provocada por descargas crónicas, por problemas operacionales o por la limpieza de cisternas, es un hecho a monitorear al margen de que tenga o no lugar un desastre de gran magnitud (Magdalena, Golfo de México, Prestige, etc).

La aparición de bolas de alquitran o de aves empetroladas, son casos que es necesario relevar, y en oportunidades estos hechos no necesariamente tienen origen en derrames de grandes dimensiones siendo al mismo tiempo de escasa difusión mediática.

Como se ha descrito en capítulos previos, muchos de los compuestos químicos del hidrocarburo generan efectos letales y tóxicos para la vida marina, y algunos de ellos se bioacumulan en organismos marinos en las cadenas alimenticias, convirtiéndose ya en un riesgo para la salud humana.

A modo de ejemplo, si bien no se han relevado datos a la fecha, informes que datan de 1999, presentaban estadísticas a tener en cuenta: a lo largo de las costas de la provincia de Chubut, Argentina, una población de 20 mil pingüinos de Magallanes adultos y de 21 mil jóvenes morían anualmente por polución provocada por hidrocarburos.

Entre las especies que más sufren el impacto, las aves costeras, aquellas que flotan o buscan alimento en el medio marino, como es el caso de pingüinos, cormoranes, gaviotas, petreles, etc., que son los comúnmente encontrados en las playas. Las focas asimismo tienen un alto riesgo de impacto, ya que ante el contacto, pierden la capacidad de regular su temperatura corporal. En el mismo informe se plantea que si bien no es conocido claramente el impacto que un derrame puede tener en cetáceos, se cree que por ejemplo en el caso de las ballenas de grandes dimensiones podrían verse obstruidas sus barbas, mientras que en las de menor tamaño se provocaría una irritación de sus vías respiratorias (MRAG, 1999).

Respecto a la salud humana, el consumo de organismos provenientes de áreas contaminadas, a nivel global han producido 2.5 millones de casos de hepatitis infecciosa, que resultan en 25 mil casos fatales y en un número similar de incapacidades por daños al hígado, con un impacto económico cercano a 10 billones de dólares anuales (UNEP, 2001).

A nivel de actividades económicas, la pesca y el turismo son también susceptibles a verse damnificados.

Impacto en el tiempo:

En el caso del derrame ocurrido en las costas de la localidad bonaerense de Magdalena, el informe realizado 10 años después del evento revela transformaciones de las condiciones ambientales del litoral, dadas por la magnitud del evento, en donde el nuevo nivel de equilibrio se encuentra dominado por especies arbustivas y arbóreas en detrimento de juncuales, cespéd ribereño y espadañales. La barrera de la línea de costa conformada por juncuales es la más alterada, tendiendo a desaparecer.

A partir de dicho informe, se puede notar la larga duración del impacto provocado por el derrame, en donde el sistema aún 10 años después sigue presentando variaciones de distintos grados de intensidad.

Factores que determinan la magnitud de un impacto:

Son diversos los factores que determinarán la magnitud del impacto ambiental de un evento de derrame. Entre ellos, los principales son la ubicación geográfica, los factores hidrometeorológicos particulares, y desde ya la composición del producto derramado y la duración del evento.

Las zonas costeras, en términos de impacto serán las más afectadas por la diversidad biológica existente, la población residente y las actividades económicas vinculadas a la costa. El régimen de mareas, corrientes, oleajes, temperaturas, etc., servirán para explicar el fenómeno y su devenir en el tiempo.

Una futura interacción de sistemas de monitoreo en conjunto con mapas de sensibilidad, permitirán la elaboración de mapas de riesgo al momento de sucederse un evento de derrame.

Como **riesgo** se entiende a la pérdida esperada debido a una amenaza particular, para una zona de interés particular y un período de tiempo particular.

El riesgo de desastre es función del desastre propiamente dicho y de la cantidad de gente, caracterizada por sus grados de vulnerabilidad a esa amenaza específica, que se encuentra en el lugar y en el tiempo de exposición al evento de amenaza.

La **amenaza**, como factor externo del riesgo, es la potencial ocurrencia de un suceso, así sea de origen natural o antropogénico, que puede manifestarse en un lugar específico, con una intensidad y duración determinada. Mientras que el factor interno del riesgo, es entendido como la **vulnerabilidad**, y es el riesgo de un sujeto, objeto o sistema, expuesto a una amenaza, y que tiene relación directa con su disposición a ser dañado. Esto identifica las características de una persona o grupo y su situación, y que influyen su capacidad para anticipar, hacer frente, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza. Esto determinará el grado hasta el cual se está bajo riesgo ante un evento.

Finalmente, se recuerda el concepto de elementos o **zonas de exposición**, como los elementos presentes de la zona de estudio, en donde existen amenazas, y que por consiguiente están expuestas a experimentar pérdidas potenciales.

Modelo PAR y de Acceso

Se introduce una mención al modelo de Presión y Liberación (Pressure and Release o PAR) para entender el concepto de riesgo en términos de análisis de vulnerabilidad en situaciones de peligro (Figura 99).

Este modelo es un marco organizacional que delinea jerárquicamente los factores causales que constituyen las precondiciones para la ocurrencia de un desastre. La idea central, es que la intersección entre dos fuerzas que se oponen es lo que conforma al desastre. Estas dos fuerzas son los procesos que generan vulnerabilidad y por otra parte los eventos de peligro.

Más allá de lo expuesto, este modelo no provee un análisis preciso de las interacciones ambientales y sociales en el punto de presión. En (Wisner et al., 2004) se plantea que el análisis de un desastre debe explicar los diferentes grados de vulnerabilidad y de impacto vinculados a un desastre, es decir, el por qué afecta a determinados grupos de tal o cual manera. Para analizar con mayor precisión esta interacción, el modelo de Acceso se focaliza en qué es lo que sucede en el punto de presión entre el evento y los procesos sociales a largo plazo para exponer la línea causal en términos visuales.

El modelo de Acceso (Figura 99), precisamente busca evidenciar el nivel de acceso que una población tiene para reducir la vulnerabilidad y prevenir el evento de desastre. El

entender como la presión de esas fuerzas explica al riesgo servirá de hecho para reducirla.

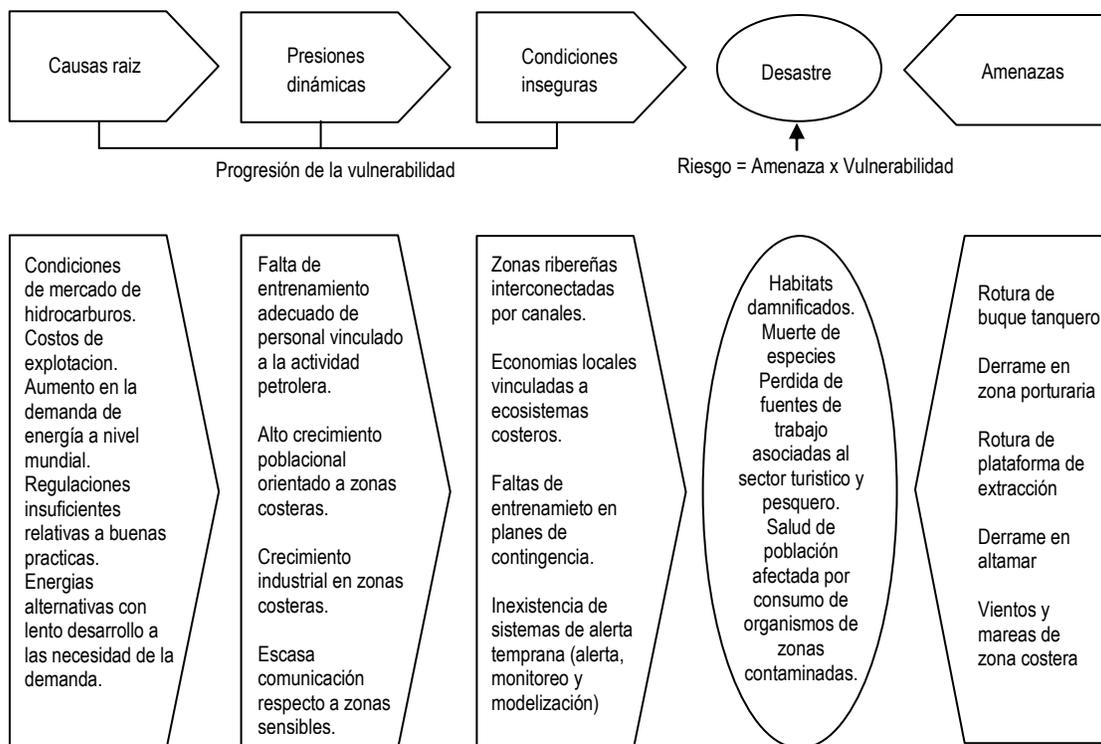


Figura 99 – Esquema del Modelo de acceso

Tanto las causas raíz, como las presiones dinámicas y las condiciones inseguras están sujetas a cambio, aunque es claro que algunos de los procesos implicados demandarán mas tiempo en relación a otros. En lo que respecta a causas raíz que darían lugar a mayor vulnerabilidad y que están relacionadas a legislaciones nacionales o internacionales, es claro que no demandará el mismo tiempo modificarlas que aquellos procesos por ejemplo, vinculados a la preparación de una comunidad o empresa para actuar ante un derrame dentro del marco de las presiones dinámicas.

La creciente demanda de energía y de materias primas está rápidamente agrandando la brecha entre los recursos disponibles y las futuras necesidades que los modelos de desarrollo actuales anuncian. El aumento de demanda energética obliga a las compañías y a los gobiernos a encontrar nuevos campos de exploración. En este contexto, zonas antes consideradas remotas, muchas sujetas a duras condiciones climáticas están comenzando a explorarse.

Bajo estos supuestos, se entiende como necesario el monitoreo de la actividad, que acosada por condiciones de mercado, sustentabilidad económica, costos y crisis energéticas puede dar lugar a una gestión de la actividad que atente contra las futuras generaciones, los ecosistemas, y el manejo sustentable de los recursos no renovables.

Las presiones dinámicas presentan varios factores, pero el crecimiento poblacional experimentado a lo largo de las líneas de costa es notable. Cerca de la mitad de la población mundial está localizada a menos de 60 kilómetros de la costa y podría llegar al

70% en el año 2020. En las zonas cercanas a las costas hay asimismo un activo crecimiento industrial. Las franjas costeras, donde desembocan ríos o aflora agua subterránea son, en general, una composición de ecosistemas conformados por humedales, lagunas costeras, marismas, manglares, tierras húmedas, hábitats de aguas dulces, estuarios y zonas ribereñas interconectados por canales y además son receptoras de material, agua dulce, sólidos disueltos, partículas y recursos vivos provenientes de los continentes (Escobar, 2002).

Reducción del riesgo



Figura 100 – Esquema de descompresión y reducción del riesgo

Protocolos claros: En lo que respecta a medidas tendientes a la liberación de la presión orientadas a reducir el riesgo, una posibilidad puede vincularse a la difusión y establecimiento de protocolos claros, entrenamiento adecuado a personal de organismos involucrados en la operatoria y el control (Prefectura Naval, Marina, tripulación de embarcaciones, personal de compañías petroleras, etc.) con el objeto de garantizar la mayor seguridad en las operaciones de abastecimiento de combustible, transferencias en y entre embarcaciones, operaciones de lastre, operaciones de sentinas⁵, entre otras (MRAG, 1999).

Áreas sensibles: Otro de los pasos ineludibles al momento de reducir el riesgo, es orientar las políticas para brindar condiciones más seguras de manera dirigida, evidenciando las áreas sensibles.

Para el caso particular argentino, la elaboración del Atlas de Sensibilidad de la Costa y Mar Argentino puede ser presentada como un punto de partida para entender la dinámica costera. Este proyecto, desarrollado por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, el Servicio de Hidrografía Naval y la Prefectura Naval Argentina, compila toda la información existente vinculada con la investigación en relación al mar argentino. Empezó a elaborarse en 2004 a partir de una necesidad identificada por el Estado Nacional, que se propuso conocer la situación de los ambientes marinos y costeros de la Argentina.

Entre otras capas de información el proyecto releva datos referidos a:

- Áreas de pesca de cefalópodos, de bivalvos y gasterópodos,
- Distribución de algunas especies importantes de algas bentónicas,
- Distribución de Aves y número de nidos, Mamíferos y Peces,
- Clorofila superficial anual,
- Principales áreas de acumulación de sedimentos,
- Salinidad superficial del mar, temperatura, oxígeno en superficie,

⁵ La sentina es el espacio en la parte más baja de la sala de máquinas, justo por encima de los doblefondos. Tiene por objeto recolectar todos los líquidos aceitosos procedentes de pequeñas pérdidas en tuberías, juntas, bombas que pudieran derramarse en ese espacio como consecuencia de la normal operación de la planta propulsora. Las aguas de sentinas son purificadas mediante separadores de materia oleosa y bombeadas al exterior en alta mar, quedando a bordo los productos contaminantes, conocidos con el nombre de slop y que son retirados en puerto para su tratamiento y eliminación.

- Distribución de alturas promedio de olas, y
- Áreas portuarias con riesgo de contaminación por hidrocarburos.

Caso de ejemplo: Reserva provincial Punta Tombo

Esta reserva, ubicada en el Centro-este de la Provincia de Chubut, sobre el Océano Atlántico, Dpto. Florentino Ameghino fue consolidada como tal, por el Decreto N° 1.222 del año 1979, con el objeto de proteger una de las colonias de aves marinas más diversas de la Argentina y la mayor colonia continental del Pinguino de Magallanes, con casi medio millón de individuos. Esta Reserva Natural tiene una superficie de 210 ha. Siendo una península rocosa de 500 metros de ancho promedio, y que se extiende hacia el mar aproximadamente 4 kilómetros.

Este Atlas costero provee una pormenorizada identificación de los habitats y especies expuestas a riesgo.

Como uno de los lugares del litoral patagónico más famoso es visitado por miles de turistas de todo el mundo con una afluencia de más de 60mil turistas al año. Esto, si bien es un factor positivo al desarrollo de la industria turística local, requiere un manejo cuidadoso para no afectar la fauna silvestre, presentado como un riesgo claro. Asimismo, el autor presenta como otro de los riesgos al provocado por contaminación con hidrocarburos por derrames de buques de transporte de petróleo y sus derivados.

Un pinguino empetrolado pierde inmediatamente la capacidad aislante de su plumaje, y al bajar su temperatura corporal se ve obligado a buscar refugio en las playas donde finalmente muere de hambre. También se intoxican al ingerir petróleo intentando limpiar su plumaje. Las actuales fuentes de contaminación por petróleo, principalmente el vaciado en alta mar del lastre de las centinas de los buques, el lavado de los tanques contenedores con agua de mar y otras prácticas asociadas al transporte de este producto.

