

## DETECCION DE ESTRUCTURAS DE MESOESCALA EN EL MEDITERRANEO OCCIDENTAL MEDIANTE IMAGENES SAR DEL ERS-1 Y DATOS OCEANOGRAFICOS

B. Shirasago Germán, E. García Górriz y J. Font Ferré  
*Institut de Ciències del Mar, CSIC, P. Joan de Borbó s/n, 08039 Barcelona, tel: 93  
2216416, fax: 93 2217340, e-mail: ber@masagran.icm.csic.es, elisa@masagran.icm.csic.  
es, jfont@masagran.icm.csic.es*

**RESUMEN.**- En este trabajo se presentan los resultados más recientes de las investigaciones realizadas en el Mar Catalán (Primavera 1992) y Mar de Alborán (Otoño 1992), a partir de una serie de imágenes SAR del satélite ERS-1 y datos oceanográficos obtenidos mediante un CTD (Perfilador de Temperatura, Conductividad y Profundidad) y un ADCP (Perfilador de Corrientes Marinas por Efecto Doppler). Los resultados corroboran la gran utilidad del SAR/ERS-1 en la detección de procesos de mesoescala, tales como la influencia del cañón de Palamós sobre la corriente Liguro-Provenzo-Catalana y un gran remolino en la parte oceánica del Mar Catalán. En el Mar de Alborán se detectaron los grandes giros anticiclónicos y la corriente Argelina, observándose en todos los casos una importante correlación con los datos de barco.

**ABSTRACT.**- This paper presents recent results of oceanographic research carried out in the Catalan Sea (Spring 1992) and in the Alboran Sea (Autumn 1992), from a set of ERS-1 Synthetic Aperture Radar scenes and oceanographic data obtained from a CTD (Conductivity, Temperature and Depth profiler) and an ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). The results corroborate the great utility of the ERS-1 SAR in the detection of mesoscale phenomena, such as the influence of the Palamos canyon on the Liguro-Provenço-Catalan current and a big eddy in the oceanic part of the Catalan Sea. On the other hand, the signature of the two big anticyclonic gyres were observed in the Alboran Sea, as well as the beginning of the Algerian Current. It has to be mentioned that an important correlation between SAR images and ship data was found in all cases.

### 1.- INTRODUCCION

El Mediterráneo occidental está dominado por una circulación general de carácter ciclónico con una corriente principal relativamente débil a lo largo del talud continental, sobre la que se superponen intensos fenómenos de mesoescala. Las dimensiones de estas estructuras de mesoescala en la capa superficial, del orden de decenas de kilómetros, permiten su detección por el Radar de Apertura Sintética del satélite ERS-1. El presente trabajo se localiza en dos zonas distintas de esta cuenca: el Mar Catalán y el Mar de Alborán, ambos afectados por variabilidad de mesoescala de origen diverso.

La dinámica superficial del Mar Catalán está dominada por una corriente proveniente del noroeste llamada Corriente Liguro-Provenzo-Catalana, localizada principalmente sobre el talud continental. Esta corriente está asociada a otro fenómeno de gran relevancia: la presencia de un frente de plataforma-talud (Font *et al.*, 1988) representado por importantes gradientes de densidad. Otro aspecto no menos importante que los anteriores, pero de carácter morfológico, es la existencia de una serie de cañones submarinos en la parte norte de la estrecha plataforma continental del litoral catalán, que modifican el flujo de la corriente

principal a lo largo del talud (Masó *et al.*, 1990). Una de las zonas en las que se ha enfocado este estudio es en las inmediaciones del cañón de Palamós.

Por otra parte, el Mar de Alborán es la primera subcuenca mediterránea con la que se encuentran las masas de agua provenientes del Atlántico y que cruzan el Estrecho de Gibraltar por la capa superficial (Dunguy, 1962). Una de las características más importantes de la circulación superficial de la zona occidental de este mar es la formación de un gran giro anticiclónico casi permanente, con un diámetro aproximado de 100 km. En la parte este del Mar de Alborán es posible observar en ciertas ocasiones un segundo giro, de dimensiones parecidas al occidental, o en su lugar una corriente a lo largo de las costas africanas. Acoplado a ambos giros se encuentra un frente en forma de onda y una intensa corriente en chorro en la capa superficial. Esta corriente es responsable de introducir aproximadamente 1 Svdrup (1 millón de metros cúbicos por segundo) de agua relativamente poco salada hacia adentro del Mediterráneo (Viudez *et al.*, 1995).

