

IDENTIFICACION DE ESTRUCTURAS OCEANICAS MEDIANTE EL USO DE UNA TECNICA DE IDENTIFICACION DE CONTORNOS EN IMAGENES INFRARROJAS DE SATELITE.

P.A. Arnau del Amo, M.A. García López, J. Puigdefàbregas Sagristá y A. Sánchez-Arcilla Conejo.

*Universitat Politècnica de Catalunya. E.T.S.Enginyers de Camins, Canals i Ports.
Laboratori d'Enginyeria Marítima. c/ Gran Capità, s/n, Mòdul D-1. 08034 Barcelona
(Spain). E-mail: darnau@etseccpb.upc.es; Tel. (93) 401 77 87. Fax. (93) 401 73 57.*

RESUMEN.- El siguiente trabajo investiga un método para definir los contornos de separación de dos aguas con distinta traza térmica en una imagen infrarroja. La obtención inicial de una línea fronteriza que marque los límites de estructuras oceanográficas superficiales constituye el paso previo a la aplicación de técnicas más avanzadas para refinar la clasificación y "etiquetado" de dichas estructuras.

ABSTRACT.- A new algorithm has been developed and tested to characterize the boundary between two water volumes with different thermal features in a infrared image. The initial definition of the contour of surface oceanographic structures is a first step towards the application of other advanced techniques in order to improve the classification and labelling of these structures.

1.- INTRODUCCION

Este trabajo surge a raíz del desarrollo de una campaña oceanográfica desarrollada en el litoral catalán frente a las costas de Blanes en junio de 1993 (MECA '93), encaminada a comprender la circulación y al estudio de estructuras de mesoscala de los campos escalares de temperatura y salinidad (Rojas et al.,1995). Para la mejor comprensión de lo observado durante la campaña se adquirieron imágenes infrarrojas del sensor AVHRR del satélite NOAA del verano de 1993, pensando en la posibilidad de obtener mapas de temperaturas y utilizarlos como trazadores de la corriente (ver Figura 1). Las imágenes de satélite fueron corregidas geoméricamente mediante el establecimiento de puntos de control inicialmente, y posteriormente tomando la costa como referencia; y atmosféricamente haciendo uso de un algoritmo Split-window cuyos coeficientes se calcularon mediante una regresión entre los datos de temperatura 'in situ' recogidos durante la campaña y las temperaturas de brillo (Figa et al, sometido). Además se enmascaró la tierra y las nubes y se superpuso las líneas batimétricas de 100, 200, 1000 y 2000 metros.

2.- EL PROBLEMA OCEANOGRAFICO

Como se observa en la figura anterior, la campaña coincidió en el tiempo con la advección de una masa de agua fría (y poco salada) procedente del Golfo de León transportada por la Corriente Catalana hacia el SW. Es conocido el hecho de que la topografía (y en particular,

la de los cañones de Creus, Palamós y Blanes) pueden afectar a la circulación en la

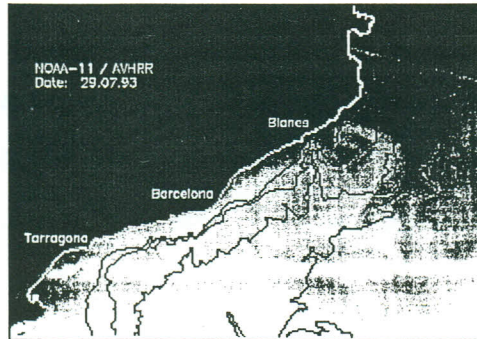


Figura 1.- Imagen del sensor AVHRR del satélite NOAA-11 del 29 de Julio de 1993. Campo superficial de temperaturas. Fuente: Rojas et al., 1995.

plataforma continental catalana (ver e.g. Masó y Tintoré, 1991). Estas variaciones en la corriente parecen reflejarse también en los resultados de la campaña MECA'93 tal y como sugiere la Figura 2, en la que se muestran los giros descritos por una boya lagrangiana a la deriva lanzada al inicio de la campaña. Comparando las distribuciones escalares de temperaturas calculadas con las trayectorias (ver Figuras 1 y 2), parece haber una relación 'a simple vista' entre ellas. La inspección visual de la Figura 1, permite adivinar la presencia de núcleos de remolinos pero no con nitidez y menos sin la información adicional proporcionada por las boyas.