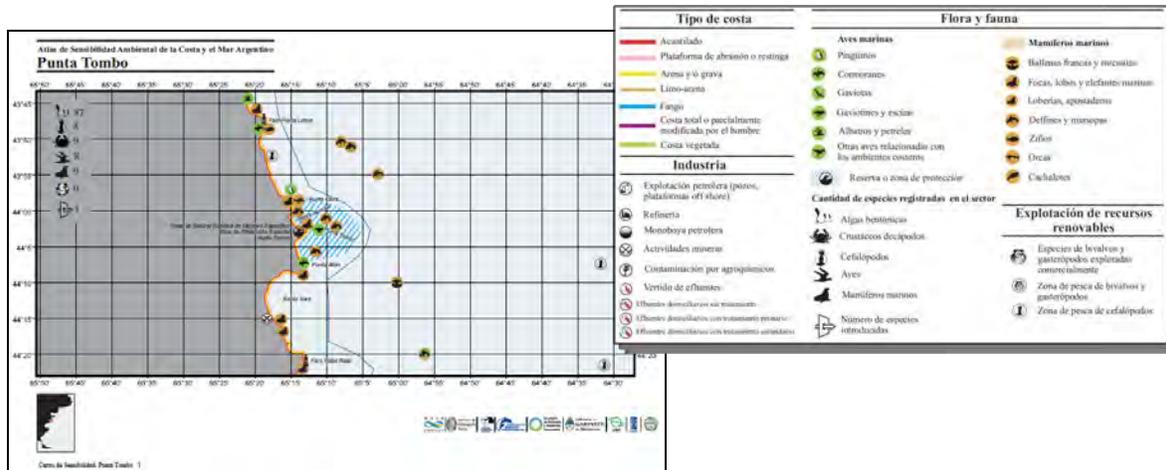


Figura 101 – Atlas de sensibilidad ambiental zona Punta Tombo
Fuente: Demetrio Boltovskoy. Atlas de Sensibilidad Ambiental de la Costa y el Mar Argentino

Sistemas de Alerta: Un sistema de alerta, monitoreo y modelado se entiende como un claro aporte a la reducción del riesgo.

Modelado

El modelado será fundamental para responder entre otras, a cuestiones tales como: cuales son las zonas de mayor probabilidad de impacto, el tiempo de llegada del vertido, si debe modificarse el tráfico marítimo, y establecer potenciales coordenadas de origen de

vertido de modo que llegue el contaminante a una zona de interés (Medina Santamaría, 2006).

Este tema en particular será abordado en el siguiente capítulo: “La Dinámica de un derrame y su Modelado”.

Monitoreo

Ya existen otras experiencias a nivel internacional que han puesto en práctica sistemas de monitoreo hacia áreas específicas. Programas desarrollados por ejemplo en la zona del Mar Mediterraneo, Mar del Norte y Mar Báltico (CLEANSEAS⁶, OILWATCH, ERS-1/2 SAR Exploitation Study in Catalonia y PRIMI, entre otros), que han operado en conjunto, sinérgicamente y por varios años, llegan a dar las bases para exponer en detalle la problemática del derrame y sus características locales (Figura 102).

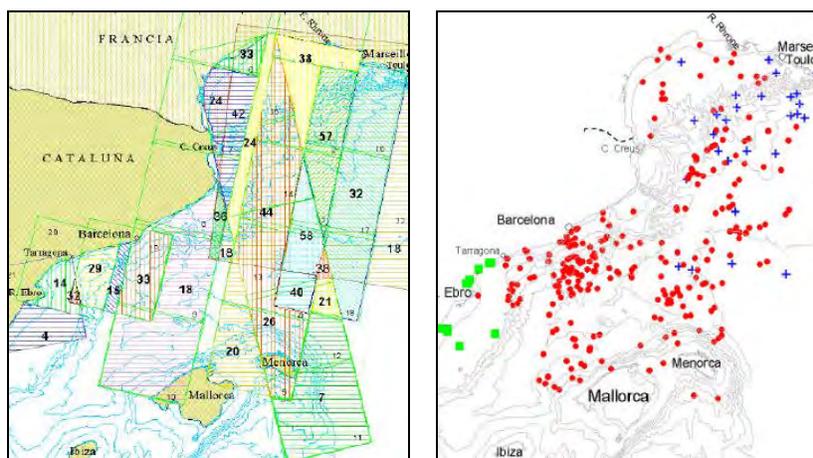


Figura 102 - Imágenes pedidas durante proyectos mencionados en zona costera española (izquierda) Manchas detectadas mediante imágenes las imágenes SAR requeridas (derecha) (Platonov y Redondo, 2003)

Aporte del SIASGE: El Sistema Italo-Argentino para la Gestión de Emergencias, conocido por sus siglas SIASGE, es un sistema diseñado especialmente para actuar en situaciones de crisis. Compuesto en su diseño por 4 satélites COSMO (banda X) y 2 SAOCOM (banda L), la órbita polar heliosincrónica de los ya lanzados COSMO-Skymed será compartida por el resto de la constelación (Figura 103), lo que permitirá identificar fenómenos complejos en relación al potencial de un producto “monobanda”.

Aporte del International Charter: Apunta a la provisión unificada de productos espaciales, de modo que una población afectada pueda disponer de los datos, por intermediación de usuarios autorizados. Las agencias espaciales intervinientes aportan sus productos, destinados a mitigar los efectos de los desastres sobre la población y el ambiente.

⁶ El proyecto CleanSeas fue realizado entre los años 1996 - 1999 con la participación de diferentes instituciones científicas internacionales (Centro Satellite Observing Systems, UK; Centro ACRI S.A., France; Ecole des Mines de Paris, France; Joint Research Centre, Italy; Southampton Oceanography Centre, UK; University of Hamburg, Germany; Universitat Politècnica de Catalunya, España) bajo la financiación de la Unión Europea. El objetivo principal de este complejo estudio fue evaluar el papel sinérgico y las capacidades predictivas y estadísticas de diferentes satélites medioambientales en la monitorización de la contaminación marina. Se realizó una comparación de diversos aspectos detectables de la contaminación en tres áreas diferentes pertenecientes al espacio marino de la UE, el Mar del Norte, el Mar Báltico y el Mediterráneo Noroccidental. También fue importante el desarrollo de los métodos de procesamiento y análisis de datos obtenidos, así como el estudio de modelos hidrodinámicos aplicados a las condiciones locales (Jolly et al., 2000; Platonov y Redondo, 2003)

Ante un evento de derrame, un director de proyecto será el encargado de la elaboración de productos ya estipulados, en función de la información espacial disponible. Entre ellos están la localización del derrame, su extensión, las áreas potenciales de impacto, la infraestructura sensible de impacto, entre otros.

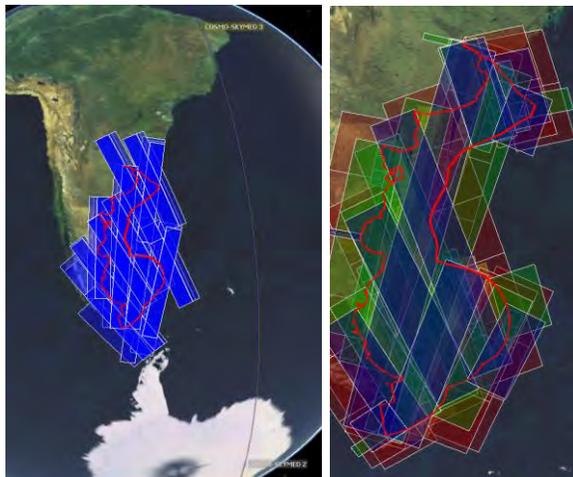


Figura 103 - Simulación de coberturas de productos SIASGE disponibles ante un potencial evento (aplicación SAVOIR)

Alerta

Un estado de alerta se declara con el fin de tomar precauciones específicas, dada una probable y cercana ocurrencia de un evento adverso. El establecimiento de un sistema que canalice la activación de alarmas, y se sigan instrucciones específicas, se entiende como prioritario, presentándose como el punto de inicio de ejecución de un protocolo oportuno de actuación.

Orientándose a este objetivo, se ha personalizado a modo de ejemplo, una plataforma web dedicada a la denuncia descentralizada de alerta de derrames, descrita a continuación:

Del mismo modo que el monitoreo puede efectuarse de parte de un organismo centralizado, hoy pueden utilizarse herramientas que permiten dar soporte al llamado de alertas. Siendo detectados a tiempo mediante un control social, se favorece y enriquece la sinergia de un sistema de monitoreo de este tipo de eventos. Y la descentralización de llamados de alerta se presenta como una alternativa de uso eficaz.

Para esto, se ha utilizado la plataforma diseñada bajo estándares de software libre Crowdmapp/Ushahidi.

PLATAFORMA DE DENUNCIA

Se recurre para su implementación de la plataforma Ushahidi (Figura 104), la que a partir de un prediseño de visualización y mapeo interactivo, permite la configuración de las particularidades de un evento de derrame.

INICIO **EVENTOS** **NUEVO EVENTO** RECIBIR ALERTAS CONTACTO REFERENCIAS

Nuevo Evento

Titulo del Evento

Descripción

Fecha y Hora: Hoy a las 3:36 am (America/Argentina/Buenos_Aires) [+ Modificar Fecha](#)

Categorías

- Antropogenico
 - Crudo liviano o ligero
 - Crudo medio o mediano
 - Crudo pesado
 - Crudo extrapesado
- Falsa Alarma
- Natural

Prioridad de Atención *
 Alta Media Baja

Impacto ecológico
 Verificado Sin verificar

Se ha contactado con agencias ambientales?
 Si No

Dimension estimada (hectareas)

observacion:

Información Opcional

Nombre

Apellido

Correo Electrónico

Encuentre una ubicación cerca de usted
 Seleccionar una Ciudad ▾

Ubicación precisa
 Ej: Piso, no. de puerta, referencia, etc.

Enlace a fuente de Noticias

Enlace a Video

Subir Fotos
 Seleccionar +

Enviar

Figura 104 - Funcionalidad de Denuncia de Eventos de derrame

Parte de la información que se demanda para la activación del Charter Internacional mencionado líneas atrás puede incorporarse y ser de ayuda y soporte al potencial Project Manager asignado al evento.

A continuación se describen las funcionalidades de la plataforma:

- **Denuncia:** Se dispone de un área de denuncia de un evento, dando coordenadas, o mediante una señalización por medio de un mapa. Al mismo tiempo, se le cargarán en caso de disponerse, medios gráficos o visuales de referencia que

atestiguen lo denunciado, el tipo de derrame (o apreciación del denunciante), la magnitud, la prioridad (subjetiva) con que el denunciante entiende que el reclamo debe ser atendido, y si el mismo ya se ha contactado con organismos ambientales (Figuras 104 y 105).



Figura 105 - Ejemplo de Denuncia de derrame: caso Magdalena – provincia de Buenos Aires

Esta acción puede ser activada desde el mismo sitio, mediante un envío de correo electrónico, o a través del “hashtag” #alertaderrame de la red social Twitter, lo que le da un potencial evidente de fácil acceso.

Las denuncias asimismo, tienen la posibilidad de ser señaladas como aprobadas y/o verificadas por parte del administrador, lo que le permite mantener un registro controlado de lo ingresado a la plataforma.

- **Visualización:** Se cargan por parte del administrador del sistema, una serie de capas de información que serán de utilidad al momento de la vinculación por parte del denunciante y/o del analista el potencial impacto, devenir, u origen del evento. Entre estas capas, se han incluido las especies que forman parte del Atlas de Sensibilidad mencionado en párrafos previos, como así también las zonas de explotación, plataformas de extracción, y demás datos de interés (Figura 106).
- **Zonas de alerta:** En esta sección el usuario tiene la posibilidad de señalar una zona de interés, de la que recibirá notificaciones en cada momento en el que sean denunciadas alertas. En la Figura 107 se pone como ejemplo, la delimitación de una zona de interés circundante a las plataformas de extracción en las Islas Malvinas. Esta funcionalidad, puede presentarse como de gran interés para un seguimiento sobre áreas protegidas, monitoreos de agencias de ambiente, Prefectura Naval, etc.

espacio marítimo argentino

monitoreo y alerta de derrames de hidrocarburos

usuario [Salir]

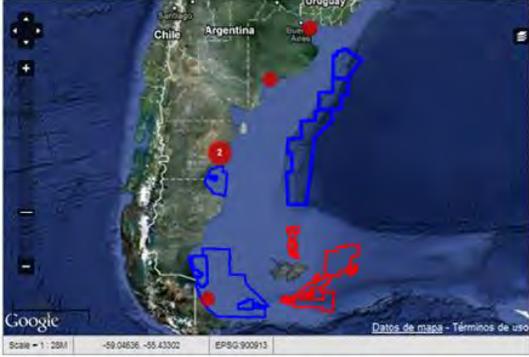
Español (AR)

➤ NUEVO EVENTO

INICIO | EVENTOS | NUEVO EVENTO | RECIBIR ALERTAS | CONTACTO | REFERENCIAS

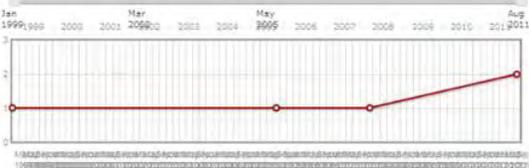
FILTROS * **EVENTOS** | NOTICIAS | FOTOS | VIDEO | TODO

FULL SCREEN MAP



Scale = 1:28M | -59.04536, -55.43302 | EPSG:900913 | Datos de mapa - Términos de uso

De: Jan 1999 | Para: Aug 2011 | Comenzar



* FILTRO DE CATEGORÍAS [OCULTAR]

- TODAS LAS CATEGORÍAS
- FALSA ALARMA
- NATURAL
- ANTROPOGENICO**
 - CRUDO LIVIANO O LIGERO
 - CRUDO MEDIO O MEDIANO
 - CRUDO PESADO
 - CRUDO EXTRAPESADO

* OTRAS CAPAS [OCULTAR]

- MAR ARGENTINO
- PLATAFORMAS Y MONOBOYAS
- MERLUZA AUSTRAL
- MOLUSCOS
- BUQUES PETROLEROS
- ZONA DE EXPLORACION E1
- ZONA DE EXPLORACION CGSJM-1
- ZONA DE EXPLORACION E2

Cómo Crear un Evento

- Enviando un Correo Electrónico a alertaderrame@gmail.com
- Enviando un Tweet con el/los hashtag/s **alertaderrame**
- Completando un Formulario

Eventos (de el mapa anterior listados cronológicamente)

