

3. MATERIAL, MÉTODOS Y CONCEPTOS TEÓRICOS

3.1. IMÁGENES DISPONIBLES

3.1.1. Colección de imágenes tipo SAR, base cartográfica, datos de proyectos utilizados

Para evaluar cualitativamente y cuantitativamente el estado de contaminación de la superficie marina de las proximidades de las costas de Cataluña y del Golfo de León, así como los fenómenos dinámicos detectables en la superficie marina, fueron utilizadas las imágenes espaciales obtenidas de forma periódica durante los años 1996-1998 mediante los satélites ERS 1/2 y RADARSAT con el instrumento de Radar de Apertura Sintética (SAR) a bordo de los mismos. Se analizaron más de 300 imágenes específicamente limitándonos al área marítima del Mediterráneo Noroccidental, incluyendo: Delta del Ebro - Cabo de Creus - Golfo de León - Marsella e Islas Baleares, tal como se muestra en la Figura 3.1.1.

Para realizar el presente trabajo se utilizaron las imágenes SAR de dos proyectos: el primero Clean Seas (285 imágenes de satélites ERS 1/2) imágenes, el segundo *ERS-1/2 SAR Exploitation Study in Catalonia* (4 imágenes de satélite ERS-2). También se utilizaron los resultados y los fragmentos de las imágenes SAR del proyecto *Oil Watch* (19 imágenes del satélite RADARSAT y 9 de POLPERS) (Gonsales et al., 1999).

El proyecto *Clean Seas* 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 predicativas 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). Las imágenes SAR originales fueron procesados mediante el grupo de trabajo RAIDS de *Defence Evaluation and Research Agency receiving station of West Freugh* y distribuidas para los participantes del proyecto a partir de la *University of Hamburg* en unas dimensiones lineales de 100×100 Km. a base de las coordenadas geográficas y con la precisión de un píxel correspondiente a 50 m, aunque en la mayoría de los casos fue suficiente utilizar una resolución de 200 m /píxel.

El proyecto “*ERS-1/2 SAR Exploitation Study in Catalonia*” con participación del Departamento de Física Aplicada de la UPC, de *Laboratori d’Enginyeria Marítima LIM*, del *Institut de Ciències de la Terra, del Departament de Teoria de Senyal i Comunicacions* de la UPC, del Departamento de Geología Dinámica, Geofísica i Paleontología de la UB, del *Institut Cartogràfic de Catalunya* y del *Institut de Ciències del Mar* tuvo los fines multidisciplinarios en los estudios de las áreas costeras/litorales de Cataluña. Se usaron solamente 4 imágenes SAR de este proyecto (una del año 1996 y tres del año 1997) en el área del Delta de Ebro.

El proyecto OIL WATCH se realizó en los años 1997-1999 bajo la supervisión de la Comisión de la UE y con la participación de diferentes grupos científicos: CETEMAR (España), EOS (UK), CEDRE

(Francia), ENEA (Italia), FRESTI (Portugal). La tarea principal de este proyecto fue la detección y monitorización de los derrames de hidrocarburos en las aguas de la UE del Mediterráneo y del Océano Atlántico (cuatro áreas de prueba, una de las cuales coincidía en una parte con el área de estudio de *Clean Seas* en el Golfo de León y en la parte sur del Mar Balear).

