

## **CÁLCULO DE CORRIENTES SUPERFICIALES LOCALES EN LA COSTA SUROESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA UTILIZANDO IMÁGENES S.S.T. E IMÁGENES DE SUS GRADIENTES. SU RELACIÓN CON DATOS DE VIENTOS DOMINANTES EN LA ZONA.**

**M. Martínez, J.M. Cotos, J.A. Triñanes, C. Hernández.**

Dpto. Electrónica y Computación. Facultad de Física. Universidad de Santiago de Compostela. Campus Universitario Sur, 15706 Santiago de Compostela.

**RESUMEN.-** Se ha desarrollado un algoritmo que, basado en el método del máximo de la correlación cruzada (m.c.c.) y completado con un filtrado en dirección de los vectores así calculados, permita obtener el desplazamiento superficial de los rasgos térmicos presentes en imágenes de satélite consecutivas.

Se ha aplicado este algoritmo a una serie de diez imágenes térmicas de la zona del Algarve (Portugal), tanto sobre las temperaturas superficiales marinas, sst, como sobre el gradiente de las mismas, tratando de verificar la existencia o no de una relación entre la fuerza y dirección del viento y las corrientes marinas derivadas del algoritmo anterior.

### **1. INTRODUCCIÓN.**

Existe una fuerte interacción entre la atmósfera y el océano: la atmósfera gobierna las grandes circulaciones oceánicas e influye de manera importante sobre las propiedades marinas; a cambio, una gran parte de su constitución y de su energía la toma del océano.

En este trabajo nos restringiremos al efecto del viento pues ejerce una importante influencia sobre la dinámica oceánica. Así, cuando el viento sopla sobre el agua ejerce una fuerza sobre la superficie en su misma dirección. El mecanismo mediante el que se ejerce la fuerza es complejo, pero su existencia está fuera de toda duda. La respuesta del océano a esta fuerza está condicionada de modo importante por varios factores: la rotación de la Tierra, la presencia de barreras continentales en el campo natural de las corrientes y, por último, el hecho de que el agua sea un fluido en lugar de un sólido.

La respuesta marina será muy parecida a la de un conjunto de láminas superpuestas, donde la superior es impulsada por el viento, y cada una de las restantes empuja a la inmediatamente inferior por rozamiento. En cada una la velocidad se reduce progresivamente y se dirige más hacia la derecha (espiral de Ekman).

En cualquier caso, la mayor parte de la energía del viento se consume en generar olas en lugar de corrientes [10].

En este trabajo hemos buscado la existencia de una influencia empírica clara entre los vientos superficiales y las corrientes marinas; pero, a la hora de buscar referencias, han sido pocos los estudios experimentales que hemos encontrado acerca del tema. Y es que existe una fuerte limitación: la falta de medidas de los vientos superficiales. Podemos disponer de datos de vientos a distintas alturas, por ejemplo, a partir de los datos de NOAA; concretamente los suministrados por la sonda T.O.V.S. (TIROS Operational Vertical Sounder). Sin embargo, no podemos contar con datos relativos a la superficie marina, a no ser, como en este trabajo, que tengamos imágenes de una zona costera y contemos con las medidas de varias estaciones meteorológicas de la zona.

Cabe destacar que en estas imágenes se observan importantes zonas de afloramiento cerca de la zona costera, consecuencia de los vientos que, por efecto de la aceleración de Coriolis, al soplar paralelos a la costa y dirigidos hacia el Ecuador, hacen que la capa superficial de agua se desplace y la vacante se cubra por aguas subsuperficiales que ascienden a la superficie. De acuerdo con Barton [11], aparece como una banda estrecha de agua más fría, de anchura casi uniforme, a lo largo de la mayoría de la costa.

En cuanto al método del máximo de la correlación cruzada (M.C.C.) fue originariamente desarrollado para el cálculo de movimientos de masas nubosas a partir de datos del satélite ATS-1 [1], y aplicado desde entonces a campos tan diversos como el cálculo de velocidades superficiales marinas [3], [6], o a la medida del desplazamiento de masas de hielo [2], [7]. Para intentar corregir los vectores incoherentes en dirección, se le ha añadido un filtrado de direcciones, mejorando los resultados obtenidos directamente.

## 2. METODOLOGÍA.

### 2.1. MÉTODO MCC.

El método del máximo de la correlación cruzada, M.C.C., [2] [4] [7], aplicado al cálculo de velocidades superficiales, nos permitirá obtener el desplazamiento espacial relativo entre un par de funciones bidimensionales.

Para determinar el desplazamiento relativo entre las dos señales, es suficiente identificar el retardo espacial para el cual la función de correlación cruzada alcanza su máximo valor. Puesto que conocemos la resolución de nuestras imágenes (1.1 km/píxel) y la separación temporal entre ellas, podemos determinar las velocidades superficiales advectivas.

Las imágenes a las que se aplica este algoritmo deben estar corregidas geoméricamente sobre el mismo grid espacial.