## 2.- METODOLOGIA

El presente estudio fue llevado a cabo con 28 imágenes SAR/ERS-1, en formato FDC, obtenidas de la Agencia Espacial Europea a través del proyecto "Evaluation of ERS-1 microwave sensors capability in the study of oceanic fronts". Como referencia se han usado también imágenes AVHRR del satélite NOAA-11 suministradas por el Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Valladolid y ATSR-SST/ERS-1, del Rutherford Appleton Laboratory. Todas ellas obtenidas durante los periodos de realización de las campañas oceanográficas (mayo-junio y septiembre-octubre de 1992).

Las imágenes SAR fueron reducidas de su tamaño original, 5000x6300 pixels y 16 bits a 512x512 y 8 bits. Se usaron ventanas de reducción de 10x12 y 5X6, para obtener una resolución de pixel de aproximadamente 200 y 100 metros, respectivamente. La mayoría de ellas fueron georeferenciadas y corregidas geométricamente usando el sistema GEOJARS de MICROM.

Todos los datos de barco fueron obtenidos a bordo del B/O García de Cid del CSIC. Los primeros, durante la primavera de 1992 en el Mar Catalán, correspondiendo a la campaña PRIM-1 (13 al 19 de mayo) y comprendiendo 52 estaciones oceanográficas. Por otro lado, los procedentes de la campaña FE92, realizada en el otoño del mismo año (22 de septiembre al 7 de octubre), con 134 estaciones. En cada estación oceanográfica se obtuvieron registros de CTD (Conductividad Temperatura y Profundidad), ADCP (medidor de corrientes marinas por efecto Doppler) y en la navegación entre estaciones se realizaron mediciones continuas de temperatura-salinidad superficiales y perfiles ADCP. Adicionalmente en la campaña realizada en el Mar Catalán se lanzaron 5 boyas de deriva superficiales en las primeras estaciones localizadas al norte de la zona de estudio, que fueron seguidas por radio durante 5 días. A partir de los datos de CTD se obtuvieron los campos de velocidades geostróficas a 10 metros de profundidad, y se seleccionaron los registros ADCP, a la mínima profundidad posible que es de 16 metros, que se promediaron cada 30 (MAR Catalán) o cada 60 (Mar de Alborán) minutos.

## 3.- RESULTADOS EN EL MAR CATALAN

Mediante el campo de velocidades geostróficas calculados a partir de los datos de CTD, se puede distinguir la corriente de talud. Esta corriente fluye en la zona de estudio de noroeste a sureste, registrando velocidades máximas de 20 cm/s (fig 1a). En la parte externa de la corriente de talud (lado derecho), se puede apreciar una cierta perturbación provocada por



un flujo débil (5-10 cm/s) proveniente del Este, incorporándose posteriormente a la corriente principal.

En la figura 1b se presenta una imagen SAR georreferenciada (50x50kms) del 15 de mayo de 1992, con la isóbata de 500 metros y vectores de velocidades ADCP superpuestos. Esta fué obtenida bajo unas condiciones de viento bastante débiles (3 m/s aprox.), pudiéndose observar una amplia zona de baja retroreflectancia (backscattering) producto de la escasez de viento. A pesar de ello, se alcanza a discernir la corriente de talud, representada por líneas negras (Johannessen *et al*, 1993), así como una desviación muy importante de ésta y en sentido ciclónico, en la zona del cañon de Palamós. Ambos fenómenos son corroborados por los vectores ADCP. Por otra lado, en la parte inferior derecha de la imagen se detecta una zona con líneas negras semicirculares, producto aparentemente de un vórtice que concuerda con los cálculos geostróficos.

En la imagen NOAA-11 de la figura 2a se puede observar entre varios fenómenos de gran relevancia, un gran remolino (60 kms) en la parte oceánica de la zona de estudio y en la figura 2b una ampliación de la imagen SAR (25x25 Kms) del 15 de mayo. En esta última se observan con mayor detalle el desvío de la corriente en el cañon de Palamós y una parte del gran remolino (abajo a la derecha), representados ambos por líneas de baja retroreflectancia.

#### 4.- RESULTADOS EN EL MAR DE ALBORAN

Durante la época de estudio los dos grandes giros anticiclónicos estuvieron presentes, lo cual lo muestran tanto la gráfica de temperatura superficial obtenida a partir de los datos de CTD (fig. 3a) , como en la imagen SST (Sea Surface Temperature) del ATSR/ERS-1 (fig. 3b). En ambas se detectan los dos giros mediante la presencia de "núcleos calientes", además de que en la imagen SST se observa la corriente en chorro asociada al frente en forma de onda.