TÍTULO	UBICACIÓN	FECHA
Monte Hermoso	monte hermoso	Aug 22 2011
Algas	tierra del fuego	Aug 20 2011
derrame Caleta Cordova	caleta cordova, chubut	Dec 28 2007
Puerto Madryn	puerto madryn	Aug 22 2005
derrame de Magdalena	magdalena, buenos aires	Jan 15 1999

[Ver más](#)

Noticias

TÍTULO	FUENTE	FECHA
Flood in Niigata, Japan	Disasters Chart...	Aug 28 2011
Landslide in Seoul and Chuncheon, Rep. of...	Disasters Chart...	Aug 28 2011
Puyehue volcano in Chile and Argentina	Disasters Chart...	Aug 28 2011
Flood in Colombia	Disasters Chart...	Aug 28 2011
Fire in the Province of Alberta, Canada	Disasters Chart...	Aug 28 2011
Flood in Central Midwest, USA	Disasters Chart...	Aug 28 2011
Flood in Niigata, Japan	Disasters Chart...	Aug 28 2011
Landslide in Seoul and Chuncheon, Rep. of...	Disasters Chart...	Aug 28 2011
Puyehue volcano in Chile and Argentina	Disasters Chart...	Aug 28 2011
Flood in Colombia	Disasters Chart...	Aug 28 2011

[Ver más](#)

Inicio | Nuevo Evento | Recibir Alertas | Contacto

seguimiento de derrames de petróleo en el Mar Argentino | Capítulo Anexo Maestros

Feedback

POWERED BY THE Ushahidi PLATFORM

Figura 106 - Inclusión de capas de información útiles al denunciante y/o analista del evento

Recibir Alertas

Paso 1: Seleccione su ciudad o ubicación:

O, ubique un lugar en el mapa siguiente, y vamos a avisarle cuando un evento ha sido enviado en 20 kilómetros a la redonda



Paso 2: Enviar alertas a mi:

Dirección de correo electrónico:
ingrese dirección de correo electrónico

Paso 3 (Opcional): Seleccione categorías

Antropogenico Natural

- Crudo liviano o ligero
- Crudo medio o mediano
- Crudo pesado
- Crudo extrapesado
- Falsa Alarma

Enviar

Confirmar un pedido de alertas

Boletines RSS (copie la siguiente URL)

 <http://marargentino.crowdmap.com/feed/>

* Si no puede encontrar su ubicación, por favor haga click en el mapa para seleccionar la ubicación correcta.

Figura 107 - Definición de áreas de interés

Finalmente, desde la plataforma se ofrece la posibilidad de generar reportes de eventos en detalle, sus estados de verificación y aprobación, y un informe estadístico por tipo de producto (Figuras 108 y 109).

Ver Reportes [Crear Reporte](#) [Comentarios](#) [Descargar Reportes](#) [Subir Reportes](#)

Mostrar Todos/as Esperando Aprobación Esperando Verificación

Detalles del Reporte	Fecha	Acciones
<input type="checkbox"/> derrame Caleta Cordova Un derrame de petróleo manchó las aguas y al menos dos kilómetros de la costa de Caleta Córdoba, en la provincia de Chubut... Más <small>Ubicación: caleta cordova, chubut, Argentina Enviado Por vía WEB</small> <small>Categorías: Crudo medio o mediano</small> Registro de ediciones: (2)	2007-12-28	Aprobar Verificar Borrar

Figura 108 - Reportes ingresados

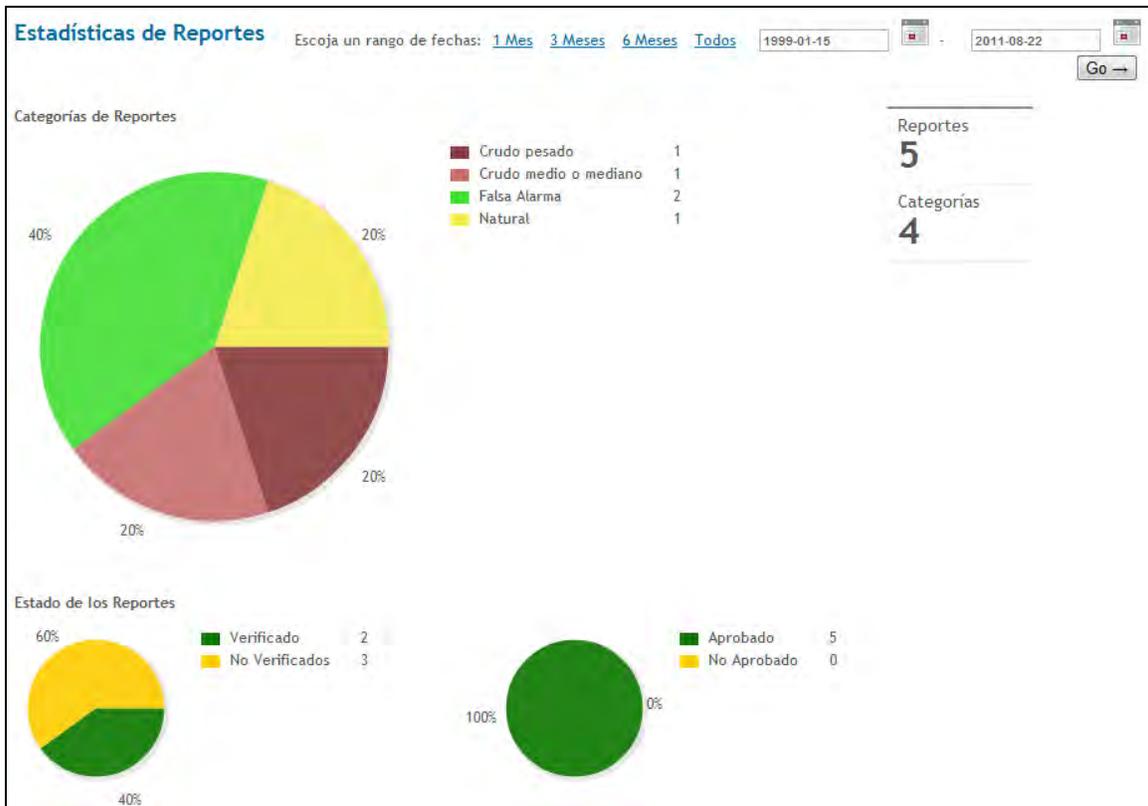


Figura 109 - Estadística de reportes

CAPITULO 7. La Dinámica de un derrame y su Modelado

Dinámica de un vertido de hidrocarburos

El petróleo vertido se va extendiendo en una superficie cada vez mayor hasta llegar a formar una capa muy extensa, con espesores de sólo décimas de micrómetro. Se ha comprobado que 1 metro cúbico de petróleo puede llegar a formar en hora y media una mancha de 100 metros de diámetro y 0,1 mm de espesor.

Una gran parte del petróleo (entre uno y dos tercios) se evapora. El petróleo evaporado es descompuesto por foto-oxidación en la atmósfera y del crudo que queda en el agua:

- una parte sufre foto-oxidación;
- otra parte se disuelve en el agua, siendo esta la más peligrosa desde el punto de vista de la contaminación, y
- lo que queda forma una emulsión gelatinosa de agua y aceite que se convierte en bolas de alquitrán densas y con aspecto asfáltico.

El efecto y dinámica del contaminante dependerá de varios factores:

- tipos de petróleo,
- cantidad liberada,
- distancia del sitio de liberación desde la zona costera,
- época del año,
- temperatura del agua,
- clima, mareas y corrientes oceánicas, entre otras.

Entender la dinámica será de importancia al momento de conocer la cobertura y resolución temporal de los productos satelitales disponibles para su monitoreo, entendiendo que solo es posible su identificación cuando el vertido esta aún sobre la superficie del cuerpo de agua, por lo que la clasificación debe hacerse apenas después de la generación de la mancha.

Etapas de esta dinámica: Durante el transcurso de un derrame, y al primer contacto de este con el medio marino, se inician distintos procesos de transformación (Figura 110). El desarrollo y duración de estos procesos depende en particular de las propiedades del hidrocarburo en cuestión y de las condiciones ambientales.

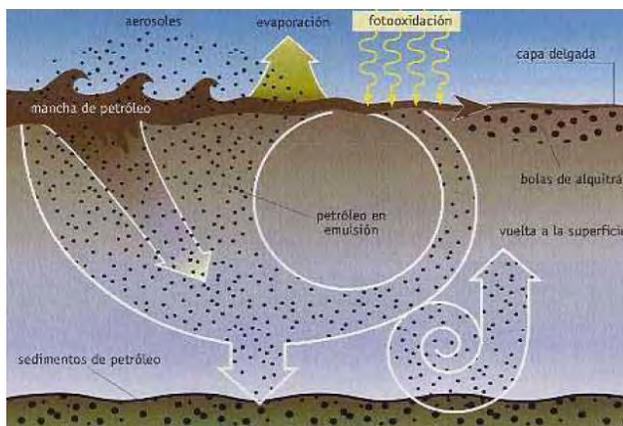


Figura 110 - Dinámica del derrame

- 1. Propagación:** Siendo la primera en ocurrir después del derrame, esta etapa está afectada por la cantidad y viscosidad del tipo de hidrocarburo. A pocas horas la mancha comienza a disgregarse y forma líneas paralelas a la dirección del viento (Pellemans et al., 1995; Reed et al., 1999). Seguidamente queda bajo control de los vientos, de la acción de las olas y de las turbulencias. Las manchas pueden propagarse sobre varios kilómetros cuadrados en pocas horas, y sobre varios cientos en cuestión de días, dependiendo del flujo de la fuga. Su transporte ocurre respondiendo a influencias de las fuerzas de gravedad, controlado por la viscosidad del hidrocarburo y la tensión de la superficie del agua. Solo 10 minutos después de un derrame de una tonelada de petróleo, el hidrocarburo se dispersa a lo largo de un radio de 50 metros, formando una mancha de 10mm de espesor. La mancha se vuelve más fina, hasta menos de 1mm a medida que el aceite se va dispersando hasta alcanzar 12km^2 (Ramade, 1978). En el caso de las filtraciones naturales el flujo no es lo suficientemente grande como para que la misma se propague por largas distancias (Pellemans et al., 1995).
- 2. Evaporación:** La tasa de evolución de esta etapa está vinculada a la volatilidad del producto y a las condiciones ambientales (temperaturas, velocidad de vientos) (Nirchio et al., 2005). Vientos fuertes y temperaturas cálidas afectarán la tasa de evaporación de manera significativa. La propagación influye también en esta etapa, ya que al crecer la superficie se incrementará la tasa de evaporación.
- 3. Dispersión:** Las manchas, con la ayuda de las turbulencias del mar y las olas, comienzan a disgregarse en gotas, a pesar de que algunas se mantienen en suspensión, las más grandes caen por debajo de la superficie en donde se acoplan con otras. El incremento del área de dispersión dará inicio a otros procesos. Y los principales factores que afectarán a esta tasa de dispersión estarán vinculados a la naturaleza del hidrocarburo, el estado del mar, y las variaciones que esto generan en la viscosidad del petróleo derramado (Pellemans et al., 1995).
- 4. Disolución:** La mayoría de los componentes son solubles en agua hasta un cierto grado (especialmente los hidrocarburos de bajo peso molecular alifático y aromático). Algunos componentes formados como resultado del proceso de oxidación de algunas fracciones de petróleo en el agua también se disuelven en el mar. Comparado con el proceso de evaporación, la disolución lleva más tiempo. Las condiciones hidrodinámicas y fisicoquímicas en la superficie del agua afectan en gran parte este proceso.
- 5. Emulsificación:** La emulsificación del petróleo en el ambiente marino depende de la composición y el régimen de turbulencias de las masas de agua. Las emulsiones más estables, como agua en petróleo contienen de 30% a 80% de agua. Usualmente aparecen después de tormentas fuertes en zonas de derrames de crudos pesados con un contenido elevado de fracciones no volátiles. Pueden perdurar en el ambiente marino por alrededor de 100 días en formas típicas parecidas a texturas "mousse" de colores marrones. La estabilidad de estas emulsiones usualmente se ve incrementada con el

decrecimiento de la temperatura. Este proceso puede ser demorado con la ayuda de emulsificadores (que normalmente se utilizan para ayudar a remover los derrames). Estos emulsificadores, ayudan a estabilizar las emulsiones y promueven la dispersión del hidrocarburo hacia la formación de gotas microscópicas, lo que acelera la descomposición de los productos del petróleo en la columna de agua.

6. **Oxidación:** Las transformaciones químicas del petróleo en la superficie y en la entera columna de agua comienzan a notarse después de un día desde que el petróleo entra al ambiente marino. Con frecuencia involucran reacciones fotoquímicas bajo la influencia de ondas ultravioletas del espectro solar. Estos procesos son catalizados por algunos elementos y demorados por componentes de sulfuros. Las reacciones de fotooxidación, inician la polimerización y descomposición de la mayoría de las moléculas complejas de la composición del hidrocarburo, lo que incrementa su viscosidad y promueve la formación de agredados sólidos de petróleo (GESAMP, 1977, 1993).
7. **Sedimentación:** Parte del petróleo (que puede alcanzar de un 10 a un 30%) es absorbido en el material suspendido y depositado en el fondo. Esto pasa mayormente en zonas costeras donde las partículas son abundantes y el agua está sujeta a intensos cambios. En zonas de mayor profundidad, lejanas a la costa, la sedimentación del petróleo es un proceso extremadamente lento (a excepción de aquellas fracciones más pesadas). Simultáneamente, sucede el proceso de biosedimentación. El plankton y otro tipo de organismos absorben el petróleo emulsificado. Lo sedimentan sobre el fondo, y las formas suspendidas y sus componentes se someten a una intensa descomposición en la columna de agua. Sin embargo, esta situación cambia de manera radical cuando el petróleo suspendido alcanza el fondo del mar. Estudios de campo, muestran que la tasa de descomposición sobre el fondo cae abruptamente. El proceso de oxidación decae, y sobretodo bajo condiciones anaeróbicas, y las fracciones más pesadas acumuladas en los sedimentos pueden preservarse por muchos meses, e incluso años.
8. **Biodegradación:** El destino de la mayoría de las sustancias del petróleo en el ambiente marino se define últimamente por la transformación y degradación a causa de la actividad microbial. Cientos de especies de bacterias y hongos son capaces de utilizar los componentes de los hidrocarburos para su crecimiento y metabolismo. El grado y tasas de biodegradación dependen de la estructura de las moléculas. Mientras que los compuestos de parafinas se degradan más rápido que los aromáticos y nafténicos. Más allá de lo expuesto, las tasas de degradación dependerán del estado físico del hidrocarburo y del grado de dispersión. El factor ambiental más importante que influencia su biodegradación es la temperatura sumado a las concentraciones de nutrientes y de oxígeno, y la abundancia de microorganismos. Esta confluencia de factores es compleja siendo la interpretación y comparación de datos disponibles sobre tasas de degradación algo de difícil elaboración.