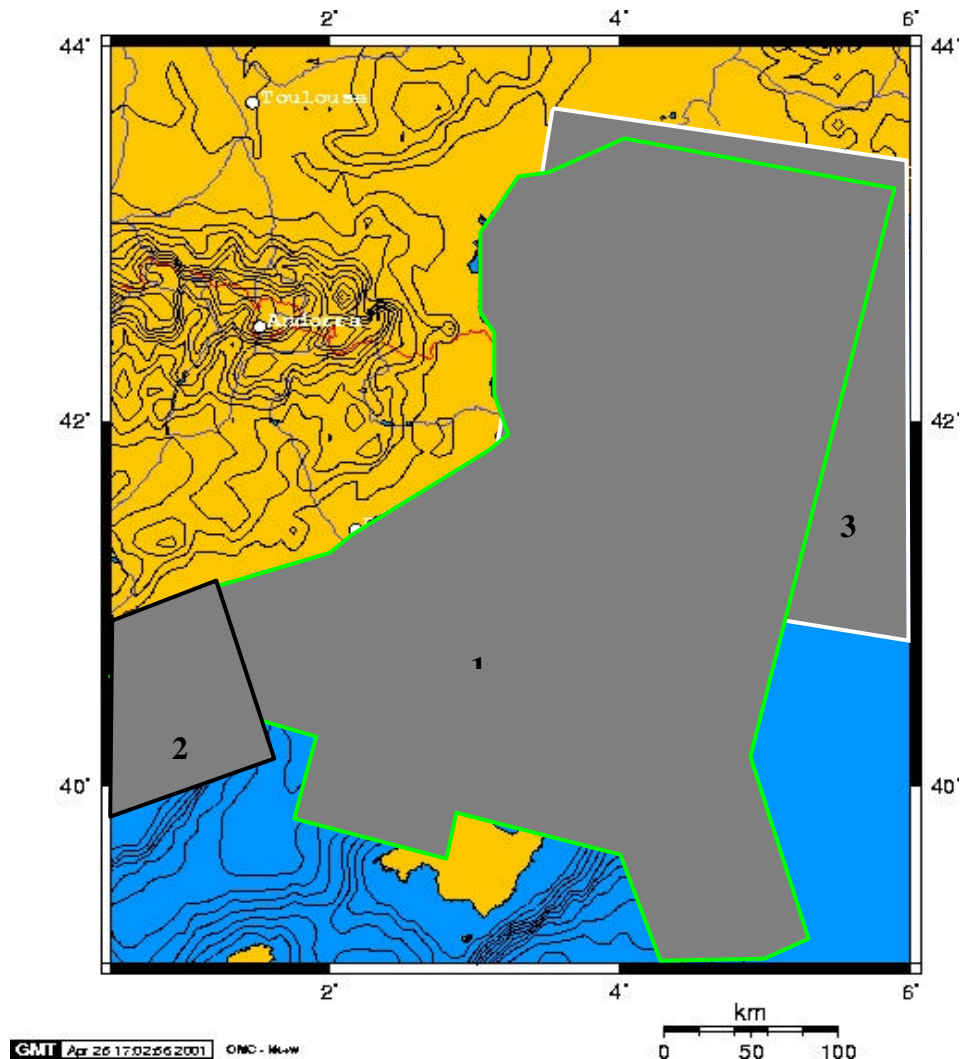


Figura 3.1.1. Esquema simplificado de situación y superposición de las zonas estudiadas en 1996-1998 bajo los proyectos: 1 - *Clean Seas* (ERS1/2), 2 - ERS-1/2 SAR *Exploitation Study in Catalonia*, 3 - *OILWATCH* (RADARSAT) en el Mar Balear y en el Golfo de León.

Hemos obtenido los resultados del análisis topológico de los derrames detectados en forma de descripción de cada derrame detectado junto con los fragmentos de las imágenes originales a partir de la página oficial del proyecto en INTERNET (González et al., 1999), en total se usaron 28 fragmentos de las imágenes de RADARSAT de 18 fechas diferentes en el período comprendido entre el 13 de enero de 1997 y el 15 de diciembre de 1998.

Debido a las condiciones técnicas de los satélites ERS1/2, la periodicidad de la adquisición de imágenes de una misma zona es de 35 días. Algunas imágenes de RADARSAT del proyecto *OILWATCH* se obtuvieron cada 3-7 días, pero no hay información precisa sobre el número total de imágenes ni sobre todas las fechas de obtención de las imágenes, por esto utilizamos solamente los

fragmentos de imágenes disponibles, analizando los derrames de petróleo sin una valoración estadística de su probabilidad de la detección.

Todas las imágenes originales de los proyectos tenían una base cartográfica de coordenadas geográficas. Para nuestros fines fue más conveniente trabajar en un sistema de coordenadas UTM, elaborando una base cartográfica en este sistema de coordenadas y todas las imágenes fueron transferidas al sistema UTM.

3.1.2 Normalización estadística

El número de las imágenes disponibles de cada uno de los 22 recuadros fijos de unos 100x100 Km² correspondientes a las imágenes que fueron obtenidas en forma periódica en general se presenta en las figuras 3.1.2 y 3.1.3.