En la figura 4 se presenta el mosaico formado con 21 imágenes SAR/ERS-1 de diferentes días, incluyendo los vectores ADCP y las isóbatas de 100, 200, 1000 y 2000 metros. En ella se pueden distinguir los dos grandes giros anticiclónicos, el primero mediante un núcleo brillante (mayor retroreflectancia) debido a su temperatura (Fu y Holt, 1983) y a las condiciones atmosféricas, y ambos por las líneas oscuras que dibujan la corriente de chorro asociada al frente. Es de destacar el remolino, de aproximadamente 30 kms de diámetro, intrusionando el primer gran giro por su parte oeste, posiblemente originado por efectos atmosféricos. Por otra parte, el campo de velocidades ADCP y las imágenes SAR presentan una importante correlación. Finalmente, el mosaico presenta diferencias importantes en la señal de retroreflectancia, debido a las diferentes condiciones meteorológicas prevalecientes en cada día del paso del satélite.

#### 5.- CONCLUSIONES

Varios fenómenos de mesoescala han sido detectados por las imágenes SAR, NOAA-11, ATSR-SST y mediante datos de densidad y velocidad *in situ*, tanto en el Mar Catalán como en el Mar de Alborán.

La comparación de las imágenes SAR con los datos ADCP (medidor de corrientes marinas por efecto Doppler), han mostrado una gran correlación entre ellos. Las corrientes marinas han sido detectadas por el SAR como líneas de baja retroreflectancia (líneas oscuras), debidas al efecto de cizalladura o a la formación de microcapas de origen orgánico. Además de la detección por tales líneas, uno de los grandes giros en el Mar de Alborán ha sido identificado por su mayor brillantez, debida a su mayor temperatura y a procesos que ocurren en consecuencia en la capa límite atmosférica. Todo ello en gran concordancia con los vectores de velocidad ADCP. La detección de tales estructuras oceánicas se presenta dependiente de

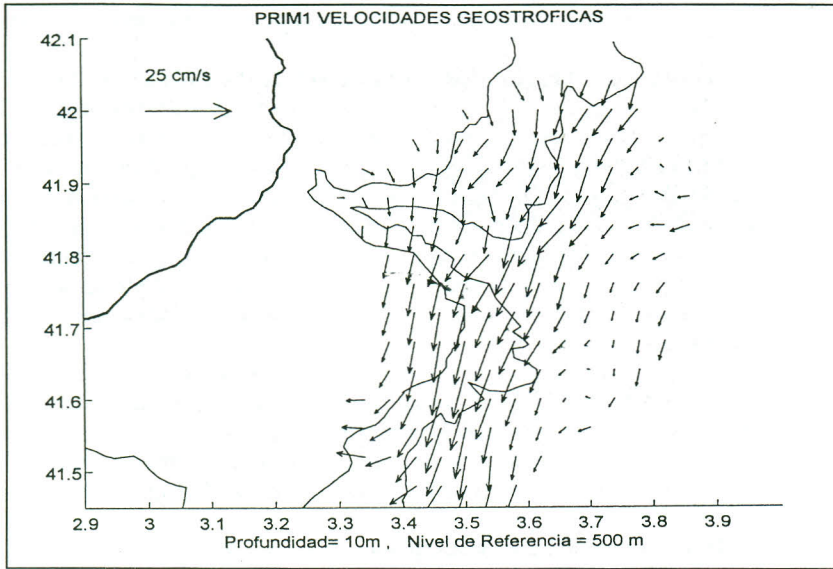


Figura 1a.- Velocidades geostróficas de la campaña PRIM-1, calculadas a una profundidad de 10 metros y con un nivel de referencias de 500m.