Como resultado de los procesos descritos, el hidrocarburo en el medio marino va perdiendo sus propiedades originales desintegrándose en fracciones de diferente composición química, y lentamente van encontrando equilibrio con los parámetros ambientales. La purificación por sí misma en el ambiente marino sucede en todo ecosistema acuático, siempre que no exceda límites aceptables (Patin, 1999).

Modelización

En la actualidad existen una serie de modelos disponibles para la gestión de derrames, y la mayoría apunta hacia:

- La predicción del cambio del vertido de acuerdo a su contacto con el ambiente,
- La estimación de las zonas de mayor probabilidad de impacto,
- La identificación de áreas vulnerables,
- La evaluación de los efectos de limpieza ante distintos tipos de eventos y productos,
- El cálculo del tiempo de llegada del vertido hacia zonas costeras,
- La evaluación y potencial modificación del tráfico marítimo,
- El establecimiento de potenciales coordenadas de origen de vertido (Medina Santamaría, 2006; Egberongbe et al., 2006).

Las trayectorias que un derrame de hidrocarburos pueda llevar pueden ser estimadas aproximadamente mediante la combinación de datos de vientos y corrientes, entre las variables más significativas.

Históricamente, esto se ha realizado adicionando puntos en cartas náuticas en donde se calculaban las predicciones de movimiento.

Ya con el aumento de las capacidades de la informática actual, la modelización mediante algoritmos más complejos logra estimar con mayor precisión el comportamiento y destino del vertido, siendo numerosos los modelos que se han desarrollado durante los últimos años, variando en complejidad, facilidad de utilización y acceso, y aplicabilidad a ambientes locales particulares.

Modelo	descripción	Desarrollador
ADIOS Automated Data Inquiry for Oil Spills	Es un modelo para la evaluación de los cambios en las características del vertido al contacto con el ambiente. El mismo cuenta con una base de datos de las propiedades de más de 1000 tipos de crudos y productos refinados.	NOAA
GNOME General NOAA Operational Modeling Environment	Modelo para la predicción de trayectorias, estimando su comportamiento en función de vientos y corrientes. Incorpora asimismo en su modelización escenarios más y menos probable.	NOAA
SIMAP Integrated Oil Spill Impact Model System	Modelización de trayectorias en 3 dimensiones, destinos, impactos y efectos biológicos del vertido.	Applied Science Associates, Inc. (ASA)
OILMAP Oil Spill Model and Response System	Provee de rápidas predicciones del movimiento del vertido, incluyendo procedimientos gráficos en 2 y 3 dimensiones.	Applied Science Associates, Inc. (ASA)
HYDROMAP Hydrodynamic Modeling System	Genera predicciones de corrientes para zonas costeras	Applied Science Associates, Inc. (ASA)
PRIMI Progetto pilota Inquinamento Marino da Idrocarburi	Sistema modular orientado a la detección de derrames con imágenes ópticas y SAR, brindando pronóstico de trayectorias mediante modelación numérica.	ASI, eGeos, CNR, INGV, ENEA, ACS, INNOVA.
MIKE Hydrodynamic model (11, 21, 3)	Simulaciones hidrológicas, transporte de sedimentos en estuarios, ríos y zonas costeras en 2 y 3 dimensiones.	DHI Water & Environment
AQUASEA Surface water and contaminant transport model	Software para la resolución de ecuaciones de flujo y transporte utilizando el método de elementos finitos Galerkin.	Scientific Software Group
MARS AIS Marine SAR Analysis and Interpretation System	Sistema integral de procesamiento y extracción de información de datos de observación de la tierra. Genera mediante algoritmos y modelos productos costeros relativos a corrientes, oleajes y estados del mar. Modelización de transporte y transformación química de derrames.	Módulo de derrames: National Centre for Marine Research (NCOMR)
CWR-ELCOM Centre for Water	Modelo tridimensional para la predicción de velocidades, temperaturas, y distribución de	Center for Water Research (CWR)

Research Estuary and Lake Computer Model	salinidad en cuerpos naturales de agua sujetos a influencias de vientos, entre otros.	
DISMAR Data Integration System for Marine Pollution and Water Quality	Sistema de información para el monitoreo y predicción del ambiente marino para dar soporte a la gestión en eventos de contaminación en zonas costeras y oceánicas.	Information Society technologies (IST)
ARGUS RiverFLO-2D Hydrodynamic model for rivers	Modelo hidrodinámico de ríos, mediante elementos finitos.	Argus Holdings, Ltd.
CHEMMAP Chemical Discharge Model System	Modelo para la predicción de trayectorias, impactos, y efectos biológicos de una variada base de datos de sustancias químicas	Applied Science Associates, Inc. (ASA)
COZOIL Coastal Zone Oil Spill Model	Modelo para la predicción de trayectorias y destinos de un derrame en el ambiente marino, haciendo énfasis en zonas costeras.	National Technical Information Service (NTIS). U.S. Department of Commerce
MOTHY	Modelo para la predicción de transporte de contaminantes sobre la superficie oceánica. Este sistema incluye la modelación hidrodinámica de zonas costeras oceánicas si bien no toma en cuenta el comportamiento oceánico 3D.	Centre National de Prévisions de Météo-France
Trajectory Analysis Planner TAP	Análisis de trayectorias e identificación de zonas costeras de impacto, en función de batimetría, corrientes, vientos, y perfiles costeros.	NOAA
OD3D Oil Drift Model		Norwegian Meteorological Institute
Dispersant Planner	Modelo para la planificación e implementación de un programa efectivo de dispersantes, evaluando las relaciones entre vertidos y dispersantes, ante distinto tipo de escenarios.	National Technical Information Service (NTIS). U.S. Department of Commerce
U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastwatch Program	http://coastwatch.noaa.gov/COASTWATCH/	NOAA
U.S. NOAA National Ocean Service	http://oceanservice.noaa.gov/	NOAA
U.S Environmental Protection Agency (EPA) Oil Spill Program	http://www.epa.gov/oilspill/	U.S. Environmental Protection Agency

Tabla 17 - Modelos existentes para el monitoreo, seguimiento y predicción del movimiento de derrames

Dentro de los modelos existentes existen dos categorías:

- modelos que estiman o predicen los cambios en las características del vertido a lo largo del tiempo bajo determinadas condiciones ambientales.
- modelos que además de evaluar cambios en el perfil del vertido estiman su desplazamiento en el tiempo.

Modelos de perfiles de vertido: Los parámetros contemplados que afectarán el perfil de la mancha serán, entre otros, la temperatura del agua, la velocidad del viento, la altura de las olas, el estado del mar y la salinidad de las aguas en donde se encuentra el vertido. Uno de este tipo de modelos es el ADIOS (Automated Data Inquiry for Oil Spills⁷), desarrollado por la NOAA, que tiene en cuenta una amplia base de datos con las características de distintos tipos de crudos.

Para el caso en particular de los vinculados a Argentina, el modelo incluye entre otros, los siguientes tipos:

Nombre de crudo	API
Cañadón Seco	26.3
Escalante	23.6
Medanito	35.1
Rincón de los Sauces	36.1
Santa Cruz	48.1
Tierra del Fuego	44.5

Tabla 18 – Perfiles de crudo vinculados a Argentina

⁷ La base de datos de ADIOS fue compilada de una serie de fuentes incluyendo Dept.Ambiente Canada, el Departamento de Energía de Estados Unidos, La International Oil Companies' European Organization for Environmental and Health Protections (CONCAWE), y de la misma industria. En la misma se incluye información relativa a ubicación, densidad, viscosidad, análisis de grupos de hidrocarburos, datos de destilación, entre otros. Asimismo, esta base puede personalizarse de acuerdo a hidrocarburos específicos.

El petróleo se clasifica en petróleos livianos, medianos, pesados o extrapesados, en función a la **gravedad API**. Esta es una medida definida por la industria petroquímica norteamericana a través de la American Petroleum Institute y es utilizada por la industria del petróleo en general determinada por la ecuación: $API \text{ a } 16^{\circ}C = 141.5 / \text{densidad} - 131.5$.

Cuanto más ligero es un crudo, mayor es su número de °API. Los valores del peso específico relativo en °API para los crudos normales oscilan entre 5 a 60 °API. En general, los crudos ligeros poseen un peso específico elevado en °API, pequeña viscosidad, escasa tendencia aditiva y alta tendencia a emulsificarse.

Lo inverso ocurre para los crudos pesados. Al agua (en donde se inicia la escala de valores de la densidad expresada en grados API), le pertenece un valor de 10 °API. Los grados API se utilizan asimismo para determinar el precio de un crudo determinado, dado que cuanto mayor sea el valor en °API, mayor es la proporción de crudo utilizable, principalmente en fracciones ligeras (nafta, nafta ligera, etc).

La escala que nace de la gravedad API provee una mejor distinción entre los diferentes tipos de aceites, siendo la agrupación resultante la siguiente:

Grupo	Clasificación	°API	Densidad (Kg/m ³)
I	gasolinas	-	-
II	crudo liviano, diesel	°API > 31,1	<870
III	crudo mediano	22,3 > °API < 31,1	920-870
IV	crudo pesado, residuales	10 > °API < 22,3	1000-920
V	crudo extra-pesado	°API < 10	>1000

Tabla 19 – Clasificación de hidrocarburos según grados API

Los procesos que el modelo ADIOS ha incorporado tienen que ver con la dispersión, evaporación, emulsificación, extensión, entre otros.

Las predicciones son elaboradas para un máximo de 5 días, dado que para períodos de tiempo más prolongados comienzan a interactuar otros procesos como la biodegradación y la fotooxidación que el mismo no analiza.

Para ese período de tiempo, las variables ambientales como la temperatura del agua, la velocidad del viento, entre otras, servirán en vinculación con la base de datos, para la estimación de los porcentajes evaporados, emulsificados, y dispersados en agua.

Nota: este modelo al no tener en cuenta el movimiento del vertido no incluye el pronóstico de lo arribado a costas. Sin embargo estos valores, siendo obtenidos por otros medios, pueden ser agregados a la modelización. De esta manera, estos volúmenes serán extraídos del total en flotación.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de este modelo, sobre un potencial vertido en zonas de Tierra del Fuego (Figura 111 y 112):

Fecha:	01-Enero a 00:00 hs.
Cantidad:	100 barriles
Tipo de crudo:	Tierra del Fuego Shell Oil (API 44.5, PP -7°C, Viscosidad 8.9cSt a 0°C)
Condiciones de viento:	Constante a 135 grados a 15 m/s.
Condiciones del mar:	Temperatura 6°C, Salinidad 32ppt.

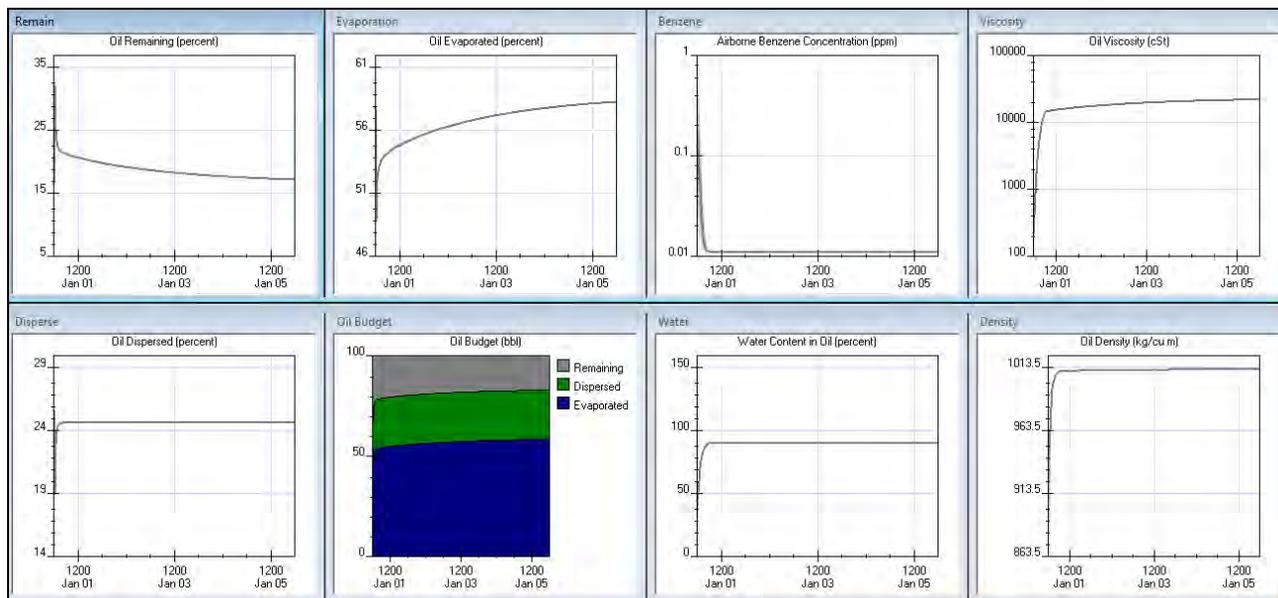


Figura 111 – Ejemplo de modelado de un potencial vertido en zonas de Tierra del Fuego – aplicación ADIOS

Oil Name = TIERRA DEL FUEGO, SHELL OIL
 API = 44.5 Pour Point = -7 deg C
 Wind Speed = constant at 15 m/s Wave Height = computed from winds
 Water temperature = 6 deg C
 Time of Initial Release = January 01, 0000 hours
 Total amount of Oil Released = 100 bbl

Date & Time	Released bbl	Evaporated percent	Dispersed percent	Remaining percent
Jan 01 0000	100	49	19	32
0100	100	53	24	23
0300	100	54	25	22
0500	100	54	25	21
0700	100	54	25	21
0900	100	55	25	21
1100	100	55	25	21
1700	100	55	25	20
2300	100	56	25	20
Jan 02 0500	100	56	25	19
1100	100	56	25	19
1700	100	57	25	19
2300	100	57	25	19
Jan 03 0500	100	57	25	18
1100	100	57	25	18
1700	100	57	25	18
2300	100	57	25	18
Jan 04 0500	100	58	25	18
1100	100	58	25	18
1700	100	58	25	18
2300	100	58	25	17
Jan 05 0500	100	58	25	17
1100	100	58	25	17
1700	100	58	25	17
2300	100	58	25	17

Figura 112 – Evolución de porcentajes evaporados, dispersados y remanentes de un potencial vertido en zonas de Tierra del Fuego – aplicación ADIOS

Modelos estocásticos: Estiman el lugar probable de impacto de un vertido para períodos de tiempo definidos. Para ello recurren a registros históricos de velocidades y direcciones de vientos. De acuerdo a distintas condiciones, esta modelización produce un resultado probable de áreas de impacto y el tiempo de arribo, lo que habilita la realización de planes de contingencia al estimar zonas de riesgo, en función de los cambios en el tiempo.