En este punto se sugirió la posibilidad de establecer un "método objetivo" para definir la frontera de separación entre masas de agua con distinta traza térmica con el que poder identificar con nitidez remolinos en las imágenes de infrarrojo disponibles. Primeramente se pensó en un algoritmo basado en las temperaturas absolutas, pero surgía el inconveniente de que la masa de agua evoluciona mezclándose y adquiriendo temperaturas cada vez más próximas a la masa de agua receptora en función de los procesos de mezcla. Un mismo valor absoluto de temperatura puede estar dentro y fuera del cuerpo de agua intrusora. En las zonas donde predomina la difusión la mezcla es mayor, y lo contrario ocurre en las zonas donde predomina la advección donde las aguas se mezclan más lentamente. También se pensó en utilizar el gradiente local como criterio para hallar la frontera, pero quedaban reflejados los mayores gradientes (característicos de las zonas donde domina la advección) y ocultos los menores (propios de las zonas donde domina la difusión).

3.- DESCRIPCION DEL METODO

El método finalmente elegido para obtener los contornos de separación entre masas de agua parte de una imagen AVHRR corregida atmosféricamente en la cual los valores de la imagen representan el campo escalar de temperaturas. A partir de este campo que representa un plano entero, $P(i,j)$, se calculan unos promedios y se genera un nuevo plano entero de promediados $\hat{A}(i,j)$, que nos sirva de referencia para imponer el criterio de admisión o exclusión de los valores del campo escalar (i,j) como integrantes del agua intrusora. Para definir el plano de promediados partimos de un subconjunto de $P(i,j)$, $B(i,j)$, que representa

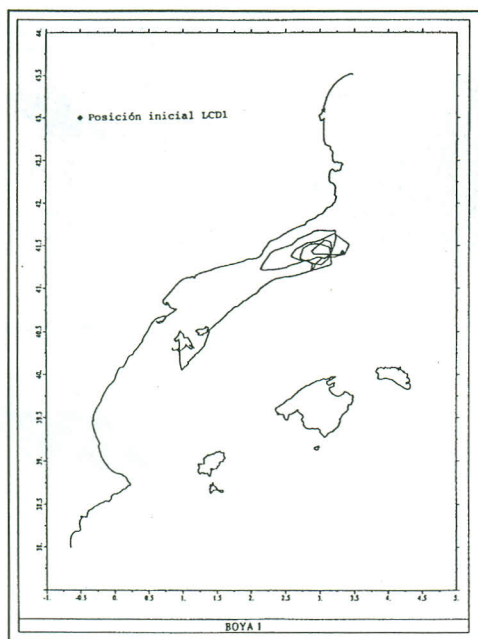


Figura 2.- Trayectoria descrita por una boya lagrangiana lanzada al inicio de la campaña MECA' 93 durante el periodo de junio a julio. Se pueden apreciar una serie de giros anticiclónicos frente a las costas de Barcelona. Fuente: Rojas et al., 1995.

un plano cuadrado de 25 celdas o elementos, donde i y j varían respectivamente de 1 a 5, y en el cual el elemento central es $B(3,3)$. Ahora bien, este subconjunto $B(i,j)$ se puede separar en 4 subplanos solapados, $A_k(i,j)$, de 16 elementos cada uno (para el primer subplano, $A_1(i,j)$, i y j varían de 1 a 4 respectivamente; para el segundo subplano, $A_2(i,j)$, i varía de 2 a 5 y j varía de 1 a 4; para el tercer subplano, $A_3(i,j)$, i varía de 1 a 4 y j varía de 2 a 5; y finalmente para el cuarto subplano, $A_4(i,j)$, i y j varían de 2 a 5, respectivamente). Si a continuación realizamos el promedio de los 16 valores de cada subplano solapado $A_k(i,j)$ y lo situamos en la posición central de cada subplano, obtenemos 4 promedios en torno al valor $B(3,3)$ del subplano de 25 elementos. Cada promedio \hat{a}_k constituye un elemento del plano entero de promediados $\hat{A}(i,j)$. Este proceso se esquematiza en la Figura 3.