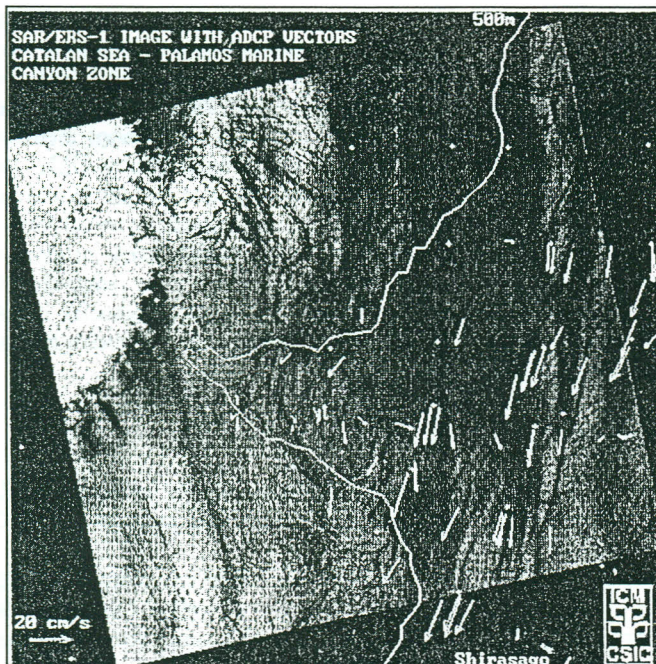


Figura 1b.- Imagen SAR georreferenciada, con una cobertura de 50x50 kms. Se observan sobrepuestos la isobata de 500m, mostrando la ubicación del cañón y los vectores de velocidad de la corriente medida con el ADCP



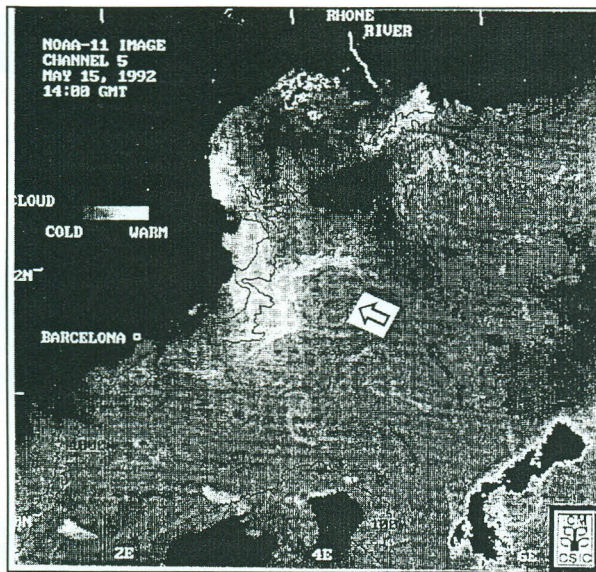


Figura 2a.- Imagen NOAA-11, canal 5, observándose un gran remolino en la zona de estudio (marcado por una flecha)

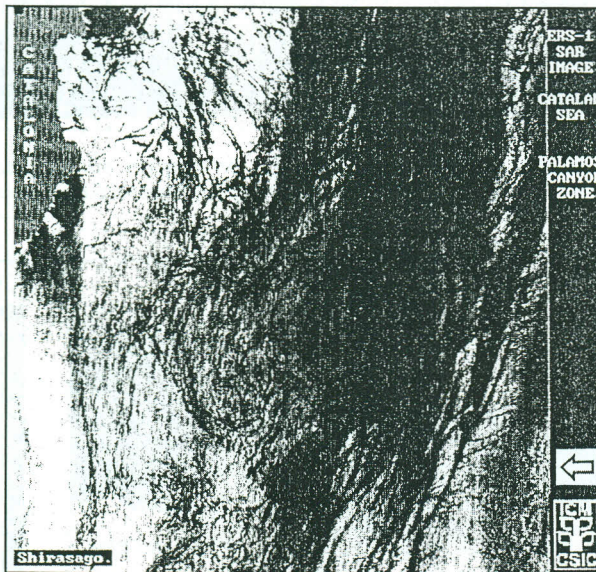


Figura 2b.- Imagen SAR 25x25 kms. en la que se detecta el importante desvío de la corriente de talud y una parte del remolino (marcado por una flecha)