Modelos de sentido inverso: Son los que buscan estimar el origen del vertido analizando la trayectoria en sentido inverso (ITAC, 2007).

Modelos de trayectorias: Estos modelos predicen o estiman el movimiento de un vertido en el tiempo bajo ciertas condiciones hidrodinámicas y meteorológicas. Estiman asimismo el volumen dispersado, lo emulsificado y evaporado en el tiempo, y el potencial volumen de arribo a costas.

Entre este tipo de modelos, el GNOME es un modelo desarrollado por la NOAA que brinda las características mencionadas. Este da la posibilidad de experimentar con diferentes tipos de hidrocarburos y bajo diferentes condiciones ambientales.

Bajo el entorno GNOME, los “spots” o elementos Lagrangianos/Eulerianos representan al vertido en el modo de una colección de puntos.

Este modelo estima el movimiento del derrame de acuerdo a información por defecto del sistema y en función de información adicional que provee el usuario (vectores de corrientes y de vientos superficiales).

Para el caso de ejemplo (Figuras 113, 114 y Tabla 20), se ha cargado un mapa de costas, corrientes y vientos referidos al mar argentino.

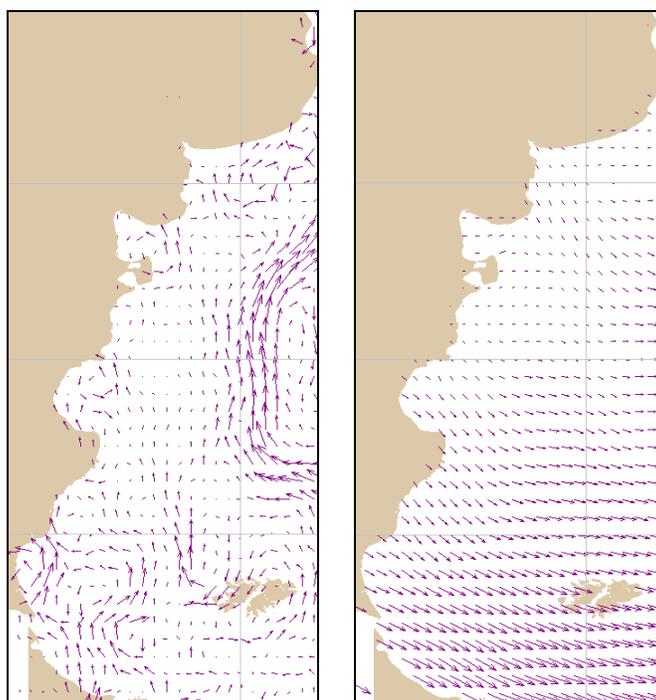


Figura 113 - vectores de corrientes (izquierda) – vectores de vientos (derecha)



Figura 114 - modelado de derrame en costas de la provincia de Santa Cruz

Detalle de escenarios de vertido de 1000 barriles de distintos tipos de hidrocarburos y evolución durante los primera semana:

Día	resultados estimados del total vertido	Crudo no afectado por ambiente	Gasolinas	Crudos medios	Diesel	Fuel Oil #6
1	en flotación	79.9%	3.5%	62.3%	51.3%	65.9%
	en costa	20.1%	0.9%	16.3%	13.0%	17.1%
	evaporado	0%	95.6%	21.4%	35.7%	17%
2	en flotación	68.3%	0.2%	49.7%	32.7%	50.7%
	en costa	31.7%	0.1%	20.1%	15.5%	25.6%
	evaporado	0%	99.7%	30.2%	51.8%	23.7%
3	en flotación	53.2%	0%	34.2%	20.4%	38.1%
	en costa	46.8%	0%	30.0%	18.5%	34%
	evaporado	0%	100%	35.8%	61.1%	27.9%
4	en flotación	36.3%		22.6%	11.3%	26.1%
	en costa	63.7%		38.0%	19.8%	44.1%
	evaporado	0%		39.4%	68.9%	29.8%
5	en flotación	28.3%		16.7%	7.9%	19.3%
	en costa	71.7%		41.6%	18.1%	49.4%
	evaporado	0%		41.7%	74.0%	31.3%
6	en flotación	20.9%		12.3%	4.9%	14.9%
	en costa	79.1%		44.5%	16.8%	52.8%
	evaporado	0%		43.2%	78.3%	32.3%
7	en flotación	16.1%		8.3%	3.3%	11.4%
	en costa	83.9%		48.2%	16.0%	56.1%
	evaporado	0%		43.5%	80.7%	32.5%

Tabla 20 – Detalle de escenarios según distintos tipos de vertidos y su evolución en la primera semana

Prácticas realizadas con diferentes tipos de vertidos a distintas distancias de la costa, a diferentes velocidades y direcciones de viento, y a diferentes velocidades y direcciones de corrientes, tornan de alta complejidad la evaluación a priori del impacto potencial sobre zonas costeras a largo plazo. Las predicciones de arribo a una zona costera específica, es claro, dependerán como se ha dicho de una gran cantidad de parámetros. La incorporación de información a escala de cuenca sobre corrientes, vientos, temperaturas y oleajes, será de suma importancia al momento de evaluar el impacto y deberán sin duda actualizarse diariamente.

A continuación, y para ejemplificar el riesgo al que se expone una predicción, se aplica el modelo mencionado sobre una serie de imágenes del derrame que en Abril de 2010 sucediera en el Golfo de México, en una plataforma de extracción de la British Petroleum, en donde 4,9 millones de barriles (equivalente a 780.000 m³) fueron vertidos sobre el mar (Figura 115).

En este caso se aplica el modelo partiendo de la imagen del 26 de Abril en donde se liberaban diariamente y de manera constante según fuentes oficiales, entre 1000 y 5000 barriles. Al modelo le fueron cargados los mapas de costa, corrientes y vientos diarios a una resolución de 1/10°.

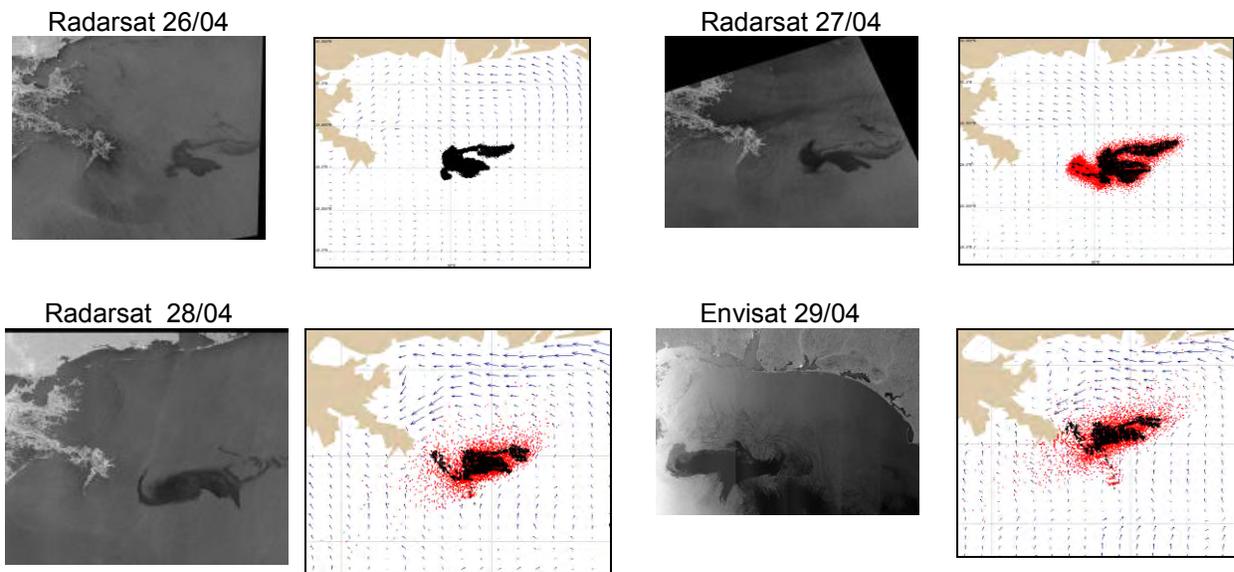


Figura 115 - Simulación de derrame

En los resultados generados por este modelo (Figura 116), los puntos negros indican el escenario de trayectoria mas probable, la mejor estimación. Para ello el sistema asume que los vientos son constantes de acuerdo a lo que se ingreso al inicio del modelo en terminos de velocidad y dirección, y que los datos de corrientes son los que expresan de manera mas precisa los patrones locales.

Los puntos rojos sin embargo representan una estimación regresión mínima mas significativa, teniendo en cuenta incertidumbre en la información de corrientes y de vientos. Normalmente se asume un cierto nivel de incertidumbre para este tipo de información, y se plantea desde el modelo que el vertido tiene hasta un 90% de probabilidades de que se mantenga dentro de esta area. Desde el mismo modelo se

plantea que mayor certeza no es posible lograr debido a lo poco que aún se conoce respecto a las incertezas en el pronóstico de vientos y corrientes. En este caso el resultado sin embargo sirve para expresar el resultado en términos de que la certeza es de un 90% de que el vertido no exceda los límites de lo obtenido por la regresión mínima.

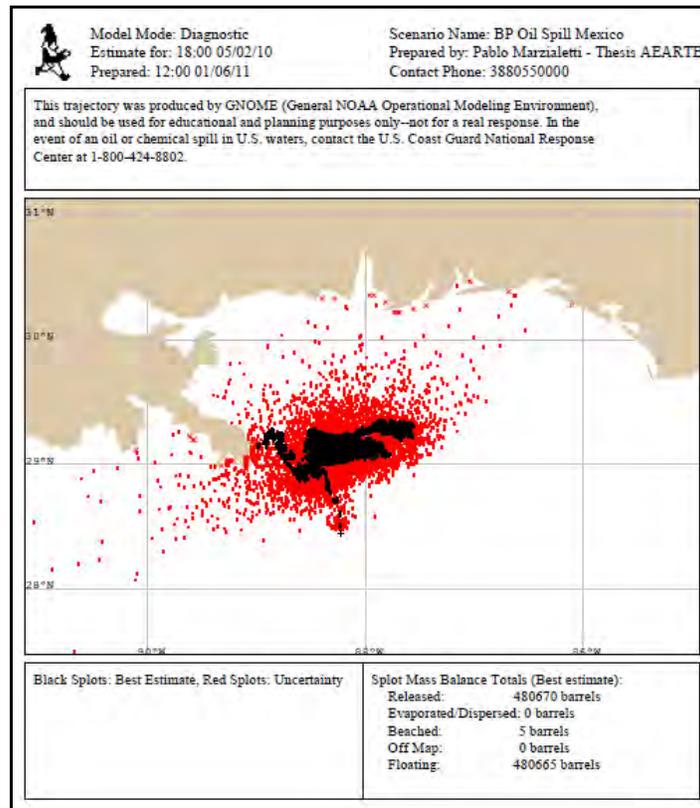


Figura 116 – Resultado de simulación – aplicación GNOME

Más allá de lo expresado, y en función de lo observado en el 4to. día de seguimiento, se pueden notar diferencias respecto a lo observado en la imagen, y esto puede tener origen no solo en la complejidad de los parámetros a los que está sujeto el evento y a los fenómenos ambientales y resolución de la información de corrientes y vientos, sino también a que el sistema tiene un límite de ingreso de vertido de 476 mil barriles. Asimismo, se desconoce el volumen total del vertido a la fecha de inicio de la modelización, por lo que se ha ingresado un vertido únicamente similar en términos de área. En (Wojtaszek, 2003) se plantea respecto a este modelo que los resultados de las trayectorias obtenidos están sujetos a errores. La documentación respecto a GNOME no describe las fórmulas matemáticas utilizadas. Asimismo, el modelo no permite la modelización hidrodinámica de manera directa. GNOME no es capaz de predecir efectivamente estimaciones a largo plazo y actualmente está siendo utilizado para la elaboración de pronósticos no superiores a 2 días, siendo uno de los impedimentos la incertidumbre propia de los pronósticos ambientales (Barker y Hodges, 2003; Hodges, 2003; NASA, 2004).

Desde las organizaciones dedicadas al monitoreo de este tipo de eventos se recomienda actualizar el modelo con los parámetros y con lo detectado de acuerdo a períodos de tiempo no superiores a 3 días, poniendo especial atención en los parámetros ambientales.

Para este caso en particular, incluso luego de darse definitivamente por sellada la fuga el 19 de Septiembre de 2010, los resultados dados por la NOAA, no son concluyentes respecto al remanente, y las estimaciones varían en el porcentaje total dispersado, evaporado y residual, lo que da una pauta de su complejidad (Tabla 21).

	Estimación	Alternativa 1	Alternativa 2
Recuperacion desde la boca de pozo	17%	17%	17%
Quemado en superficie	5%	5%	5%
Removido desde la superficie	3%	3%	3%
Dispersado quimicamente	8%	10%	6%
Dispersado de manera natural	16%	20%	12%
Evaporado o disuelto	25%	32%	18%
Remanente	26%	13%	39%

Tabla 21 – Resultados dados por NOAA respecto al fuga – 19-09-10

Implementación de modelado de transporte de vertido

Pocos modelos son capaces de simular la complejidad de los procesos que tienen lugar una vez que se produce el vertido, el proceso conocido como envejecimiento (Figura 117). Por otro lado y más allá de la complejidad propia del proceso, la información disponible es todavía insuficiente, en cuanto a los datos iniciales respecto al tipo de vertido y en cuanto a los parámetros de ajuste de los modelos que sirven para la validación de las simulaciones (Espino et al., 2002).

Los procesos involucrados son: Evaporación, Dispersión vertical y horizontal, Emulsificación, Disolución, Fotooxidación, Sedimentación, y Biodegradación, y cada uno incorporará márgenes de error en la estimación final.

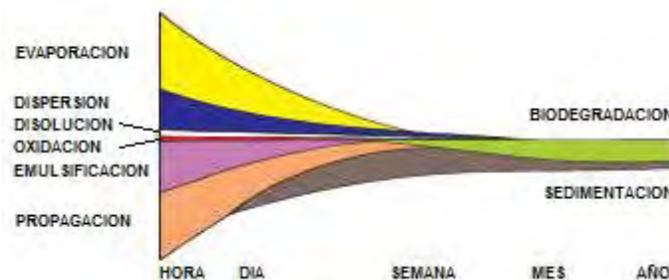


Figura 117 - Procesos de envejecimiento. Fuente ITPOF

El primero relativo a la evaporación es de importancia porque gran parte de los vertidos se evaporan en las primeras horas del evento. Productos mas refinados generalmente tienden a evaporarse más rápidamente que los pesados. Por ejemplo, a 15°C las gasolinas pueden llegar a evaporarse completamente en el transcurso de un período de 2

días, con similares condiciones ambientales y para crudos diesel se puede alcanzar un 80% de evaporación, un 40% para crudos livianos, y un 20% para crudos pesados. Este proceso se lleva a cabo durante los primeros 5 días, mientras que procesos como la biodegradación puede llevar desde semanas a meses (Evans, 2002).

