

Perspectivas en el uso de los sensores de microondas en estudios de circulación oceánica

Jordi Font

Institut de Ciències del Mar (C.S.I.C.), P^o Nacional, s/n.
08003 Barcelona.

La utilización de los sensores remotos en estudios de circulación en mar abierto tiene su origen en dos factores fundamentales : las dificultades del trabajo de campo desde buques oceanográficos, y la falta de sinopticidad en las medidas de un fluido cuyo estado puede variar significativamente durante el tiempo empleado en muestrear una región medianamente extensa.

En las zonas litorales, los estudios por teledetección de la interfase tierra-mar o de las aguas con fuerte influencia continental se realizan con imágenes del tipo LANDSAT, que proporcionan una resolución y cobertura espaciales adecuadas. En cambio en mar abierto los fenómenos dinámicos objeto de estudio son de escala sinóptica (100-1000 km) o de mesoescala (10-100 km) y la zona de observación (superficie del mar) presenta unas variaciones radiométricas mucho menores que cuando intervienen aguas de origen continental. Ello obliga a la utilización de información procedente de satélites tipo METEOSAT y sobre todo NOAA/TIROS, que tienen la ventaja de cubrir un área suficiente y con una repetitividad adecuada (intervalos de 12 horas en el segundo caso) para asegurar una correcta captación de las escalas espaciales y temporales que intervienen en la dinámica oceánica. La disminución de la resolución espacial (resulta del orden de 1 km) con respecto a los productos LANDSAT, no es crítica a causa de dichas escalas espaciales.

La circulación general marina está casi en equilibrio con el campo de masas (equilibrio geostrófico) y en consecuencia las corrientes son mayoritariamente debidas a las diferencias de densidad en el agua, que al ser ésta prácticamente incompresible se reducen a diferencias de temperatura y salinidad. Dado que todos los radiómetros operados desde satélite incluyen la banda del infrarrojo térmico, las determinaciones de las distribuciones superficiales de densidad, y en consecuencia de la circulación, se han aproximado comunmente a partir de imágenes termográficas adecuadamente procesadas para obtener una máxima visualización de las diferencias de temperatura, aprovechando la resolución de 0.5°C del radiómetro AVHRR de NOAA/TIROS.

En el Mediterráneo las condiciones atmosféricas habituales (escasa nubosidad) y la facilidad de acceso para la realización de medidas de verdad terreno, han llevado a una situación de uso muy generalizado de este tipo de tecnología como complemento a los estudios oceanográficos clásicos (PHILIPPE y HARANG, 1982). Desde el año 1983 la Dirección de la Meteorología Espacial Francesa publica mensualmente un boletín (SATMER) con imágenes termográficas del Mediterráneo y Atlántico Nororiental, incluyendo análisis semanales de la posición e intensidad de los distintos fenómenos observables (frentes, remolinos, zonas de convergencia y divergencia, etc.).

El estudio de la evolución temporal de las imágenes ha permitido no sólo una mejora en las descripciones de los esquemas de circulación superficial conocidos, sino incluso una correcta interpretación de datos hidrográficos que, al haber sido tomados sin la adecuada sinopticidad o con insuficiente cobertura espacial, habían llevado a conclusiones erróneas admitidas sin discusión durante largo tiempo por la comunidad oceanográfica. Un ejemplo claro es la reciente observación (MILLOT, 1985) de remolinos anticiclónicos en la zona cercana a la costa argelina, que alcanzan diámetros de hasta 100 a 200 km y permanecen estacionarios durante varios meses. Estos remolinos atrapan en su interior aguas más saladas procedentes del Mediterráneo Oriental y que acaban formando parte del flujo de aguas mediterráneas que

salen por el estrecho de Gibraltar. La observación de estas aguas cerca de la costa africana se había siempre interpretado como una demostración de que el flujo hacia el oeste se realizaba por el borde sur del Mediterráneo, a pesar de que las consideraciones teóricas, que implican una circulación de carácter ciclónico, estaban en contra de ello. Ahora gracias a las termografías obtenidas por satélite, se ha podido comprobar que tal flujo continuo no existe y que la presencia de las aguas más saladas tiene otra explicación muy clara.