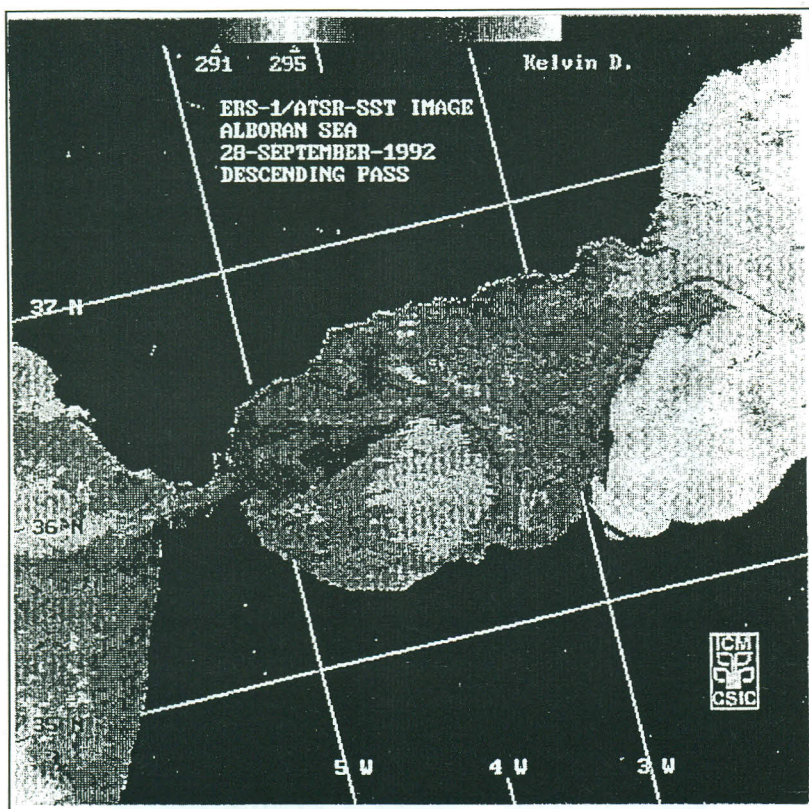


Figura 3a.- Imagen ATSR-SST georeferenciada. Se observan los dos grandes giros anticiclónicos (colores claros), el frente de temperatura en forma de onda y su corriente de chorro (jet asociado)

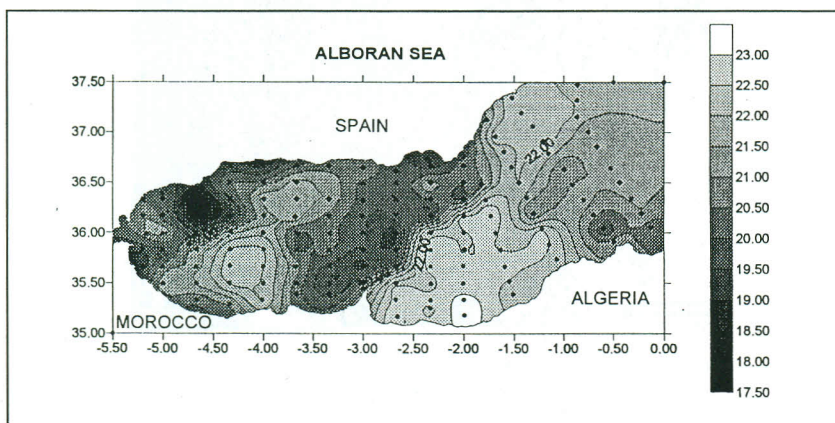
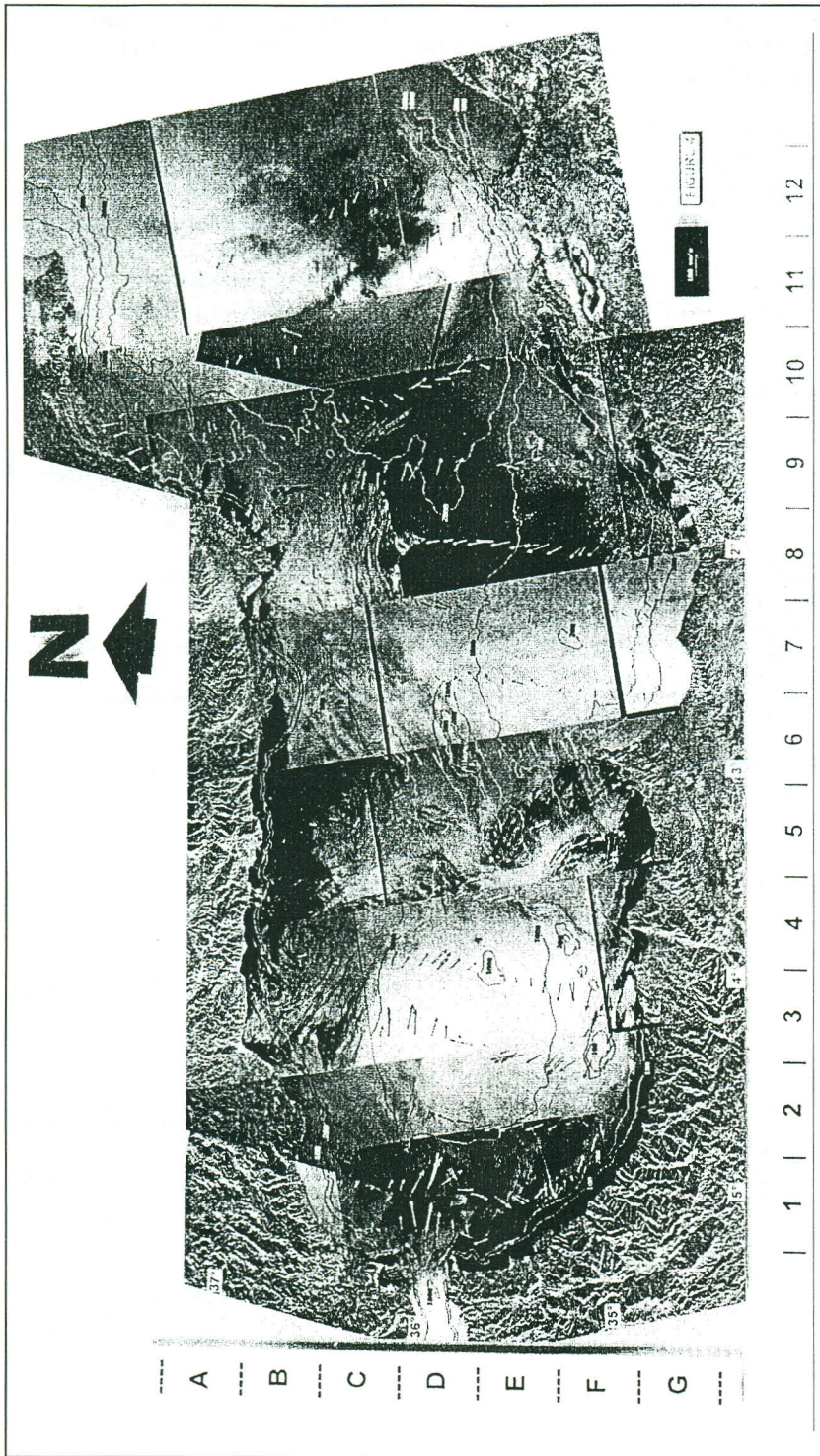