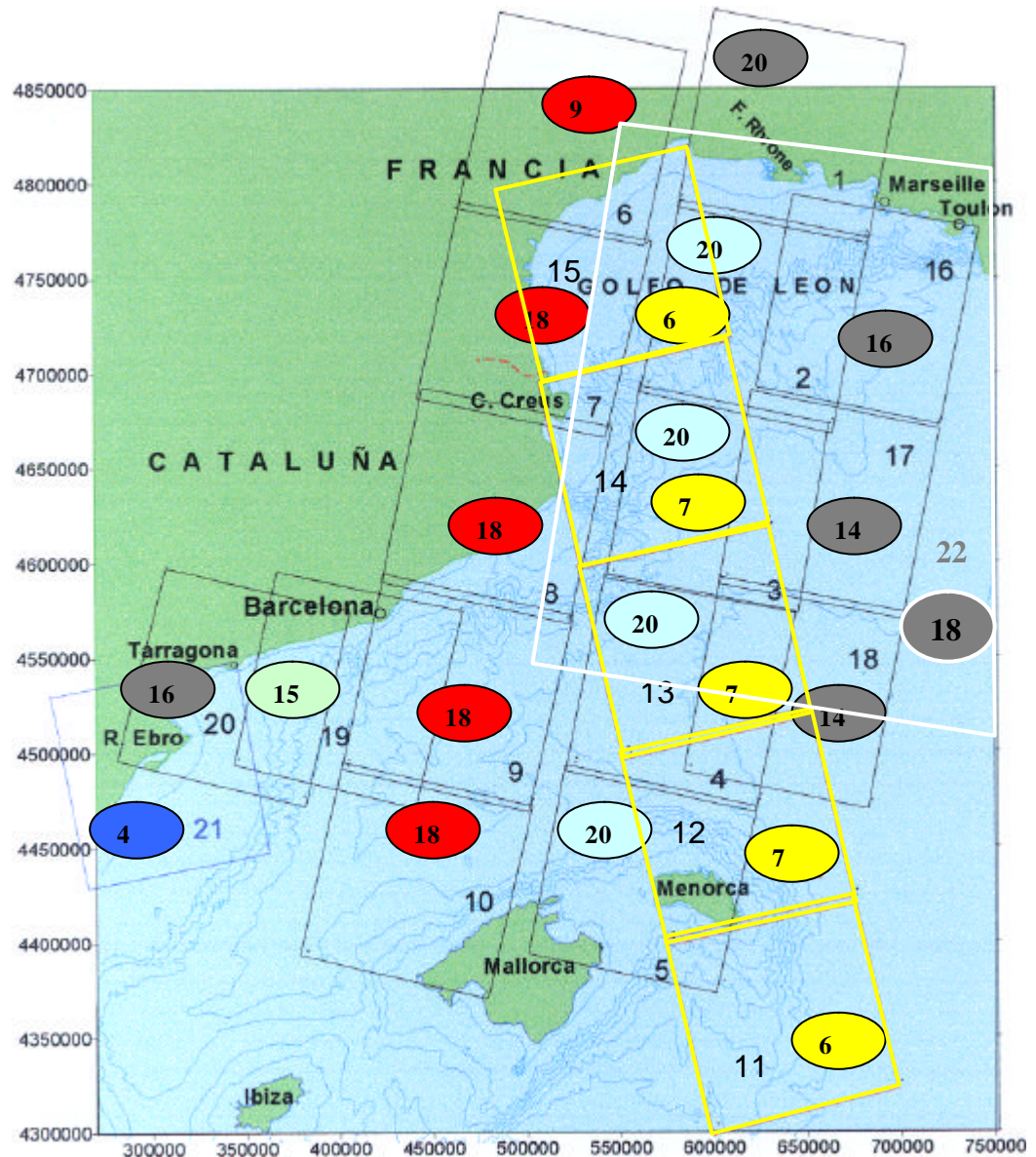


Figura 3.1.2. El área de estudio, la situación geográfica de los recuadros y el número de las imágenes obtenidas en cada recuadro (NN 1-20 a través del proyecto *Clean Seas*, NN 21 y 22 a través de los proyectos ERS-1/2 SAR *Exploitation Study in Catalonia* y OILWATCH correspondientemente).

Los recuadros número 1-20 son del proyecto *Clean Seas*, el recuadro número 21 es del proyecto *ERS-1/2 SAR Exploitation Study in Catalonia* y el recuadro 22 de 300x300 Km² es del proyecto *OILWATCH*. Desde la primera fecha de las observaciones (10.11.96, proyecto *ERS-1/2 SAR Exploitation Study in Catalonia*) hasta la última (15.12.98, proyecto *OILWATCH*) son 766 días. El número total de las fechas de las observaciones realizadas es de 105, lo que corresponde a un 14 % de observaciones diarias dentro del período de tiempo total.

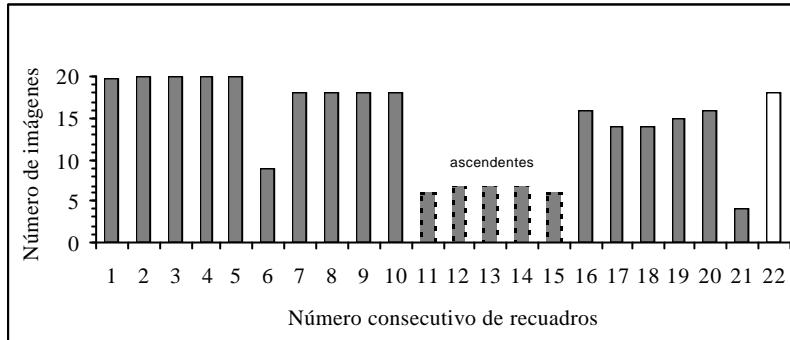


Figura 3.1.3. Número de imágenes obtenidas para cada recuadro desde N 1 hasta N 22; en negro están indicados recuadros cuyas imágenes se obtuvieron mediante el satélite ERS 1/2, en blanco - mediante el satélite RADARSAT. Las franjas de recuadros 1-5, 6-10, 16-18; 19, 20 y 22 son de orbitas descendentes y las de 11-15 y 21 son de orbitas ascendentes.

Tabla 3.1.1. Fechas de la obtención de imágenes de los tres proyectos

año	m/f	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
96	nov										+																							
	dic						x														x					x								
97	ene		o								x			o										x			x				+			
	feb			o					x		o								+										x					
	mar		x													o	x						x											
	abr						x			x													x				x							
	may						o	x				x			o	x										x							x	
	jun												x				x																	
	jul				x										+					x			x			x								
	ago		x							x												o	x			x			x					
	sep							x						x													x			x				
	oct	x											x							x													x	
	nov						x										x							x										
	dic				x			x			x												x						x					
98	ene								x			x				x																	x	
	feb												x				x													x				
	mar																						x											
	abr		o	x							x														x				x				x	
	may														o	x													o	x			x	
	jun			x											x																			
	jul		x			x		o																										
	ago						x			x			x							o					x									
	sep										x	o			x														x					
	oct																x														o			x
	nov				o																													
	dic																o																	

Nota: en círculos están señaladas las fechas de obtención de las imágenes RADARSAT del proyecto *OILWATCH* (18 fechas), por x - de las imágenes SAR del proyecto *Clean Seas* (84 fechas) y por cruces - del proyecto *ERS-1/2 SAR*

Exploitation Study in Catalonia (4 fechas). El día 10.09.98 fue el único cuando las imágenes de RADARSAT y de ERS-2 de los dos proyectos fueron tomados en la misma área de estudio (el parte sur del Mar Balear).

El número total de las imágenes SAR coincidentes con los recuadros 1-20 y obtenidas en el período comprendido entre diciembre de 1996 y octubre de 1998 bajo el proyecto *Clean Seas* es de 289, el correspondiente número del proyecto *ERS-1/2 SAR Exploitation Study in Catalonia* (recuadro 21, el período desde noviembre de 1996 hasta julio de 1997) es de 4 y del *OILWATCH* de 18 (recuadro 22, período desde enero de 1997 hasta diciembre de 1998).

Tabla 3.1.2 Fechas de obtención de las imágenes completas: proyecto *Clean Seas* (1-20), proyecto *ERS-1/2 SAR Exploitation Study in Catalonia* (21) y los fragmentos de las imágenes del proyecto *OILWATCH* (22). Período completo desde 10.11.1996 hasta 15.12.1998.