La disponibilidad de una base de datos de las propiedades fisicoquímicas de los hidrocarburos será necesaria para analizar la degradación natural de cada tipo de vertido.

Pero mas allá de la complejidad que un modelo requiere para analizar a todos estas etapas, en un contexto de emergencia no todas tienen la misma significancia, siendo prioritario en una primera instancia el análisis de los procesos vinculados al transporte.

Dos son los procesos que transportan el vertido en el agua: la difusión y la advección.

Los vientos y las corrientes son los mecanismos que definirán el arrastre del derrame, y este movimiento puede estimarse como la suma vectorial de la deriva del viento y de las corrientes (Figura 118).

Un vertido no permanece en un lugar sino que es transportado a un 3% o 4% de la velocidad del viento superficial. Mientras que las mareas y las corrientes tienen mayor influencia en este transporte. La tasa de propagación y del espesor del vertido depende de las tensiones entre los componentes del crudo y la superficie del mar, la temperatura y la naturaleza del vertido.

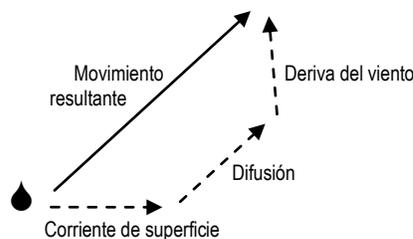


Figura 118 - Diagrama de vectores que explican el movimiento del vertido (Evans,2002)

La dinámica puede simularse mediante las ecuaciones de Navier-Stokes, de la siguiente manera (Tkalich et al., 2003):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial u_0 h}{\partial x} + \frac{\partial v_0 h}{\partial y} = 0$$

$$\rho_0 \varepsilon g h \frac{\partial h}{\partial x} = \tau_x + k(u - u_0) + \rho_0 f h v_0$$

$$\rho_0 \varepsilon g h \frac{\partial h}{\partial y} = \tau_y + k(v - v_0) + \rho_0 f h u_0$$

en donde u_0, v_0 son las velocidades de las partículas del vertido, $\varepsilon \equiv (\rho - \rho_0) / \rho$, siendo ρ la densidad del agua, ρ_0 la densidad del vertido, $\tau_x / k \approx 0.03U, \tau_y / k \approx 0.03V$ son las intensidades del viento, f la aceleración por el efecto Coriolis, k el coeficiente de fricción entre el agua y el vertido, g la aceleración por gravedad, u, v, w las velocidades del fluido en las direcciones x, y, z respectivamente, y U, V las velocidades del viento superficial en las direcciones x, y .

Para estudiar la deriva sera necesario disponer de los campos de de las velocidades de corrientes asociado a cada momento de la marea y para cada evento meteorológico como la dirección e intensidad del viento (Espino et al., 2002). Del mismo modo, la resolución temporal y espacial de los datos incorporados al modelo sera de importancia para determinar la exactitud de la predicción.

En este aspecto, el ingreso de datos a nivel regional o a menor escala, es una alternativa ya implementada por diversos sistemas de monitoreo. A modo de ejemplo, el proyecto italiano PRIMM (Progetto Pilota Inquinamento Marino da Idrocarburi) instrumentado por un grupo de agencias, empresas y universidades italianas (ASI, UNIPO, ISAC, INGV, EGEOS, ENEA, ACS, INNOVA, FLYBY) orientado a la detección y seguimiento de derrames en las costas italianas ha sido implementado teniendo en cuenta distintas escalas, regionales o a nivel de cuenca.

Modelización de trayectorias

Dos son las metodologías para la modelización de trayectorias dentro del ámbito de la mecánica de fluidos aproximándose el estudio de la interacción de la partícula con el entorno desde dos aspectos:

- Método de Euler: conociendo las propiedades del campo en el que se desarrolla el fluido en el tiempo, e independientemente de los valores de la partícula. Las magnitudes de cada partícula serán determinadas por el punto que ésta ocupe en el espacio en un tiempo determinado.
- Método de Lagrange: conociendo las magnitudes asociadas a cada partícula, y su posición en función del tiempo.

El método euleriano aparece como el mas utilizado en el futuro, dada la necesidad de acoplar el transporte, las ecuaciones de modificación del perfil del vertido con los modelos hidrodinámicos (Tklich et al., 2003, Egberongbe et al., 2006).

El transporte podrá finalmente definirse por la ecuación euleriana del transporte, desarrollada en (Espino et al.,2002) de la siguiente manera:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_s C) + \frac{\partial}{\partial y}(v_s C) - \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + SC = 0$$

en donde:

$u_s = u + 0,03U_x + W_x$: velocidad de arrastre de la mancha superficial (m/s)

$v_s = v + 0,03U_y + W_y$: velocidad de arrastre de la mancha superficial (m/s)

u, v : velocidad de las corrientes marinas superficiales debidas al viento y a las mareas (m/s)

C : Concentración contaminante (kg/m²)

U_x, U_y : velocidad del viento a 10 metros sobre la superficie del mar (m/s)

W_x, W_y : empuje debido al oleaje (m/s)

K_x, K_y : coeficientes de dispersión turbulenta (m²/s)

S : coeficiente de decaimiento (1/100)

$C(x, y, t) = [p_w - p_{hidrocarburo}(t)]e(x, y, t)$

e : espesor de la mancha (m)

ρ_w , $\rho_{hidrocarburo}$: densidad del agua marina y del hidrocarburo (kg/m^3)

Para este caso de prueba, y a los fines de exponer la ecuación a aplicar se utilizan como datos de entrada los detallados a continuación (Tabla 22):

Variables*	niveles
mapa de temperaturas (T)*	a 0 m
mapa de salinidad (S)*	a 0 m
mapa de corrientes (U,V)*	a 0 m
mapa de vientos superficiales (U,V)**	a 10m
mapa de oleaje (U,V)	simulado

Tabla 22 – Variables de entrada: *Mercator Océan as source of Global oceanographic products (PSY4V3) - **QuikScat

En este sentido el modelo de trayectorias se implementó en IDL y fue aplicado en un ejemplo de impacto costero (Figuras 119, 120 y 121).

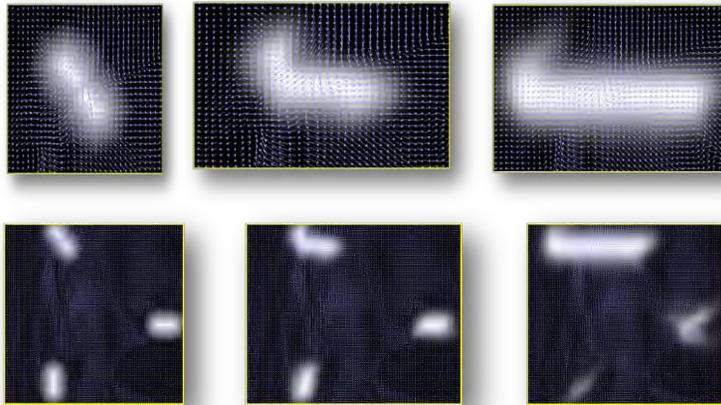


Figura 119 - Difusión y Advección de objetos en función de vientos y corrientes



Figura 120 - Difusión y Advección de ejemplo de vertido cercano a costas de las provincias de Buenos Aires, Rio Negro y Chubut



Figura 121 - Impacto en costas del vertido de ejemplo en litros de crudo

El impacto previo es una ejemplificación del transporte de un derrame, en donde una vez en contacto el vertido con la zona costera, se ha estipulado como condición de contorno que al entrar en contacto el vertido con la máscara de tierra, se contabiliza el volumen de contacto del píxel y posteriormente se anula el valor del vertido en esa coordenada.

Accediendo a datos ambientales propios de la zona, como presión, temperatura y salinidad para los niveles de densidad del agua con los que interactuará el vertido, e información sobre oleajes, vientos superficiales y corrientes marinas actualizadas, se encuentra abierta la potencialidad del uso de esta herramienta.

La posibilidad de en adelante desarrollar modelos aplicables a escala de cuenca con sus dinámicas específicas, permitirán implementar un ajustado sistema de monitoreo con análisis precisos del transporte, identificando las potenciales áreas de riesgo ecológico y/o socioeconómico.

CAPITULO 8. Resumen y Conclusión

En el transcurso del presente trabajo se ha podido ver el estado del arte en que la problemática es abordada desde tecnologías SAR. Al mismo tiempo se plantea como necesario para desarrollos futuros la incorporación de otros tipos de sensores al sistema, de modo de complementar los recursos y potencialidad del sistema de monitoreo, entre ellos los hiperespectrales y térmicos.

Se han identificado los puntos críticos que deben ser tenidos en consideración al momento de la lectura de una imagen SAR, ya que por si sola y sin una aproximación al abanico de falsas alarmas que pueden presentarse el proceso de monitoreo en su conjunto se perdería fiabilidad.

El contexto en el que las manchas se presentan es de significativa importancia, porque como se ha podido notar en las referencias mencionadas, entre otras limitaciones la falta de viento abre paso a la generación de zonas con diversos niveles de incertidumbre, y que en el peor de los casos hace inaplicable este tipo de tecnologías.

El proceso de clasificación puesto en práctica en este trabajo, dió como resultado niveles de confiabilidad apreciables, aunque sin lugar a dudas será necesario contar con un mayor número de casos de aplicación para darle mayor robustez al mismo. En este trabajo, han sido procesadas solo imagenes en banda C al no contar con un volumen de datos suficiente en bandas X y L, por lo que se propone como desarrollo futuro la aplicación de esta metodología hacia otras bandas de manera de ampliar el rango de aplicaciones.

En este proceso en particular han sido evaluadas distintas metodologías, pero dado el volumen de información con que se contaba respecto a vertidos verificados, se ha optado por aquella en la que según los trabajos realizados por los referentes del área y en relación a la cantidad de información tratada, alcanzó resultados aceptables.

Asimismo, la futura posibilidad de iniciar procesos de clasificación incorporando información multipolarimétrica es un punto aún con escaso desarrollo, siendo de especial interés sobre todo en fases de filtrado. Esta etapa es identificada como un punto crítico junto al proceso de segmentación, ya que el producto de las características evaluadas tendrá estrecha relación no solo con valores de retrodispersión sino con su morfología. Los valores obtenidos posteriores al proceso de filtraje con los métodos conocidos no pierden significativa información en términos de valores de retrodispersión pero de acuerdo a lo evaluado, siempre en este proceso se afronta una solución de compromiso en términos de calidad espectral respecto a calidad morfológica. Y siendo esto un punto de quiebre que sobretodo definirá la posterior calidad en la clasificación, nuevos desarrollos como los filtros de lógica difusa expuestos en (Alli et al.,2010) abren el camino hacia nuevos resultados, como así tambien las nuevas características espectrales y texturales que puedan extraerse de imágenes multipolarimétricas como las que proveerán los sensores Saocom, con los que a la fecha no se dispone.

En función de la información de contexto, la posibilidad de obtener campos de viento desde imagenes SAR se presenta como una herramienta de interés, mas no necesariamente vinculada a la identificación del vertido en relación a las zonas dentro del rango de vientos que habilitan su individuación, sino para la modelización de corrientes superficiales que alimenten la base de datos histórica de información contextual. Al tiempo que los productos de los escaterómetros de uso masivo pueden ser de utilidad para un seguimiento a gran escala, la característica distintiva de un producto Sar en este aspecto y sobretodo en términos de escala espacial, brinda la capacidad de trabajar en zonas costeras donde los primeros no dan información.

Al no contar al momento con productos operativos orientados hacia el espacio marítimo argentino, la posibilidad de implementar la elaboración automática de vectores de viento a partir de imágenes Sar, puede ser tenida en cuenta para el futuro próximo cercano, sobretodo teniendo en consideración el volumen de imágenes con que se contará desde el sistema SIASGE.

Respecto al monitoreo y seguimiento de embarcaciones, sin duda se presenta como de especial interés para la asociación del potencial vertido y la asignación de grados de confiabilidad, pero también puede asociarse a futuros desarrollos en el ámbito de modelos de sentido inverso, en donde la evidencia provista por una imagen tiene un valor de prueba inigualable. Esto último, junto a sistemas de seguimiento e identificación, como lo desarrollado por ejemplo desde el mencionado DECLIMS, abre una potencial oportunidad de desarrollo de un monitoreo integral para el ámbito de la zona de interés del mar argentino. Asimismo, este tipo de tecnologías dan muestras de aplicación para el monitoreo no solo de embarcaciones ligadas al evento tratado en el presente trabajo, sino también al de actividades no autorizadas como entre otras, la pesca ilegal en la zona económica exclusiva argentina.

Finalmente, en lo referido a la modelización de un vertido en el medio marino, la información generada durante el proceso de clasificación, es susceptible de ser concebida como dato de entrada de un modelo de previsión de trayectorias, lo que permitirá evaluar oportunamente los riesgos de impacto en las zonas costeras.

El disponer ya de mapas de sensibilidad ambiental de las áreas costeras y marítimas argentinas como el desarrollado por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable junto al Servicio de Hidrografía naval y la Prefectura Naval Argentina, es una fuente de información que junto a modelos de trayectorias y de perfiles específicos a cada área, presentan un área de gran desarrollo a futuro.

Si bien se han podido plasmar las variables básicas de la modelización de trayectorias y de perfiles para casos ejemplo, es necesario para un posterior trabajo tener en cuenta propiedades que se desarrollen en el espacio tridimensional, ya que varios de los procesos de envejecimiento del vertido tienen un estrecho vínculo con toda la columna de agua.

Finalmente y del mismo modo en que se ha puesto en práctica en otros espacios marítimos (caso Mar del Norte o Mar Mediterráneo), se concluye que de acuerdo a lo desarrollado es factible en la implementación de un sistema de monitoreo orientado hacia nuestros mares, de acuerdo a sus características geográficas específicas. La oportuna instrumentación de un sistema de información que abarque características locales, información a escala de cuenca sobre oleajes, temperaturas, vientos superficiales y corrientes, infraestructuras presentes en las costas del mar argentino, rutas marítimas actualizadas, datos de embarcaciones y su movimiento diario, junto a tipos y características de los combustibles extraídos y transportados, entre otras, son el punto de inicio hacia la elaboración de un mapa de “puntos calientes” contaminantes, entendiendo esto como de gran utilidad al momento de toma de decisiones en políticas de gestión de nuestras zonas marítima y costera de manera sustentable.