Figura 3b.- Distribución de temperaturas en el Mar de Alborán basada en datos CTD (mediciones de barco *in situ*). Se puede detectar claramente ambos giros anticiclónicos (mayor temperatura)





**Figura 4.-** Mosaico formado por 21 imágenes SAR de diferentes fechas entre 12 de Septiembre y el 14 de octubre de 1992, con los vectores de velocidad de la corriente con el ADCP y las isobatas de 100, 200, 1000 y 2000 metros sobrepuestas

las condiciones meteorológicas, en especial de la intensidad del viento. Se cuenta con imágenes SAR totalmente saturadas (alta retroreflectancia) debido a los vientos fuertes imperando en ese momento.

## 6.- AGRADECIMIENTOS

Este estudio es parte de los proyectos Euromodel MAST (MAS2-CT93-0066) y de la Agencia Espacial Europea (ESA ERS-1 AO E1). Los autores agradecen la colaboración de todas las personas involucradas en las campañas PRIM-1 y FE92, realizadas a bordo del B/O García del Cid. Así mismo, se agradece la cooperación obtenida del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Valladolid a través de los Doctores José Luís Casanova y Abel Calle.

## 7.- REFERENCIAS

- Dunguy, J. R., 1962. Hydrologie en mer d'Alborán. *Cah. Oceanogr.*, **14**: 573-578.
- Fu, L. and Holt, B. 1983. Some examples of detection of oceanic mesoscale eddies by the Seasat synthetic aperture radar. *J. Geophys. Res.*, **88** (C3): 1844-1852.
- Font, J., Salat, J. and Tintoré, J. 1988. Permanent features in the circulation of the Catalan Sea, *Oceanol. Acta*, sp. vol. **9**: 51-57.
- Johannessen, J. A., Roed, L.P. and Wahl, T. 1993. Eddies detected in ERS-1 SAR images and simulated gravity model. *Int. J. Remote Sensing.*, **14** (11): 2203-2213.
- Millot, C., 1987. Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Oceanol. Acta*, **10**, 2: 143-149.
- Masó, M., La Violette, P.E. and Tintoré, J. 1990. Coastal flow modification by submarine canyons along the NE Spanish coast. *Sci. Mar.*, 1090. **54**(4): 343-348.
- Viudéz, A., Tintoré, J. and Haney, R.L. 1995. Three-dimensional structure of the two anticyclonic gyres in the Alboran Sea. *J. Phys. Oceanogr.* (en prensa).