Año	Mes	1-5	6-10	11-15	16-18	19	20	21	22	N fechas
		fecha	fecha	fecha	fecha	fecha	fecha	fecha	fecha	
1996	Nov							10		1
	Dic	19				06	25			3
1997	Ene	23	26			10		29	02,13	6
	Feb	27			8 (solo 16)			17	04,10	5
	Mar		02		15	21			14	4
	Abr		06	09	19	25	09			4
	May	08	11		24	30	14		06,13,18	8
	Jun	12	15	18			18			3
	Jul	17	20			04	23	13		5
	Ago	21	24	27	02	08	27		19	6
	Sep	25	28		06	12				4
	Oct	30			11	17	01			4
	Nov			05 (12-14)	15	21				3
	Dic	04	07 (7-10)		20	26	10			5
	1998	Ene	08	11	14		30			
Feb		12	15 (7-10)		28		18			4
Mar		19	22 (7-10)	25			25			3
Abr		23	26 (7-10)		04	10	29		02	6
May		28	31 (7-10)			15			13,27	5
Jun					13	19	03			3
Jul		02	05 (7-10)		18				07	4
Ago		06	09 (7-10)	12	22				17	5
Sep		10	13 (7-10)		26				10	3
Oct		15	18 (7-10)		31				28	4
Nov		19							04	2
Dic									15	1
N	total	20	18	7	16	15	12	4	18	110 \105

Es necesario resaltar que todos los valores estadísticos de frecuencia y probabilidad de detección de derrames de crudo mencionados más adelante corresponden a una periodicidad de toma de datos del satélite de los 35 días, es decir que las observaciones del satélite en cada recuadro (1-21) fueron realizados solamente unas 20 veces, en promedio, a lo largo del período total de observación de 713 días (proyectos *Clean Seas* y *ERS-1/2 SAR Exploitation Study in Catalonia*). En cuanto al proyecto *OILWATCH*: hemos usado solamente los fragmentos de las imágenes en los cuales se detectaron los derrames de petróleo con un criterio subjetivo, lo que no permitió valorar la probabilidad de detección en función del número total de imágenes RADARSAT obtenidas durante el período de observaciones.

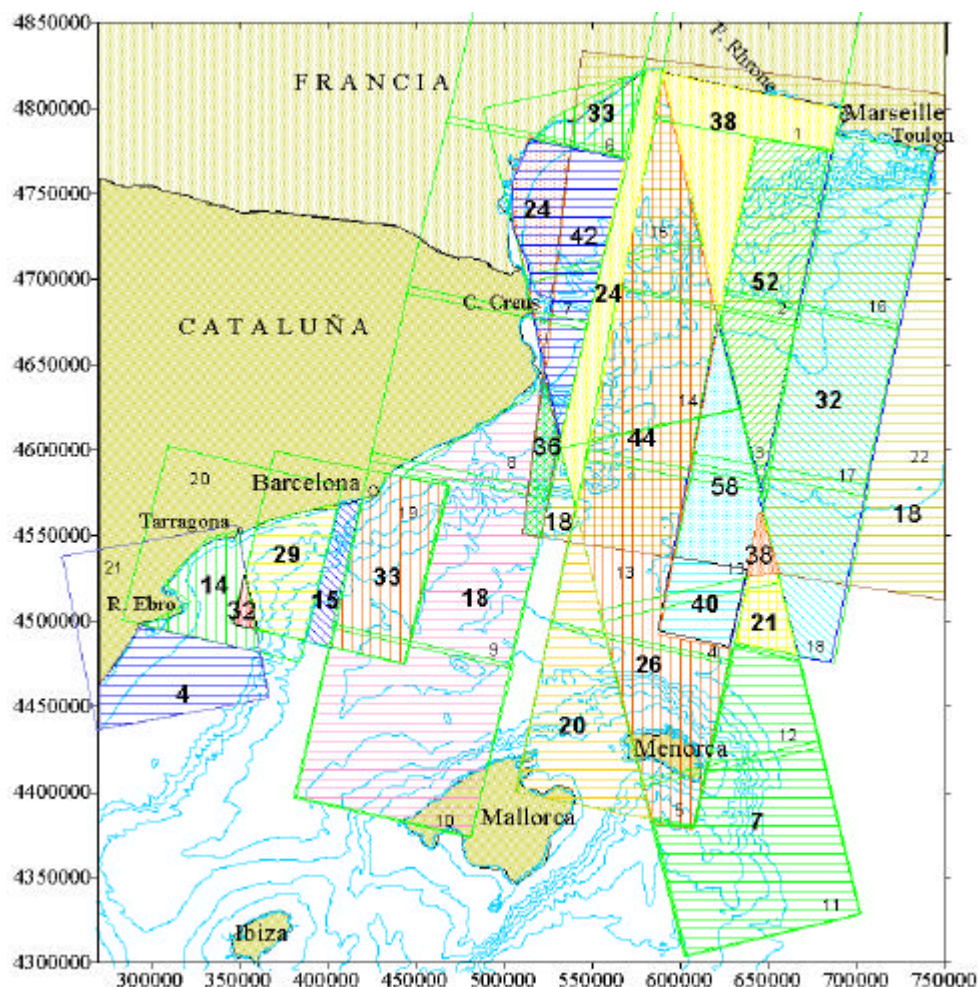


Figura 3.1.4. Número total de casos de observaciones mediante los satélites ERS-1 y 2, y RADARSAT en diferentes zonas del estudio en 1996-1998. (proyectos Clean Seas, ERS-1/2 SAR Exploitation Study in Catalonia y OILWATCH) según como fueron superpuestos los recuadros 1-22.