Estos sistemas, de la mano de un medio de denuncia y alerta como el expuesto en el presente trabajo a través de la plataforma web de acceso público diseñada al efecto, presentan las bases hacia la reducción de riesgos en las áreas sensibles y su evaluación de manera integral.

En resumen, desde el presente estudio, se ha podido conocer el estado del arte en materia de monitoreo y seguimiento de derrames de hidrocarburos y la aplicación del

sensado remoto a esta problemática. Se han podido identificar los puntos críticos que hacen a la fiabilidad de un sistema de monitoreo de derrames de manera integral. Se han identificado filtros, métodos y recursos de segmentación que dan mejor resultado orientado al seguimiento de esta problemática. Se han obtenido una serie numerosa de características que han servido de entrenamiento a una red neural de reconocimiento de patrones con resultados aceptables dado el volumen de información. Se ha podido establecer un modelo de trayectorias que puede ser aplicado a nuestra área costera y marítima de modo de prevenir oportunamente un potencial impacto sobre áreas identificadas como sensibles. Y se ha cerrado el círculo del sistema desde una plataforma de denuncia descentralizada que dará pie a la oportuna activación del sistema de monitoreo.

Bibliografía

Alli P., Ramasubramanian P., Sureshkumar V., "Oil Spills Detection In SAR Images Using Nonlinear Fuzzy Filter". International Journal of Advanced Science and Technology. Vol. 25, Diciembre, 2010.

Akar S., "Offshore Oil Slik Detection with Remote Sensing Techniques". Septiembre 2007.

Alpers W., Huhnerfuss H., "Radar Signatures of Oil Films Floating on the Sea Surface". IGARSS 1987.

Alpers W., Huhnerfuss H., "Radar signatures of oil films floating on the sea surface and the Marangoni effect", J.Geoph.Res., 93, p.3642-3648. 1988.

Alpers W., "SAR Imaging of the Ocean Surface. Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual". Cap.11. NOAA. 2004.

Alpers W., Melsheimer C., "Rainfall. Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual". Cap.17. NOAA. 2004.

Atlas de Sensibilidad Ambiental de la Costa y Mar Argentino. Buenos Aires: Proyecto PNUD ARG/02/018, 2007.

Bagheri S., Stein M., Zetlin C., "Airborne videography: an oil spill response monitoring system". Natl. Environ. J. 5(3):66-70. 1995.

Balick L., Di Benedetto J.A., Lutz S.S., "Fluorescence emission spectral measurements for the detection of oil on shore". In: Proceedings of the Fourth Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, vol. 1. Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, pp. 13-20. 1997.

Barragán Muñoz J.M., "La gestión de áreas litorales en Latinoamérica y España". Servicio de Publicaciones de la Univesidad de Cádiz. Cádiz, 2005.

Barker C.H., Hodges M. K., "Optimizing Matching Criteria For Start Time Analysis Of Real-Time "SPOT" Forecasts And Climatology For Long Range Oil Spill Trajectory Research", Fifth Conference on Coastal Atmospheric and Oceanic Prediction and Processes, Seattle, WA. 2003.

Bartsch N., Gruner K., Keydel W., Witte F., "Contribution to oil spill detection and analysis with radar and microwave radiometer: results of the Archimedes II campaign". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing GE25(6), 677-690. 1987.

Bernal F., "Malvinas y Petroleo: una historia de piratas". Capital Intelectual. 2011.

Bezdec, J.C., "Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms", Plenum Press, New York, 1981.

Bolus R.L., "Airborne Tesing of a Suite of Remote Sensors for Oil Spill Detecting on Water", in Proceedings of the Seconf Thematic International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, pp. II 743-III 752, 1996.

Brekke C., Solberg A., "Oil spill detection by satellite remote sensing". Remote Sensing of Environment 95, 1-13. 2005.

Brown C.E., Marois R., Fingas M.F., "Preliminary Testing of the Scanning Laser Environmental Airborne Fluorosensor". AMOP 2000.

Castelli L., "La Convención del Mar y la protección del ambiente marino". Ley Año LIX No 238 Buenos Aires. 1995.

Chen P., Huang W., Yang J., Fu B., Lou X., Shi A., "Comparison of Ship Detection Algorithms in Spaceborne SAR Imagery". IEEE, 2005.

Chuang K., Tzeng H., Chen S., Wu J., Chen T., "Fuzzy c-means clustering with spatial information for image segmentation". Computerized Medical Imaging and Graphics 30 9-15. 2006.

Hu C., Müller-Karger F.E., Taylor C., Myhre D., Murch B., Odriozola A.L., Godoy G., "MODIS detects oil spills in Lake Maracaibo, Venezuela", Eos Transactions. AGU, 84(33), 313–319. 2003.

Copeland A.C., Ravichandran G., Trivedi M.M., "Localized Radon transform-based detection of ship wakes in SAR images," IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 33, pp. 3545. 1995.

Daling P.S., Aamo O.M., Lewis A., Strøm-Kristiansen T., "SINTEF/IKU oil-weathering model: predicting oil properties at sea". In: Proceedings Oil Spill Conference. API Publication No. 4651, Washington DC, pp. 297-307. 1997.

Daling P.S., Faksness L.G., Hansen A.B., Stout S.A., "Improved and standardized methodology for oil spill fingerprinting". Oil and Hydrocarbon Spills III, CA Brebbia. WIT Press. 2002.

De Staerke D., Wadsworth A., "Problems d'Interpretation de Donnees du Radar SAR de SEASAT en Mer". Photo-Interpretation, N.5-6a. 1981.

Del Frate F., Petrocchi A., Lichtenegger J. y Calabresi G., "Neural Networks for Oil Spill detection using ERS-SAR data". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.38, N.5. 2000.

Elachi C., "Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques". IEEE, 1988.

ENVI, "ITT ENVI 4.8 Help", 2011.

ENVI, "ITT ENVI Ex 4.8 Help", 2011.

ESA, "ESA Bulletin 131. Sentinel-1 The Radar Mission for GMES Operational Land and Sea Services". European Space Agency. 2007.

ESA, "Radar Courses". European Space Agency, 2011.

Escobar J., "La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar". CEPAL, División de Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago de Chile. 2002.

Espedal H. A., Johannessen O. M., Knulst J., "Natural films in coastal waters", IEEE Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symp. IGARSS'95, Florence, Italy, pp 2106-2108. 1995.

Espedal H.A., Wahl T., "Satellite SAR oil spill detection using wind history information". International Journal of Remote Sensing, 20, pp. 49–65.1999.

- Espedal H.A., Johannessen O. M., "Detection of oil spills near offshore installations using synthetic aperture radar (SAR)". *International Journal of Remote Sensing*, 21, no.11, 2141–2144. 2000.
- Espino M., Comerma E., Arcilla A.S., Gonzalez M., Hernaez M., "La predicción de la contaminación marina por vertido de hidrocarburos en la ingeniería portuaria". I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Madrid, España, 2002.
- Evans D., "Trajectory Analysis Handbook", Secretary, U.S. Department of Commerce, NOAA Ocean Service. 2002.
- Egberongbe F., Nwilo P., Badejo O., "Oil Spill Disaster Monitoring Along Nigerian Coastline". TS 16 – Marine and Coastal Zone Management – Environmental Planning Issues, 5° FIG Regional Conference. Accra, Ghana. 2006.
- Fingas M., Brown C., "Review of the visibility of oil slicks and oil discharges on water". In Proc. XXI Arctic and Marine Oil spill Program Technical Seminar. 1998.
- Fingas M., Brown C., Gamble L., "The Visibility and Detectability of Oil Slicks and Oil Discharges on Water", in Proceedings of the Twenty-second Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar, Environment Canada, Ottawa, Ontario, pp. 865-886, 1999.
- Fingas M., Brown C., "A review of the status of advanced technologies for the detection of oil in and with ice". *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol.6, No.5/6, pp. 295-302, 2000.
- Fingas M., "Oil Spill Science and Technology: Prevention, Response, and Cleanup". 2011 Elsevier Inc.
- Fiscella B., Giancaspro A., Nirchio F., Pavese P., Trivero P., "Oil spill detection using marine SAR images", *International Journal of Remote Sensing*, 21: 18, 3561-3566. 2000.
- Friedman K., Wackerman C., Funk F., Pichel W., Clemente Colon P., Xiaofeng Li , "Validation of a CFAR vessel detection algorithm using known vessel locations". *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2001. IGARSS '01. IEEE 2001 International , vol.4, no., pp.1804-1806 vol.4, 2001.
- Frulla L., Milovich J., Karszembaum H., Kandus P., "Metodologías de Pre-procesamiento y Procesamiento Utilizadas en el Tratamiento Cuantitativo de Datos SAR Para el Estudio de Ambientes en el Bajo Delta del Río Paraná, Argentina". *Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos, Brasil. INPE, p. 1075-1086. 1998.
- Frysiner G., Asher W., Korenowski G., Barger W., Klusty M., Frew N., "Study of Ocean Slicks by Nonlinear Laser Processes in Second-Harmonic Generation". *J Geophys Res* 1992.
- Fundación Patagonia Natural, "Amenazas a la biodiversidad costero-marina, impactos y causas" (<http://www.patagonianatural.org/que-es-el-siapcm/amenazas-a-la-biodiversidad.html>). 2011.
- Gade M., Alpers W., "Imaging of biogenic and anthropogenic ocean surface films by multifrequency-multipolarization SIR-C-X-Sar". *Journal of geophysical research*, vol. 103, C9. 1998.
- Gade M., Scholz J., von Viebahn C., "On the detectability of marine oil pollution in european marginal waters by means of ERS SAR imagery. Proc. IGARSS. 2000.
- GESAMP, "Impact of oil on the marine environment". UNEP, Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of marine Environmental Protection. 1977.

GESAMP, "Impact of oil, individual hydrocarbons and related chemicals on the marine environment, including used lubricant oils, oil spill control agents and chemicals used offshore". UNEP, Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of marine Environmental Protection. 1993.

Giraldez A., "SAOCOM-1 Argentina L Band SAR Mission Overview". Proceedings of the Second Workshop on Coastal and Marine Applications of SAP. Noruega, 2003.

Girard-Ardhuin F., Mercier G., Garello R., "Oil slick detection by SAR imagery: potential and limitation". Proc. OCEANS 2003, vol. 1 pp. 164–169. 2003.

Gómez E.S., Toresani N.I., "Las regiones de humedales de la Argentina. Región 3: Pampas". En: Los humedales de la Argentina. Clasificación, Situación Actual, Conservación y Legislación (Canevari, Blanco, Bucher, Castro, Davidson, eds.). Wetlands International, Publ. 46, pp. 97 - 114. 1998.

Gonzalez L., Torres J., Yarovenko N., Martin J., "Discriminación automática de vertidos de hidrocarburos a partir de imágenes ASAR utilizando una máquina de vectores soporte SVM". XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. pp. 537-540. Calatayud. 2009.

Gonzalez Ferreiro D., Bosque Sendra J., "Generación de un mapa de vientos en un SIG". Boletín de la A.G.E. N.º 47, pp.51-77. 2008.

Gonzalez Vilas L., Torres J., Martinez-Iglesias G., Mosquera A., Corchado J., "Utilización de datos de ENVISAT para la detección de vertidos de hidrocarburos". Revista de Teledetección. Número Especial: 55-59. Junio, 2006 (2007).

Goodman R., "Application of the Technology in North America. In:Lodge AE, editor, The Remote Sensing of Oil Slicks, 39. John Wiley and Sons; 1989.

Goodman R., "Overview and Future Trends in Oil Spill Remote Sensing". Spill Sci.Techn. 11, 1994.

Goodman R., Fingas M., "The Use of Remote Sensing for the Determination of Dispersant Effectiveness", in Proceedings of the Eleventh Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar, Environment Canada, Ottawa, Ontario, pp. 377-384, 1998.

Guerrero R., Acha E., Framiñan M., Lasta C., "Physical oceanography of the Río de la Plata Estuary, Argentina". Continental Shelf Research,17: 727-742. 1997.

Hammond R., Buntzen R., Floren E., "Using ship wake patterns to evaluate SAR ocean wave mechanisms". Naval Ocean System Center Technical Report 978. 1985.

Hang L., Duong N., "Oil Spill Detection and Classification by ALOS PALSAR at Vietnam Sea". 7º FIG Regional Conference. Hanoi, Vietnam, 2009.

Haralick R., Shanmugam K., Dinstein I., "Textural Features for Image Classification". IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol.SMC-3, N6. 1973.

Haralick R., "Statistical and Structural Approaches to Texture". Proceedings of the IEEE, vol.67, N5. 1979.

Haris K., "Hybrid image segmentation using watershed and fast region merging", IEEE Trans. Image Processing, Vol.7, No.12,pp.1684-1699, 1998.

Henderson F., Lewis A., "Principles and applications of imaging radar". Manual of remote sensing, third edition, volume 2. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 1998.

- Hengsterman T., Reuter R., "Lidar fluorosensing of mineral oil spills on the sea surface". *Applied Optics*, 29, 3218-3227. 1990.
- Hersbach H., "CMOD5: an improved geophysical model function for ERS C-band scatterometry". European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Technical Memorandum 000. 2002.
- Hodges M., "Long-Range Oil Spill Trajectory Research To Determine The Optimal Mix Of Realtime Forecasts And Climatology For Various Temporal And Spatial Scales", 12th Conference on Interactions of the Sea and Atmosphere. 2003.
- Holecz F., Meier E., Piesbergen J., Nuesch D., "Topographic effects on radar cross section, SAR Calibration Workshop". Proceedings of CEOS Calibration Sub-Group, ESTEC, Noordwijk, 1993.
- Holt B., "SAR Imaging of the Ocean Surface. Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual". NOAA. 2004.
- Hovland H., Johannessen J., Digranes G., "Slick detection in SAR images". Nansen Environmental and Remote Sensing Center, 1994.
- Hsu C., Chang C., Lin C., "A Practical Guide to Support Vector Classification". Department of Computer Science. National Taiwan University. 2007.
- Hsu C., Chang C., Lin C., "A Practical Guide to Support Vector Classification". Department of Computer Science. National Taiwan University. 2010.
- Hua B., Xiaofeng W., Fulong M., "Cascade SVM based Oil Detection in SAR images". IEEE, 2010.
- Huhnerfuss H., Alpers W., Witte F., "Layers of Different Thicknesses in Mineral Oil Spills Detected by Grey Level Textures of Real Aperture Radar Images". *I.J. Remote Sensing* 1093. 1989.
- Huhnerfuss H., Alpers W., Cross A., Garrett W., Keller W., Lange P., Plant W., Schlude F., Schuler D., "The modification of X and L Band radar signals by monomolecular sea slicks". *Journal of Geophysical Research*, VOL. 88, NO. C14, PAGES 9817-9822. 1983.
- Hurford N., "Review of remote sensing technology". In *The Remote Sensing of Oil Slicks*, A.E. Lodge (ed.), Chichester, UK: John Wiley and Sons, 1989.
- IGM, "Atlas Geográfico de la República Argentina". Instituto Geográfico Militar, Buenos Aires. 1998.
- Solberg A., Clayton P., Indregard M., "Delivery 2 - Report on benchmarking oil spill recognition approaches and best practice". Kongsberg Satellite Services, 2005.
- ITAC, "Industry Technical Advisory Committee for oil spill response". Technical Documents. 2007.
- JHA M., "Advances in remote sensing for oil spill disaster management", *State of the Art Sensors Technology*. 2008
- Ivanov A., Zatygalova V., "A GIS approach to mapping oil spills in a marine environment". *International Journal of Remote Sensing*, 29. 2008.
- Janoth J., Gantert S., Koppe W., Kaptein A., Fischer C., "TerraSAR-X2 – Mission Overview". IGARSS 2012. IEEE, 2012.