Nos podemos preguntar si los valores promediados son buenos estimadores de lo que sucede en el entorno próximo a $B(3,3)$. La respuesta es afirmativa. En sí, los promedios están dando una indicación correcta de lo que sucede en los entornos al NE, NW, SW, SE del punto $B(3,3)$ y lógicamente están representando lo que sucede en el área integrada por los 16 valores de cada subplano $A_k(i,j)$. Cuando los gradientes de temperatura dentro de cada subplano son fuertes (como sucede donde domina la advección) habrá grandes diferencias dentro del plano $B(i,j)$, pero el promedio puede ser bajo (al sumarse y restarse valores). En aquellas situaciones donde los gradientes son pequeños (como ocurre donde domina la difusión) el promedio puede dar en valor absoluto valores parecidos a donde domina la advección.

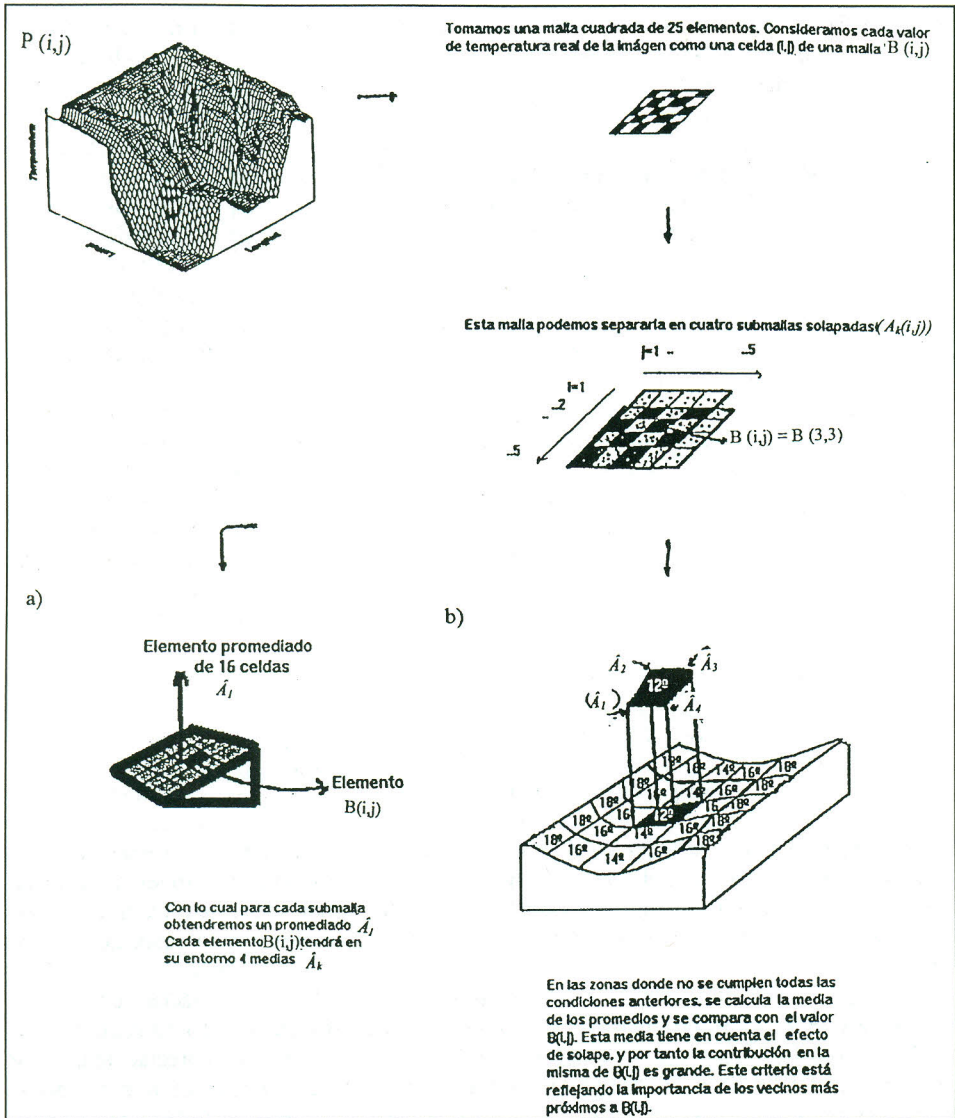


Figura 3.- A partir del campo escalar de temperaturas $P(i,j)$, se toma un subconjunto de 25 elementos $B(i,j)$. Se puede tomar un subconjunto mayor, en cuyo caso se pierde detalle en la solución. Las opciones a) y b) hacen referencia al test aplicado, explicado en el texto

Supongamos que queremos separar las aguas “más frías” (en nuestro caso las intrusoras) de las más calientes. Para saber si el valor $B(3,3)$ pertenece o no a las aguas más frías seguimos dos criterios:

(a) En primer lugar, comparamos el valor de temperatura con los 4 promedios $A_k(i,j)$. Si todos los promediados son mayores en valor absoluto $B(3,3)$ queda clasificado como un pixel de agua fría. Ahora bien, este criterio es muy exclusivo, y puede ser que haya uno sólo de

los promediados que sea mayor que $B(3,3)$, y que el resto sea menor. En este caso para verificar la no-pertenencia del valor $B(3,3)$ al agua más fría se consulta el criterio b) del test. (b) Se calcula la media \hat{o} de los 4 valores promedios $\hat{A}_k(i,j)$ que rodean a $B(3,3)$. Esta media tiene en cuenta el efecto de solape de los distintos subplanos $A_k(i,j)$, con lo cual habrá elementos del plano $B(i,j)$ que realmente tienen una mayor contribución en la determinación de la media \hat{o} (los elementos centrales del plano entero $B(i,j)$ de 5×5 píxeles participan en 4 de las 4 determinaciones de los promedios $\hat{A}_k(i,j)$ para cada subplano $A_k(i,j)$, los laterales participan en 2 de las 4 y los vértices sólo en 1), por lo que en la determinación de la media \hat{o} hay claramente un sesgo central. En este punto se consulta si el valor de la media \hat{o} es mayor que el valor de $B(3,3)$, en cuyo caso se clasifica a $B(3,3)$ como un píxel de agua fría. En este caso estaremos en una zona de separación de aguas distintas y es posible que los elementos que constituyen los laterales y los vértices tengan valores de temperatura más contributivos en la media \hat{o} que los valores de los elementos centrales.

El test se generaliza para todo el plano $P(i,j)$. La distinción entre aguas distinta temperatura puede hacerse teniendo en cuenta subconjuntos de $P(i,j)$ de distintas dimensiones, con más detalle utilizando dimensiones más pequeñas y con menos detalle utilizando dimensiones mayores. Por otro lado se pueden establecer límites a la pertenencia o exclusión de los píxeles, para observar con más detalle alguna estructura (ver posteriormente la Figura 5).

Una vez extraída la línea que marca la frontera y por tanto el contorno de nuestra estructura se pueden llevar a cabo la aplicación de técnicas de descripción geométrica para conocer si existe alguna propiedad de la línea que se conserve espacial o temporalmente.

4.- EJEMPLOS

A continuación se muestra una composición correspondiente al periodo comprendido entre el 18 de Junio y el 27 de Julio de 1993 (Figura 4). A la izquierda se representa las imágenes del sensor AVHRR del satélite NOAA-11, mientras que a la derecha se muestra el resultado obtenido de aplicar el filtro a las imágenes anteriores. Los tonos grises más oscuros se corresponden con aguas frías y los más claros con aguas más calientes. En la imagen del 18 de Junio se observan unas bandas negras horizontales en la parte inferior izquierda y derecha que corresponden a la distinción que hace el propio método sobre las nubes. De igual modo, distingue los gradientes térmicos entre la tierra y el mar, con lo que la costa queda bien definida.