Revisando visualmente todas las imágenes, tuvimos que excluir las dos imágenes (del día 12.08.98 del recuadro 13 y del mismo día del recuadro 14) como no válidas debido a su baja calidad gráfica. El número de imágenes en cada uno de las 21 cuadrículas varía entre 4 y 20. Ha sido necesario hacer bastantes correcciones de errores en las fechas y en la posición geográfica de las imágenes para elaborar una base de datos correcta y válida. No obstante, en algunas zonas había imágenes superpuestas de diferentes proyectos, hecho que resulta en un menor o mayor número de observaciones de diferentes lugares del área observada (de 4 a 58). Para normalizar los resultados de la detección de derrames de crudo, así como de otros fenómenos en la superficie marina, se elaboraron dos esquemas de las zonas de la distribución espacial de los recuadros y zonas geográficas superpuestas, donde se realizaron las observaciones múltiples. La figura 3.1.4 muestra el primer esquema donde también se considera el recuadro 22 de las observaciones realizadas mediante el satélite RADARSAT porque tenemos solamente los datos de detecciones de los derrames del petróleo obtenidos a través del proyecto OILWATCH en esta área y no podemos utilizar los pequeños fragmentos de las imágenes para otros fines.

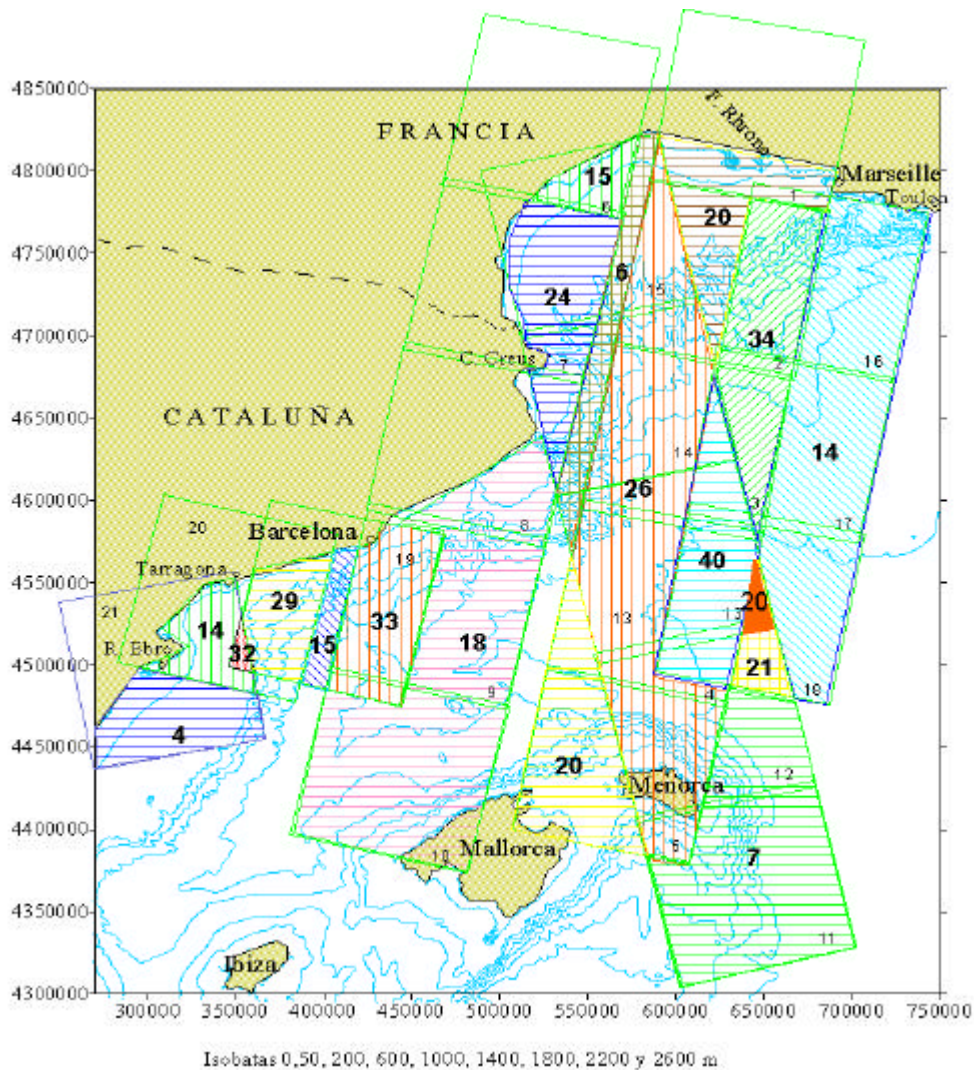


Figura 3.1.5. Número total de observaciones mediante los satélites ERS-1 y 2 en diferentes zonas del estudio en 1996-1998 (todos los proyectos).

La figura 3.1.5 muestra el segundo esquema con la situación y la superposición de todos los recuadros y imágenes de los proyectos *Clean Seas* y *ERS-1/2 SAR Exploitation Study in Catalonia* que están a nuestra plena disposición.

Los dos distribuciones espacio-temporales indicados constituyen los fundamentos para realizar una normalización de los resultados estadísticos de los fenómenos detectados en la superficie marina, es decir de los derrames y estelas de crudo (esquema 3.1.4), los derrames de los productos de origen natural (esquema 3.1.5) y la identificación de fenómenos, tales como vórtices, ondas internas, frentes, etc. La normalización de los resultados de las observaciones permite compararlos cuantitativamente y dar una visión real de su distribución espacial probabilística.

Todas estas desigualdades temporales y espaciales de las muestras forman una base de datos compleja y con ciertas dificultades a la hora de realizar la normalización apropiada de los datos, el análisis estadístico y las estimaciones cuantitativas.