- Jolly G., Cotton P., Challinor C., De Silva Curiel A., "GANDER Technical Feasibility Study – Final Report". 2000.
- Kankaku Y., Osawa Y., Suzuki S., Watanabe T., "The Overview of the L-band SAR Onboard ALOS-2". Progress in Electromagnetics Research Symposium Proceedings. Moscow, Russia. 2009.
- Karathanassi V., Topouzelis K., Pavlakis P., Rokos D., "An object-oriented methodology to detect oil spills". International Journal of Remote Sensing, 27, pp. 5235–5251. 2006.
- Keramitsoglou I., Cartalis C., Kiranoudis C., "Automatic identification of oil spills on satellite images". ELSEVIER. Environmental Modelling & Software 21. 640-652. 2006.
- Kozu T., Umehara T., Ojima T., Suitsu T., Masuyko H., Inomata H., "Observation of Oil Slicks on the Ocean by X-Band SLAR". IGARSS, 1987.
- Laciar M., "El derecho de los recursos naturales". En Brailovsky, A. (Comp.). Introducción al estudio de los recursos naturales. Eudeba, Buenos Aires. 1987.
- Laneve G., Santilli G., Marzialetti P., Fusilli L., "Monitoring oil spill in lake Maracaibo: a challenge for EO satellite systems". Draft Report. 2011.
- Lehr W., "Oil Spill Monitoring Using a Field Microcomputer-GPS Receiver Combination", Proceedings of the Second Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments: Needs, Solutions and Applications, ERIM, I-435. 1994.
- Lennon M., Thomas N., Mariette V., Babichenko S., Mercier G., "Oil Slick Detection and Characterization by satellite and airborne sensors: Experimental Results with SAR, Hyperspectral and Lidar Data". IEEE, 2005.
- Li B., Chui C., Chang S., Ong S., "Integrating spatial fuzzy clustering with level set methods for automated medical image segmentation". Computers in Biology and Medicine 41(1) 1-10. 2011.
- Lopes A., Touzi R., Nezry E., "Adaptive Speckle Filters and Scene Heterogeneity," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 28, No. 6, pp. 992-1000. 1990.
- Lorenson T., Hostettler F., Rosenbauer R., Peters K., Kvenvolden K., Dougherty J., Gutmacher C., Wong F., Normark W., "Natural offshore seepage and related tarball accumulation on the California coastline"; Santa Barbara Channel and the southern Santa Maria Basin; source identification and inventory: U.S. Geological Survey Open-File Report 2009-1225 and MMS report 030. 2009.
- Lyden J., Lyzenga D., Schuman R., Kasischke E., "Analysis of Narrow Ship Wakes in the Georgia Strait SAR Data", Topic Report 155900-20-T, Env. Res. Inst. of Michigan, MI. 1985.
- Lyden J., Lyzenga D., Schuman R., Swanson C., "SAR Detection of Ship Generated Turbulent and Vortex Wakes", Tech Mem, Env. Res. Inst. of Michigan. 1985.
- Macklin J., "The Imaging of Oil Slicks by Synthetic Aperture Radar". GEC Journal of Research. 1992.
- Madsen S., Skou N., Sorensen B., "Comparison of VV and HH Polarized SLAR for Detection of Oil on the Sea Surface". Proceedings of the Second Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments: Needs, Solutions and Applications, ERIM. 1994.

Maio A., Ricci G., Tesauro M., "On CFAR detection of oil slicks on the ocean surface by multifrequency and/or multipolarization SAR". In Radar conference, Proceedings of IEEE. 2001.

Martin S., "Introduction to Ocean Remote Sensing". Cambridge University Press, (In Press).
K.Steffen, J.Comiso, D.Cavaliere, M.Drinkwater, and B.Holt, 1992: Microwave remote sensing of polynyas. Microwave Remote Sensing of Sea Ice, F.Carsey, Ed., Amer.Geophys.Union, Washington, DC, 303-311. 2004.

MATLAB, "MathWorks Matlab Help", 2010.

Medina Santamaría R., "Modelos de deriva en la predicción de vertidos". 1as Jornadas científico-técnicas de lucha contra la contaminación marina. A Coruña. 2006.

Montali A., Giacinto G., Migliaccio M., Gambardella A., "Supervised pattern classification techniques for oil spill classification in SAR images: preliminary results". SEASAR2006 Workshop, ESA-ESRIN, Frascati, Italy. 2006.

MRAG, The Marine Resources Assessment Group, "Biodiversity of the Patagonia Shelf". Draft Report. 1999.

Murphey L., "Linear feature detection and enhancement in noisy images via the Radon transform," Pattern Recognit. Lett., vol. 4, no. 4, pp. 279-284. 1986.

NASA, Earth Science Applications Directorate Coastal Management Team, "Decision Support Tool Evaluation Report for General NOAA Oil Modeling Environment (GNOME)". Version 2.0. 2004.

Neville R., Thompson V., Dagg K., O'Neil R., "An Analysis of Multispectral Line Scanner Imagery from Two Test Spills", Proceedings of First Workshop Sponsored by Working Group I of the Pilot Study on the Use of Remote Sensing for the Control of Marine Pollution, NATO Challenges of Modern Society, 201. 1979.

Nirchio F., Sorgente N., Giancaspro A., Pavese P. Ravera R., Trivero P., "A method to detect oil spill based on SAR images". Oil and Hydrocarbon Spills III, CA Brebbia. WIT Press. 2002.

Nirchio F., Di Tomaso S., Biamino E., Trivero P., Giancaspro A., "Oil Spills Automatic Detection from Sar Images". Proc. of the 2004 Envisat & ERS Symposium, Salzburg, Austria. 2004 (ESA SP-572, 2005).

NOAA, Jackson C., Apel J., "Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual". U.S. Department of Commerce. 2004.

NOAA, "Trajectory Analysis Handbook", NOAA ORR HAZMAT Response Division. 2002.

Noriega L., "Multilayer Perceptron Tutorial". School of Computing. Staffordshire University. 2005.

Okamoto K., Kobayashi T., Masuko H., Ochiai S., Horie H., Kumagai H., "Results of Experiments Using Synthetic Aperture Radar Onboard the European Remote Sensing Satellite 1-4". Artificial Oil Pollution Detection. J Commun Res Lab 1996.

O'Neil, R., Neville, R., Thompson V., "The Arctic Marine Oilspill Program (AMOP) remote sensing study". Environment Canada Report EPS 4-EC-83-3, Ottawa, Ontario. 1983.

Otremba Z., Piskozub J., "Modelling of the optical contrast of an oil film on a sea surface". Optical Society of America, vol. 9, No. 8 / OPTICS EXPRESS 411. 2001.

Otremba Z., Piskozub J., "Modeling the remotely sensed optical contrast caused by oil suspended in the sea water column". Optical Society of America, vol. 11, No. 1 / OPTICS EXPRESS 2. 2003.

Parker G., Paterlini M., Violante R., "El fondo marino". El Mar Argentino y sus recursos pesqueros, 1:65-87. 1997.

Patin S., "Environmental impact of the offshore oil and gas industry". EcoMonitor Publishing, East Northport. 1999.

Pavlakis P., Sieber A., Alexandry S., "The potential of ERS SAR in oil spill monitoring and a regional application in the Mediterranean coastal zone", Proceedings of the ERS Thematic Workshop, Oil pollution monitoring in the Mediterranean, Frascati, Italy. 1996.

Pellemans, A., Bos W., Konings H., van Swol R., "Oil Spill Detection on the North Sea using ERS-1 SAR data, Rep. Netherlands Remote Sensing Board (BCRS), Program Bureau, Rijkswaterstaat Survey Department. 1995.

Platonov A., Redondo J., "Contaminación superficial del mediterráneo noroccidental: detección de derrames de crudo", Ingeniería del Agua, Vol.10, Nº2. 2003.

Poitevin J., Khaif C., "A Numerical Study of the Backscattered Radar Power in Presence of Oil Slicks on the Sea Surface". Proceedings of the First Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, ERIM. 1992.

Quarantelli, E., "What is a Disaster? Perspectives on the Question". Routledge, London. 1998.

Ramade F., "Eléments d'écologie appliquée". Mc Graw Hill ed., Paris. 1978.

Ravikumar R., "Multiscale texture analysis of remote sensing images using GABOR filter banks and wavelet transforms". Thesis Master of Science, Texas A&M University. 2008.

Reed M., Johansen O., Brandvik P., Daling P., Lewis A., Fiocco R., Mackay D., Prentki R., "Oil Spill Modeling towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art". Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 5, No. 1, pp 3-16. 1999.

Salvatori L., Bouchaib S., Del Frate F., Lichtenegger J., Samara Y., "Estimating the wind vector from Radar Sar images when applied to the detection of oil spill pollution". Fifth International Symposium on GIS and Computer Cartography for Coastal Zone Management, CoasGIS'03. 2003

Rumelhart D., Hinton G., Williams R., "Learning Internal Representations by Error Propagation". David E. Rumelhart, James L. McClelland, and the PDP research group. (editors), Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition, Volume 1: Foundations. MIT Press. 1986.

Sarmap, "Sarmap SARscape Help", 2011.

Sherbakov A., Hanssen R., Vosselman G., Feron R., "Ship wake detection using Radon transforms of filtered SAR imagery". SPIE, Vol. 2958, pp. 96-106. 1996.

Schneiderhan T., Lehner S., Schulz-Stellenfleth J., Horstmann J., "Use of SAR wind measurement techniques to support offshore wind farming". Meteorological Applications, 12 , pp 101-110. 2005.

Schwartz G., Alvarez M., Varfis A., Kourti N., "Elimination of false positives in vessels detection and identification by remote sensing. In IEEE 2002 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'02), volume 1, pages 116-18. 2002.

Singh K., Gray A., Hawkins R., O'Neil R., "The influence of surface Oil on C- and Ku-Band Ocean Backscatter". IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, GE 24, pp.738-744. 1986.

Solberg R., Theophilopoulos N., "Envisys: A solution for automatic oil spill detection in the Mediterranean". Proceedings of 4th Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, pp. 3-12. 1997.

Solberg A., Storvik G., Solberg R., Volden E., "Automatic Detection of Oil Spills in ERS SAR Images". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.37, N.4. 1999.

Solberg A., Brekke C., Husoy P., "Oil spill detection in Radarsat and ENVISAT SAR Images". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 45, N. 3. 2007.

Stepak A., Wijnant I., "Interpolating wind speed normals from the sparse Dutch network to a high resolution grid using local roughness from land use maps". Technical report; TR-321. Royal Netherlands Meteorological Institute. De Bilt, 2011.

Subsecretaría de Pesca, "Consumo de pescado en el mercado argentino. Estudio del mercado argentino de consumo de pescado e identificación de instrumentos para su expansión". Informe final. SAGPyA, Subsecretaría de Pesca. 1997.

Shuchman R., Onstott R., Johannessen O., Sandven S., Johannessen J., "Processes at the Ice Edge - The Arctic". Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual". Cap.18. NOAA. 2004.

Tkalich P., Huda M., Gin K., "A Multiphase Oil Spill Model". Journal of Hydraulic Research Vol. 41, No. 2, pp. 115-125. 2003.

Taylor S., "0.45 to 1.1 mm Spectra of Prudhoe Crude Oil and of Beach Materials in Prince William Sound". Alaska, CRREL Special Report No. 92-5. 1992.

Topouzelis K., Karathanassi V., Pavlakis P., Rokos D., "Oil spill detection: SAR multi-scale segmentation & object features evaluation". In Proceedings of SPIE, Remote Sensing of the Ocean and Sea Ice. C.R. Bostater and R. Santoleri (Eds), 4880, pp. 77-87. Crete, Greece. 2002.

Topouzelis K., Karathanassi V., Pavlakis P., Rokos D., "A new object-oriented methodology to detect oil spills using Envisat images". Proc. 'Envisat Symposium 2007', Montreux, Switzerland. 2007.

Topouzelis K., "Oil Spill Detection by SAR Images: Dark Formation Detection, Feature Extraction, and Classification Algorithms". Sensors. 2008.

Topouzelis K., Karathanassi V., Pavlakis P., Rokos D., "Dark Formation Detection Using Neural Networks". Int. J. Remote Sensing. 2008.

Topouzelis K., Stathakis D., Karathanassi V., "Investigation of genetic algorithms contribution to feature selection for oil spill detection". International Journal of Remote Sensing, 30, pp. 611-625. 2009.

Ulaby, F., Batlivala P., Dobson, M., "Microwave backscatter dependence on surface roughness, soil moisture and soil texture". IEEE Trans. Geosci. Electron. GE- 16:286-295. 1978.

Ulaby F., Moore R., Fung A., "Microwave Remote Sensing: Active and Passive". Artech House, 1989.

Ulaby F., Dobson M., "Handbook of radar scattering statistics for terrain". Artech House , 1989.

UNEP, "Urgent Action Need to Protect the Marine Environment", United Nations Environment Programme. 2001.

Wackerman C., Horstmann J., Koch W., "Operational estimation of coastal wind vectors from RADARSAT SAR imagery", Proc. 1995 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toulouse, France. 2003.

Wisner B., Blaikie P., Cannon T., Davis I., "At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters". London and New York: Routledge. 2004.

Wojtaszek K., "Application of transport model for building contingency maps of oil spills on the North Sea". M.S. Thesis, Delft University of Technology, 71pp. 2003.

Xiaoying J., "ENVI EX Method - Segmentation-based image processing system". Patent Application Publication. 2009.

Zhang X., Jiao L., Liu F., Bo L., and Gong M., "Spectral clustering ensemble applied to SAR image segmentation," IEEE Trans. Geosci. Remote. Sens., vol. 46, no. 7, pp. 2126–2136. 2008.