Además, el algoritmo parte de la suposición de que los patrones ni sufren rotaciones ni se deforman, simplemente se trasladan. Pero diversos procesos físicos (vientos con velocidad superior a 20m/seg, calentamiento diurno, advección, difusión, interacción aire-mar) van a provocar una deformación en los patrones.

Walsh [4] encontró que la transferencia por convección horizontal puede suponerse despreciable en un período de 24 horas, mientras que Tomakian [5] llega a la conclusión de que los procesos de interacción aire-mar y el proceso de mezcla vertical del agua son los factores que más influyen en la alteración de los patrones térmicos.

Por tanto, para que nuestros patrones permanezcan relativamente intactos durante el intervalo de muestreo, debemos elegir imágenes separadas entre sí por un período nunca superior a dos días y, de ser posible, inferior a veinticuatro horas [8]. Aún así, sufrirán alguna deformación que conducirá a un valor del coeficiente de correlación menor que la unidad.

Para aplicar el método MCC se han elegido sobre dos imágenes sucesivas, que pueden considerarse como funciones discretas bidimensionales cuyo primer índice se refiere a las líneas de la imagen y cuyos segundos índices se refieren a las muestras de cada línea, una ventana patrón sobre la primera imagen cuyo tamaño hemos fijado en 16\*16 píxeles y se buscan similitudes haciéndola recorrer una ventana de búsqueda de tamaño 32\*32 píxeles en la segunda imagen. Obtenemos así una matriz de correlación, en la que la determinación de su máximo nos dará el desplazamiento espacial entre ambas ventanas.

Para evitar falsos valores de desplazamiento, debemos establecer un umbral por debajo del cual consideremos que las dos ventanas no están correlacionadas. De acuerdo con Emery [2], si fijamos este valor umbral del coeficiente de correlación en 0.4 obtendremos una significancia del 99%.

Este método se ha aplicado tanto a las temperaturas sst derivadas de los datos del satélite como al gradiente de las mismas para hacer una comparación de los resultados obtenidos.

### 2.2. OBTENCIÓN DE LOS GRADIENTES DE LA IMAGEN.

Además de aplicarlo a las temperaturas, hemos usado el método MCC también con los gradientes de las imágenes obtenidos a partir de un filtrado Sobel de las mismas.

En las imágenes que hemos utilizado, las zonas de nubes habían sido eliminadas y puestas a cero. Pero a su alrededor aparecían fuertes gradientes y valores discordantes de temperaturas que, para que no originasen vectores incorrectos de desplazamiento, hemos eliminado mediante máscaras.

### 2.3. FILTRADO EN DIRECCIÓN DE LOS VECTORES DE VELOCIDAD OBTENIDOS.

Para conseguir un campo de vectores lo más coherente posible, se les ha aplicado a las velocidades obtenidas, tanto a partir de las temperaturas como de sus gradientes, un filtrado en dirección.

El procedimiento ha sido el siguiente:

- Se han calculado los coeficientes de correlación sobre ventanas que recorren píxel a píxel toda la imagen, de modo que tenemos un vector velocidad para cada píxel de la imagen (siempre que pase el test de significancia y tenga menos de un 5% de ceros).

- Se ha fijado un determinado tamaño de ventana (16\*16 píxeles en este caso) de modo que, de todos los vectores calculados en esta ventana, nos quedamos con:

-El que tiene asociado el máximo valor del coeficiente de la correlación cruzada. (Filtrado del máximo).

-El que tiene un valor de pendiente más próximo ( o igual, de existir) al valor medio de todas las pendientes de la ventana ( Filtrado de la Mediana ).

#### 2.4. COMPARACION CON LOS VIENTOS.

Una vez obtenidas las velocidades superficiales las hemos comparado con los datos de vientos de tres estaciones costeras, para determinar tanto la influencia sobre las velocidades como el período desde la medida de unos vientos y la aparición de unas velocidades lo más parecidas en dirección a estos vientos.

En cada estación contábamos con varios datos para cada día, así que los hemos promediado, hemos obtenido la diferencia en dirección para cada día entre las velocidades en un entorno de cada estación y los datos promediados de viento y, de estas diferencias, calculadas para un periodo de 50 días previos, nos hemos quedado con la mínima.

### 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Hemos procesado diez imágenes de acuerdo con el procedimiento anteriormente expuesto, aplicándole el algoritmo del MCC tanto a las temperatura superficial marina, sst, como al gradiente de la misma.

Como muestra, recogemos aquí un par de imágenes sucesivas empleadas en este trabajo ; las dos primeras corresponden a las variables sst de partida y las dos segundas a las variables gradiente.

Las velocidades superficiales obtenidas se muestran en las imágenes 3, 4 donde aparecen superpuestas con los datos de vientos de la zona que muestran un mayor parecido en dirección.



Imagen 1: Variables sst sucesivas



Imagen 2: Gradiente de la sst de las dos imágenes sst anteriores.

Para esta comparación hemos usado los datos en un período de cincuenta días anteriores a la fecha de cada imagen, encontrándose el mayor parecido para un período que oscila entre los 14 y los 17 días antes para las diez imágenes procesadas.