3.1.3. Comparación de las imágenes obtenidas mediante otros sensores espaciales

Es interesante hacer una comparación de las imágenes obtenidas con el dispositivo SAR con el de infrarrojo (ATSR-2: *Along Track Scanning Radiometer* de Sea Surface Temperature (SST)) ambos del satélite ERS-2. A pesar de una cierta diferencia de escalas entre ambas imágenes (las imágenes de ATSR-2 tienen la resolución de 1 Km^2 / píxel) se ve algunas formas superficiales semejantes. Por ejemplo, en la parte central de ambas imágenes (ver la figura 3.1.6) se ve claramente una frontera superficial del frente hidrográfico que separa dos masas de aguas que poseen unas temperaturas diferentes (la diferencia es de 0.5° a 0.7°C aproximadamente).

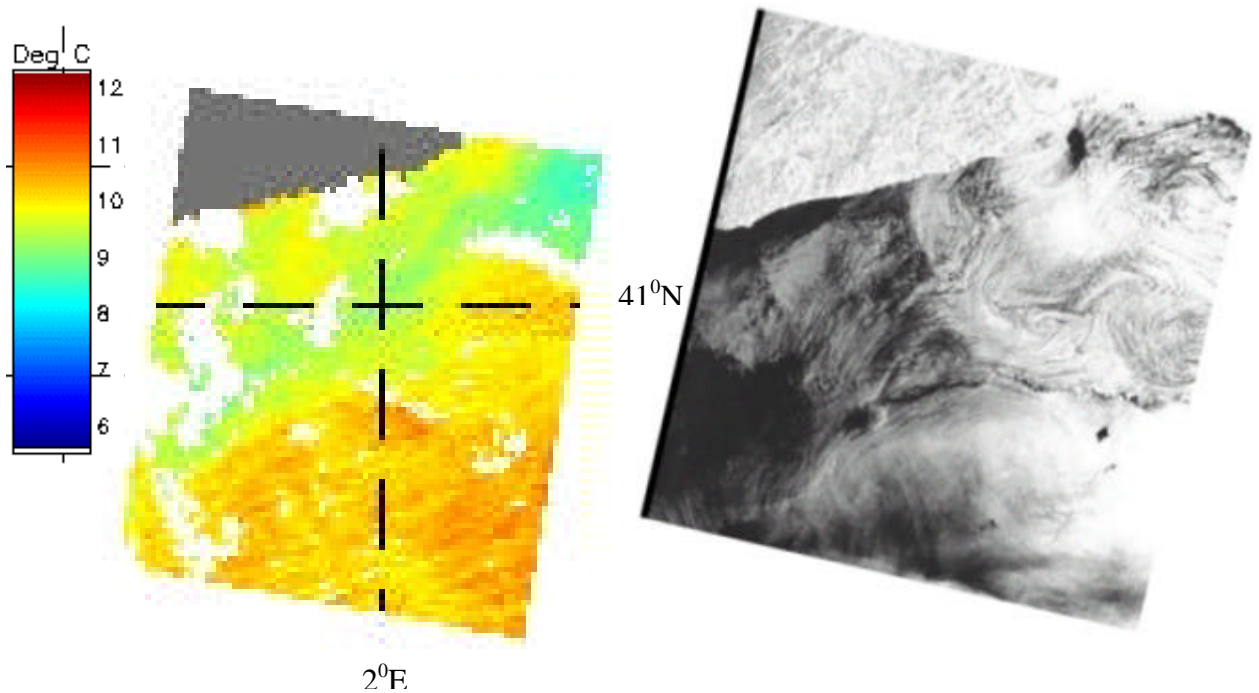


Figura 3.1.6. Dos imágenes de la misma área obtenidas por el ERS-2: un fragmento de la imagen ATSR-2 (infrarrojo) (izquierda) y un imagen SAR del recuadro 19 (derecha) del día 21.03.97 a las 10 horas (UTC). Fuente: colección de imágenes obtenidas mediante el proyecto *Clean Seas*.

Como ejemplo, la figura 3.1.7 también muestra el frente hidrográfico entre las latitudes de $42,2^{\circ}$ y $43,0^{\circ}$ N en ambos tipos de imágenes. Debido a la diferencia en la hora de adquisición de imágenes y otras causas técnicas, hubo solamente cuatro fechas cuando las imágenes del ATSR-2 y del SAR coincidieron en el área de Mediterráneo Noroccidental.

Otro ejemplo de aprovechamiento múltiple de las imágenes adquiridas en el ámbito del proyecto *Clean Seas* en el área del Mar Báltico mediante diferentes tipos de sensores espaciales se muestra en las figuras 3.1.8 - 3.1.10.