Pero existen otros casos en los que fuertes corrientes de densidad son debidas a importantes gradientes de salinidad que no van acompañados por diferencias notables de temperatura. En tales circunstancias rasgos fundamentales de la circulación pueden pasar totalmente inadvertidos en las termografías, como ocurre en el caso del mar Catalán. La corriente principal, hacia el sudoeste a lo largo de la costa peninsular, está asociada a un frente de salinidad y no se distingue en las imágenes de satélite. En cambio sí aparece el frente térmico balear que corresponde a una corriente de retorno más débil y menos estable (FONT et al., 1986).

En este contexto ¿qué ofrecen los sensores de microondas que pueda mejorar la información sobre circulación oceánica detectable desde satélite? En primer lugar hay un aspecto obvio: la transparencia de la atmósfera a la propagación de las microondas evita el grave problema de la ocultación de la superficie del mar por la capa nubosa. En el mar no tiene sentido superponer imágenes para efectuar parches, como se hace en muchos casos de aplicaciones sobre tierra.

Los radiómetros de microondas no han permitido de momento captar ningún parámetro claramente relacionable con la salinidad, y en consecuencia mejorar la información dinámica proporcionada por las termografías. En cambio los sensores activos, los radares, han demostrado ya ser una herramienta que permite dar un auténtico salto cualitativo en la teledetección de los oceános. La breve vida del satélite SEASAT (tres meses y medio en verano de 1978) implicó la existencia de una cantidad enorme de imágenes

de radar que, tras una laboriosa corrección y asimilación de la información, ha dejado entre los oceanógrafos físicos una prometedora perspectiva ante el próximo uso generalizado de los sensores de microondas. Distintos tipos de radares (altímetro, scatterómetro, apertura sintética) fueron usados en el vuelo experimental del SEASAT y permitieron obtener información sobre inclinación del nivel del mar, viento superficial, oleaje, corrientes y mareas, todos ellos fenómenos directamente implicados en la dinámica oceánica, así como imágenes de la superficie del mar con alta resolución espacial.

El altímetro mide con una precisión de 10 cm la distancia estrictamente vertical entre el satélite y la superficie del mar. Conociendo la altura de la órbita se puede obtener la topografía oceánica a lo largo del recorrido del satélite. La repetitividad de las órbitas permite comparar topografías correspondientes a pases distintos y establecer su variabilidad a diferentes escalas de tiempo. El promedio del nivel del mar a gran escala temporal (por ejemplo los tres meses del SEASAT) permite obtener una imagen del geoide terrestre, ya que la superficie del mar, una vez eliminadas todas sus fluctuaciones, corresponde a una superficie de potencial gravitatorio constante. El resultado que se obtiene, con desniveles de hasta 100 m, es un reflejo tanto de las inhomogeneidades en la composición de la corteza terrestre como sobre todo del relieve del fondo marino. La figura 1a es una composición adecuadamente iluminada de los resultados obtenidos con el SEASAT; pueden observarse claramente accidentes conocidos del fondo oceánico como la dorsal atlántica (1), sus zonas de fractura asociadas (2), las grandes fosas (3) y cadenas montañosas (4 y 5) del Pacífico, todos ellos reflejados en la topografía de la superficie del océano.