En las imágenes usadas aquí como ejemplo, el mayor parecido se ha encontrado para un período de 14 días antes. Se observa, tanto en esta imagen de prueba como en las restantes, una mayor concordancia entre las velocidades sobre los gradientes y los vientos que para las velocidades sobre la sst directamente.

El valor medio de los módulos de estas velocidades es de 9.15 cm/sg para las temperaturas sst y de 10.098 cm/sg para el gradiente.

Finalmente, si superponemos las velocidades obtenidas para las imágenes de las temperaturas superficiales marinas y de sus gradientes, obtenemos la imagen 5, donde, en tono más oscuro, aparecen representadas las imágenes derivadas de gradientes y, en tono más claro, las correspondientes a las temperaturas sst.



Imagen 3: Veloc. sst y vientos superpuestos.

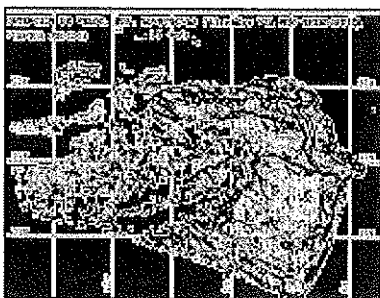


Imagen 4: Veloc. gradientes y vientos superpuestos

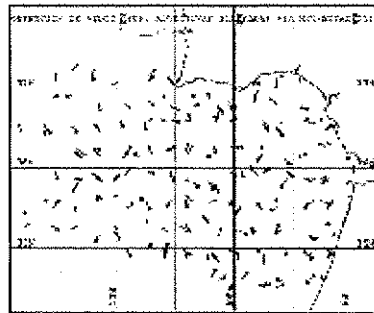


Imagen 5: Comparación entre veloc. sobre la sst y sobre los gradientes.

#### 4. CONCLUSIONES.

Del procesado de las imágenes anteriormente descritas pueden sacarse varias conclusiones...

1. Se obtienen unos resultados de velocidades mejores al trabajar con el gradiente de la temperatura que con la temperatura directamente, a tenor de un análisis visual del desplazamiento de los rasgos térmicos de las imágenes y de la comparación con los vientos.

2. Se ha observado una influencia de los vientos de la zona sobre las velocidades superficiales obtenidas, con un retardo en la aparición de esta influencia de unos 17 días.

#### 5. AGRADECIMIENTOS.

Queremos agradecer al Profesor E.D. Barton, de la Universidad de Wales, Bangor (U.K.) el habernos proporcionado las imágenes y los datos de vientos que hemos usado en este trabajo, así como la ayuda prestada durante la realización del mismo.

#### 6. REFERENCIAS.

[1]Leese, J.A., Novak, C.S. An Automated Technique for Obtaining Cloud Motion from Geosynchronous Satellite Data Using Cross Correlation. Journal of Applied Meteorology, vol. 10, 118-132. February, 1971.  
 [2]Ninnis,R.M., Emery,W.J., Collins,M.J. Automated Extraction of Pack Ice Motion From Advanced Very High Resolution Radiometer Imagery. Journal of Geophysical Research,vol. 91, 10725-10734, September 1986.

- [3] Emery W.J., Thomas, A.C. and Collins, M.J. **An Objective Method for Computing Advective Surface Velocities From Sequential Infrared Satellite Images.** Journal of Geophysical Research, vol. 91, 12865-12878, November 1986.
- [4] Wahl, D., Simpson, J.J., 1990. **Physical Processes Affecting the Objective Determination of Near Surface Velocity From Satellite Data.** Journal of Geophysical Research, vol. 95, 13511-13528, August 1990.
- [5] Tokman, R., Ted Strub, P., McClean-Padman, J., 1990. **Evaluation of the Maximum Cross-Correlation Method of Estimating Sea Surface Velocities from Sequential Satellite Images.** Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, December 1990, 852-865.
- [6] Wu, Q.X., Pairman, D., McNeill, S.J., Barnes, E.J., 1992. **Computing Advective Velocities from Satellite Images of Sea Surface Temperature.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 30, 166-175, January, 1992.
- [7] Scambos, T.A., Dutkiewicz, M.J., Wilson, J.C., Bindshadler, R.A., 1992. **Application of Image Cross-Correlation to the Measurement of Glacier Velocity Using Satellite Image Data.** Remote Sensing Environ. 42:177-186.
- [8] Holland, J.A., Xiao-Hai Yan, 1992. **Ocean Thermal Feature Recognition, Discrimination, and Tracking Using Infrared Satellite Imagery.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol 30, no. 5, 1046-1053, September, 1992.
- [9] Cotos, J.M., Arias, J., Tobar, A., Galas, J., 1993. **Detection and Analysis of ocean thermal structures using NOAA AVHRR data.** Optica Applicata, vol XXIII, No.4, 255-265.
- [10] R.W. Stewart, 1969. **La atmósfera y el océano.** Selecciones de Scientific American, Oceanografía.
- [11] Barton, E.D., 1993. **Near Surface Dynamics of Coastal Upwelling.** ICES Statutory Meeting 1993.