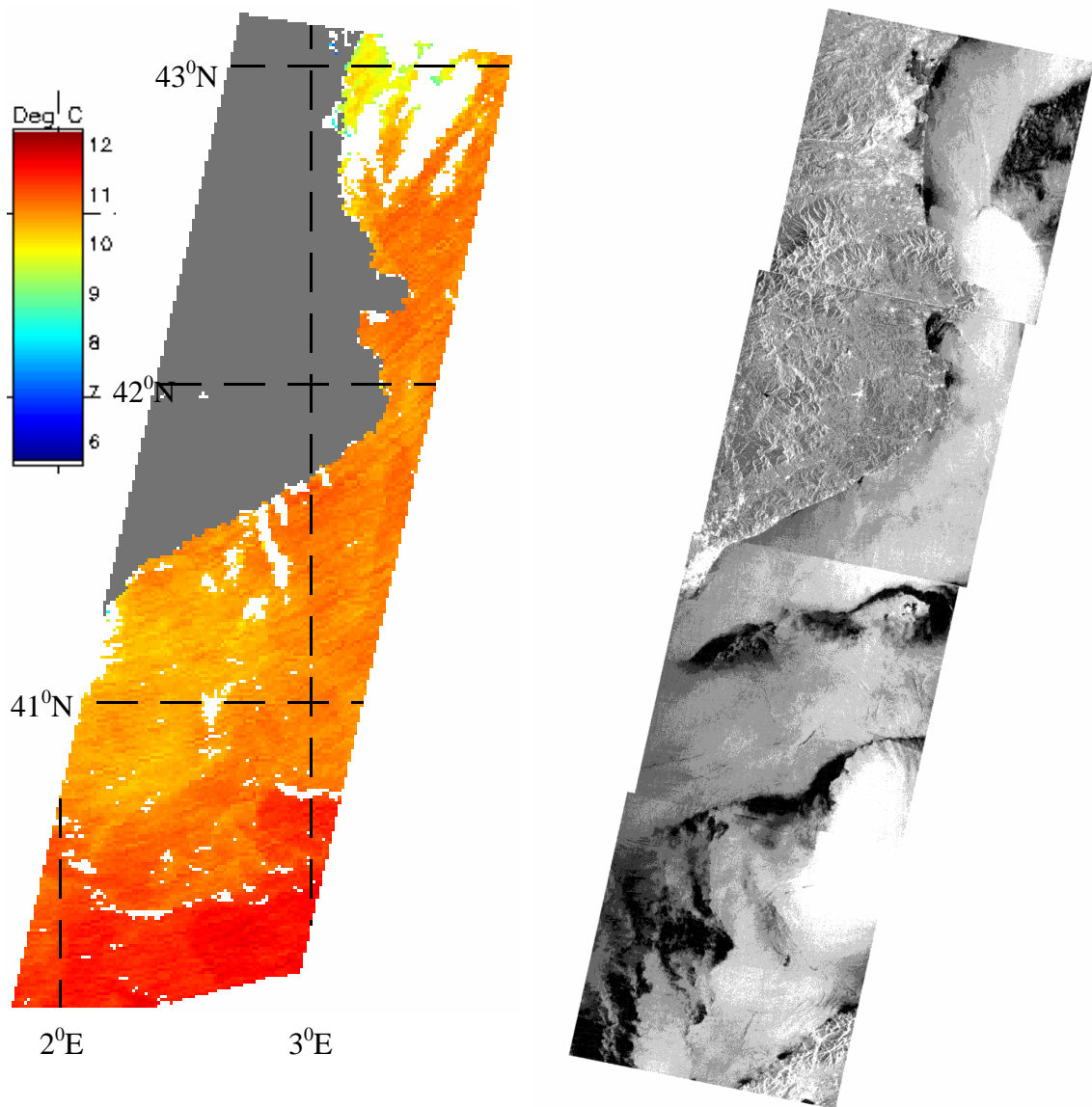


Figura 3.1.7. Dos imágenes de la misma área de ERS-2: un fragmento de la imagen ATSR-2 (infrarrojo) (izquierda) y un colage de las imágenes SAR de los recuadros 7, 8, 9 y 10 (derecha) del día 02.03.97 a las 10 horas (UTC). Fuente: colección de imágenes obtenidas mediante el proyecto *Clean Seas*.

Podemos resaltar que las informaciones que poseen las imágenes de diferentes tipos pero de la misma área de la monitorización pueden complementarse una con otra, lo que facilita mucho la interpretación del contenido gráfico de las imágenes y da una visión múltiple de la variedad de los fenómenos físicos que se manifiestan en la superficie del mar.

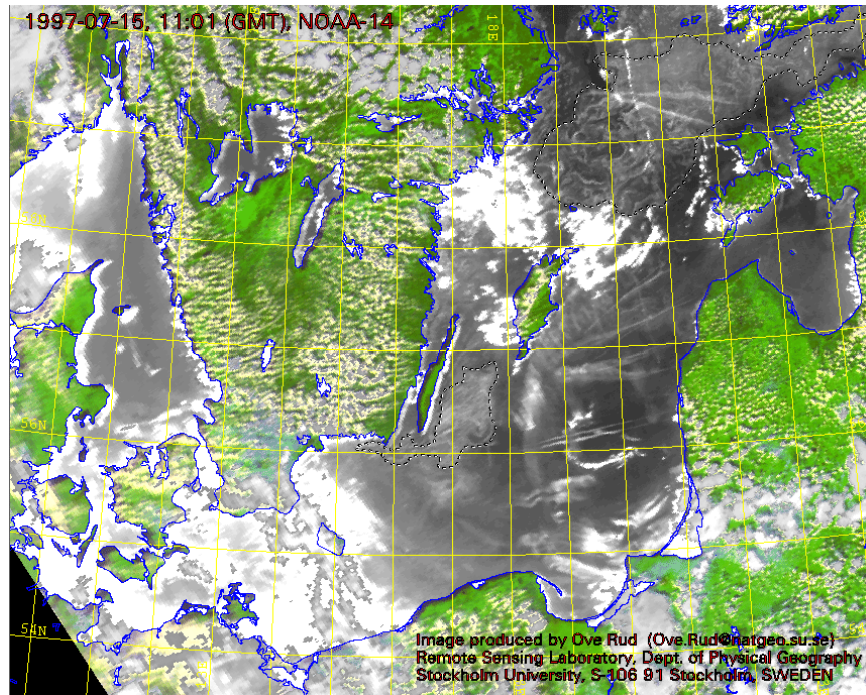


Figura 3.1.8. Una imagen general del dispositivo AVHRR del satélite NOAA-14 del área del Mar Báltico tomada el día 15 de julio de 1997. En la parte central y nordeste de la imagen se ve las áreas marcadas del fenómeno “algae bloom”. Fuente: banco de datos gráficos de Ove Rud (*Stockholm University*).