Gradientes horizontales más fuertes pero con diferencias verticales inferiores al metro están asociados al ajuste quasi-geostrófico de las corrientes marinas. Corrientes de densidad intensas se corresponden con importantes inclinaciones del nivel del mar en dirección perpendicular a la del movimiento. Además la variabilidad sinóptica y de mesoescala de estas co-

rientes, con escalas de tiempo del orden de días y semanas, también se refleja en variabilidad de dichos gradientes. La figura 1b muestra los distintos grados de desviación respecto al nivel medio, una vez filtrados los fenómenos de más alta frecuencia, de los datos del altímetro del SEASAT durante un mes. Las desviaciones máximas, del orden de 10 a 25 cm, se corresponden con las corrientes oceánicas más notables: el Gulf Stream (6), Kuro Shio (7), Agulhas (8), Convergencia Malvinas-Brasil (9) y la Corriente Antártica hacia el Oeste (10). Observando la variabilidad a escala temporal menor, se puede extraer de los datos del altímetro información para confeccionar mapas de mareas y de altura significativa de las olas para toda la Tierra. En estudios de oceanografía regional el altímetro tiene el interés de permitir detectar estructuras del tipo de remolinos y otros fenómenos de mesoescala.

El scatterómetro es un radar diseñado para determinar el valor de la intensidad y dirección del viento al nivel superficial. En el SEASAT trabajaba con una longitud de onda de unos 2 cm y cubría una zona de 500 km de ancho a ambos lados de la trayectoria del satélite. Mediante el análisis del espectro Doppler producido por el reflejo de la radiación en la superficie rugosa del mar, se obtienen valores de la velocidad del viento superficial promediados en áreas de 50 x 20 km. Durante el vuelo del SEASAT se realizó un experimento de calibración entre Escocia e Islandia y se comprobó que el radar proporcionaba datos con una precisión de 2 m/s en intensidad y 20° en dirección, es decir prácticamente mejor que la información ofrecida por los anemómetros instalados en la mayoría de buques (ALLAN y GUYMER, 1984). Además se han podido tener distribuciones del vector velocidad del viento en océanos donde el escaso tráfico marítimo no lo había hecho posible hasta el momento.

El radar de apertura sintética (SAR) da una resolución espacial parecida a la de los productos de la serie LANDSAT (25 m) en imágenes cuyas tonalidades de gris vienen dadas por la rugosidad, pendiente y composición de

la superficie reflectante y tienen apariencia de fotografías en relieve. El proceso de las imágenes del SAR es complejo e incluye la interpretación y corrección de toda una serie de distorsiones no homogéneas, que afectan principalmente a las imágenes de objetos en movimiento (como las olas) y dependen de la dirección relativa a la del satélite. El análisis de Fourier bidimensional de las imágenes permite obtener el espectro del oleaje, determinando las longitudes de onda y direcciones dominantes.

Pero la observación de estas imágenes puede proporcionar información de índole distinta y también nueva por lo que respecta a la teledetección de los océanos. En el mar de Noruega se ha podido estudiar, con imágenes SAR del SEASAT, la presencia y estructura de frentes de densidad debidos fundamentalmente a diferencias de salinidad (ALLAN y SCOON, 1986). Un cambio brusco en la densidad del agua implica también un cambio en su índice de refracción, y en consecuencia se observarían diferencias en la rugosidad de la superficie del mar a ambos lados del frente. En situaciones de suficiente oleaje se detecta perfectamente el frente viendo como se desvía la dirección de propagación de las olas al cruzarlo.

La figura 2 es una imagen SAR del canal de la Mancha en la que puede localizarse la posición de diversos bancos de arena por los cambios que se producen en la rugosidad de la superficie del mar, a causa de las ondas generadas por el flujo de las corrientes de marea sobre los bancos. A pesar de que las microondas no penetran más allá de la superficie oceánica pueden permitir la localización y descripción de fenómenos profundos, como las ondas internas, gracias al reflejo que de ellos puede llegar a producirse en la rugosidad de la superficie.

El satélite europeo de observación de la Tierra ERS-1, cuyo lanzamiento está previsto para finales de 1989, estará equipado con nuevas versiones de éstos y otros sensores de microondas con la intención de utilizarlos fundamentalmente para estudios oceanográficos. El Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona, juntamente con el Institute of Oceanographic Sciences

británico y otras instituciones españolas, ha presentado ante la Agencia Europea del Espacio un proyecto para el estudio de frentes marinos en el Mediterráneo Occidental, comparando datos hidrográficos con la información procedente del altímetro y el SAR del ERS-1. Esperamos que en un futuro próximo los estudios de dinámica oceanográfica utilizando la teledetección por microondas dejen la fase experimental en que ahora se encuentran y pasen a ser la poderosa herramienta en manos de los oceanógrafos que se prevé.