La primera de las imágenes es la del día 18 de Junio de 1993. Los resultados de aplicar el filtro muestran un giro anticiclónico frente a las costas de Blanes tal y como cabía esperar tras la observación de la trayectoria seguida por la boya lagrangiana. La apreciación del giro no es evidente en la imagen de satélite ya que en parte queda confundido por una banda horizontal de nubes frente al cabo de Creus. También se observa frente a la costa de Barcelona una estructura en forma de S que podría estar relacionada con un pequeño giro anticiclónico.

La segunda imagen corresponde al día 28 de Junio de 1993. En la imagen de satélite se aprecia mejor el giro anticiclónico detectado por la boya frente a las costas de Blanes.

Observando el resultado de aplicar el método se aprecian algunos filamentos en la dirección SW y un pequeño giro anticiclónico frente a la costa de Creus aparte de otros giros ciclónicos en mar abierto. Durante este día la boya siguió una dirección paralela a costa con sentido NE sobre aguas más calientes. Es importante hacer una reflexión en este punto. Se pueden hacer dos usos de una imagen térmica. Por un lado se puede intentar identificar estructuras asociadas al trazador (que en nuestro caso es la temperatura) por la importancia que para el estudio de la distribución de especies con interés pesquero, el conocimiento de la distribución

de contaminantes dependientes de la temperatura o el estudio de las variaciones del campo de densidad pueda tener. Por otro lado se puede estudiar cual es la estructura de transfondo o residente que modifica la traza térmica en función de su dinámica. En este ejemplo se trata en sí del giro anticiclónico.

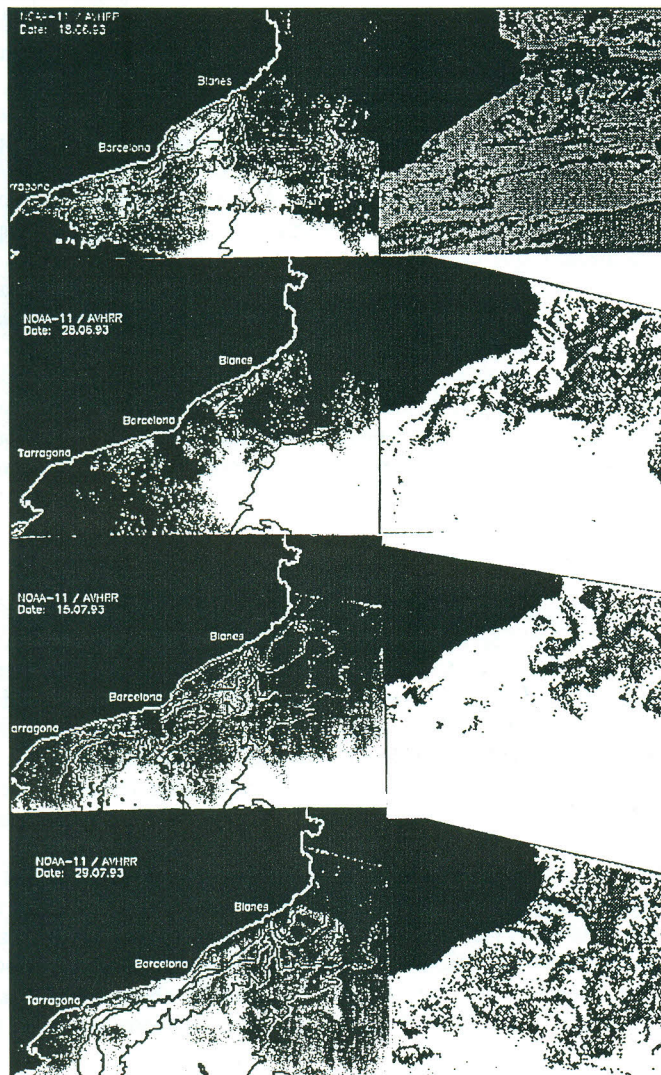


Figura 4.- Serie de imágenes del sensor AVHRR del satélite NOAA (a la izquierda resultados de aplicar el filtro (a la derecha). La tierra está enmascarada en negro. Las líneas batimétricas son las de 100, 200, 1000 y 2000 metros.