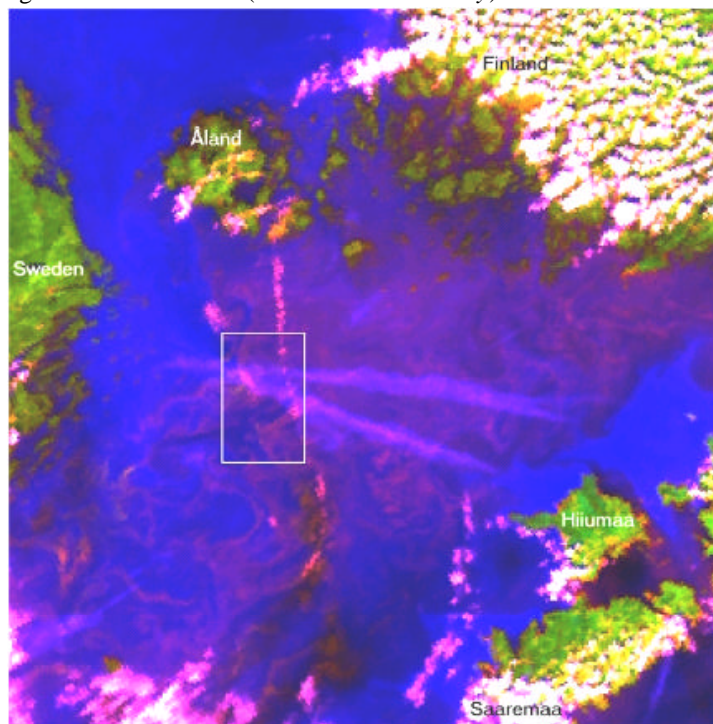


Figura 3.1.9. Composición múltiple de una imagen AVHRR (visible, infrarrojo cercano e infrarrojo térmico RGB) adquirida el día 15 de julio de 1997 a las 11:01 horas UTC en el Norte del Mar Báltico entre Suecia (izquierda) y Finlandia (arriba, derecha). Las dimensiones longitudinales de la imagen son de 300x300 Km y el rectángulo en el centro indica la posición de las sub-secciones en la figura 3.11. Fuente: *Final Clean Seas Report* (Jolly et al., 2000).

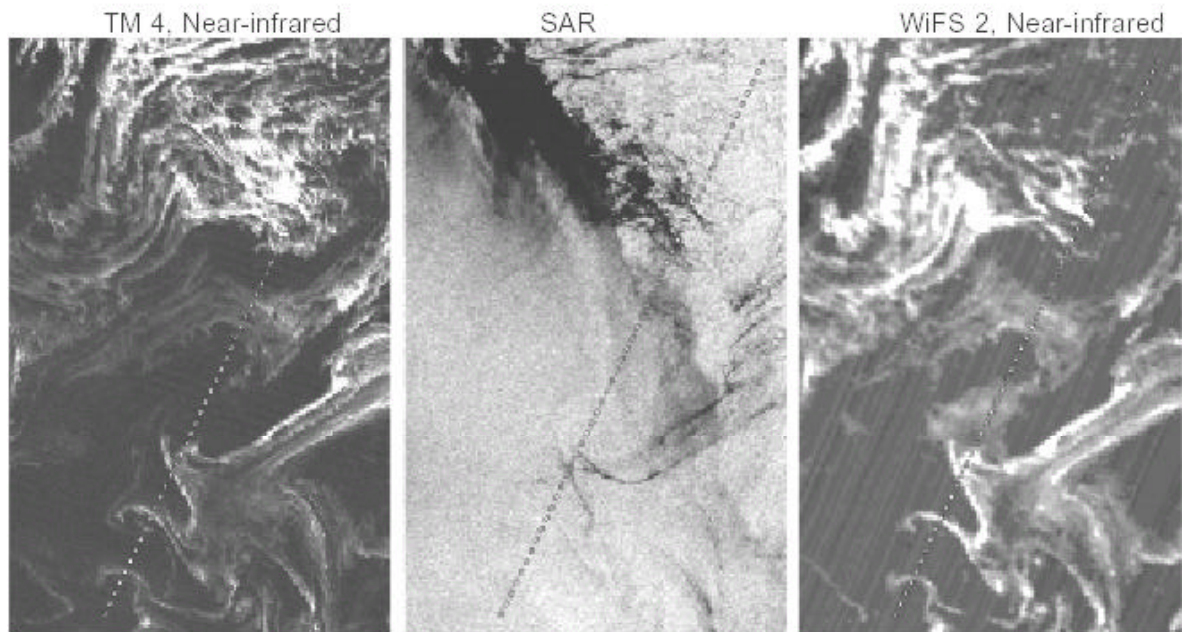


Figura 3.1.10. Tres fragmentos (29 Km x 45 Km) de las imágenes de diferentes satélites de una misma zona indicada en la figura 3.9. Son imágenes (de derecha a izquierda) de *Thematic Mapper* TM, banda 4 (infrarrojo cercano) del LANDSAT-4, de SAR del ERS-2 y de WiFS-2 (infrarrojo cercano) del IRS-P3 adquiridos durante 2 horas aproximadamente del día 15 de julio de 1997, todas con una resolución de 50 m por píxel. Las manifestaciones de “*algae bloom*” se ve claramente en todas las imágenes. Fuente: *Final Clean Seas Report* (Jolly et al., 2000).

[Regresar al Índice](#)[Seguir](#)