Bibliografía

- ALLAN, T.D. y GUYMER, T.H. 1984. Seasat measurements of wind and waves on selected areas over JASIN. Int.J.Remote Sensing, 5: 373-408
- ALLAN, T.D. y SCOON, A. 1986 (en prensa) Study of the Iceland-Faroe oceanic front by Seasat's SAR
- FONT, J. SALAT, J. y TINTORE, J. 1986. Permanent features in the circulation of the Catalan Sea. A aparecer en Oceanol.Acta.
- INSTITUTE OF OCEANOGRAPHIC SCIENCES 1986. Remote sensing of the oceans, Archway Press Ltd., Poole, 12 pp.
- MILLOT, C. 1985. Some features of the Algerian current. J.Goephys.Res., 90(4) 7169-7176
- NASA 1984. Oceanography from space. U.S. Government Printing Office, 1984-784-583
- PHILIPPE, M. y HARANG, L. 1982 Surface temperature fronts in the Mediterranean from infrared satellite imagery. En Hydrodynamics of semi-enclosed seas. J.C.J. Nihoul Ed., Elsevier, Amsterdam: 91-128
- SATMER 1983-1986 Bulletin mensuel de renseignements océanographiques obtenus a partir de mesures satellitaires météorologiques sur la Méditerranée et l'Atlantique Nord-Est Direction de la Météorologie Spatiale. France

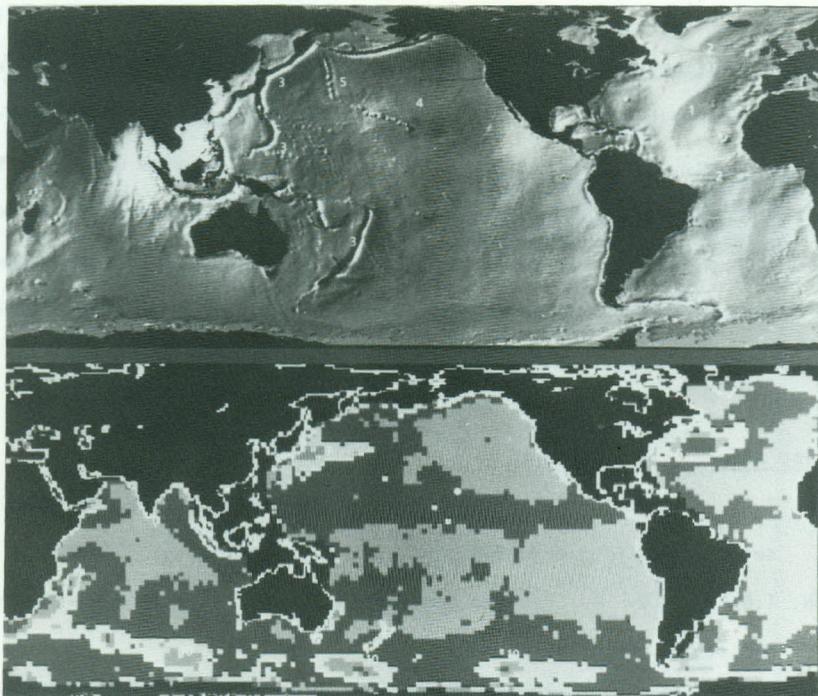


Fig. 1 Topografía del fondo oceánico (a) y principales corrientes de densidad (b), detectadas por medio del altímetro del satélite SEASAT en verano de 1978 (de NASA, 1984)



Fig. 2 Imagen del canal de la Mancha obtenida por el radar de apertura sintética (SAR) durante el vuelo del SEASAT (de Institute of Oceanographic Sciences, 1986)