La tercera de las imágenes corresponde a una imagen del 15 de Julio de 1993. La estructura observada en el resultado se aprecia en la imagen debilmente. Este ejemplo es el que se muestra en la Figura 5 . Esta figura muestra el resultado de aplicar el test sólo a ciertos

valores de la imagen para observar mejor ciertas estructuras en una misma imagen. El contorno de las estructuras observadas, en función de su posición, nos da información de como era la corriente en el pasado. Esta información puede ser muy útil (si es procesada de manera adecuada) para obtener información relativa acerca de la magnitud, dirección y sentido de las corrientes. La Figura 5 no debe interpretarse como una evolución de la estructura pues no hay que olvidar que la imagen fué tomada durante un pequeño lapso de tiempo.

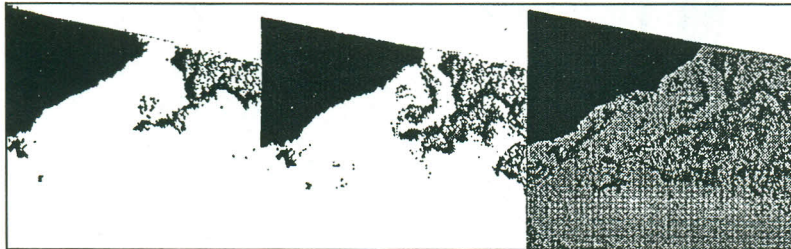


Figura 5.- Resultados de aplicar el filtro sobre la imagen del 15 de Julio de 1993. No todos los valores de la imagen son filtrados. A partir de un valor límite el filtro no actúa con lo cual se destacan mejor ciertas estructuras. La tierra está enmascarada en negro. Se observa la intrusión del cuerpo de agua más fría, de varios giros y de distintas estructuras asociadas con la batimetría. Se aprecia muy debilmente en la tercera de las imágenes se observan dos giros frente a la costa de Barcelona.

La última de las imágenes de la Figura 4 es del 29 de Julio de 1993. En ella se observa un giro anticiclónico frente a las costas de Barcelona en la misma posición que en la imagen del 15 de Julio de 1995. Es interesante plantearse la duda sobre si el giro que se observa está relacionado con otros giros originados 'aguas arriba' y que han derivado con la corriente del SW, o si bien tienen su origen en la localización observada. También se observa un giro ciclónico más pequeño, situado entre los cañones de Palamós y Blanes aproximadamente. Se observa la traza térmica dejada por otras estructuras situadas en mar abierto.

5.- CONCLUSIONES

Se ha propuesto un método simple y consistente para la identificación de contornos de estructuras oceanográficas con traza térmica superficial en imágenes infrarrojas. Su aplicación a imágenes AVHRR quasi-contemporáneas a la campaña MECA'93 revela un potencial interesante para la identificación de núcleos de remolinos cuando la simple inspección visual no ofrece resultados concluyentes.

6.- AGRADECIMIENTOS

Se quiere agradecer a J. Figa, P. Rojas y F. Collado por el apoyo que han mostrado durante la consecución del siguiente trabajo y la orientación que prestaron en todo momento. Este trabajo se enmarca en los proyectos "Dinámica de las fluctuaciones de mesoescala en la plataforma continental del Mar Catalano-Balear" (AMB92-0251-C02-02) y "Circulación marina y riesgo de contaminación por vertidos en la plataforma continental catalana" (AMB94-0495) subvencionados por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología. La contribución de Pedro Antonio Arnau está financiada con una beca F.I. de la Generalitat de Catalunya.

7.- BIBLIOGRAFIA

Figa et al. 1995, sometido. Remarks on the use of split-window algorithms to retrieve SST fields from AVHRR imagery in western mediterranean regions. *Journal of Marine Systems*.

Masó M. and Tintoré J.1991. Variability of the self water off the northeast Spanish coast. *Journal of Marine Systems*. 1:441-450.

Rojas P. et al. 1995. On the structure of the mean flow in the Blanes Canyon Area (NW Mediterranean) during summer. *Oceanologica Acta*. 18: n°4.