

SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ISOTERMAS OCEÁNICAS A PARTIR DE SATELITES METEOROLÓGICOS

J.M. COTOS, A. TOBAR, C. HERNANDEZ Y A. CAROLLO.

Dpto. de Física Aplicada, Universidad de Santiago. Santiago de Compostela.

RESUMEN

Presentamos una serie de técnicas de procesado digital de imagen escaninadas a extraer líneas de temperatura constante a partir de un mapa térmico obtenido de un satélite meteorológico (Meteosat o Goes). Con este sistema podremos delimitar los "upwellings" y frentes térmicos generando una carta marina, con vistas a ser enviada en tiempo real a la flota pesquera. Hemos utilizado como base para ello el CLUSTER SHADE EDGE ALGORITHM (Holdyner, R.J.; Peckinpaugh, S.H. 1989), englobado en un proceso que lo hace insensible al ruido causado por artefactos oceánicos siempre presentes en una imagen.

ABSTRACT

We will show in this paper a several digital processing technics in order to extract lines of constant temperature from a thermal map obtained from a meteorological satellite (Meteosat or Goes). We will be able to mark the boundaries of upwelling areas or the thermal fronts, to be send to the fleet in real time via fax. We have used the CLUSTER SHADE EDGE ALGORITHM (Holdyner, R.J.; Peckinpaugh, S.H. 1989) mixed in a process which make it noise insensible.

1. INTRODUCCIÓN

El problema básico que se plantea en este trabajo es como extraer, a partir de un mapa térmico, las isotermas características de dicho mapa. La solución adoptada en líneas generales es la siguiente: a partir del mapa térmico extraemos los píxeles que tienen todos el nivel de gris, nivel correspondiente a una determinada temperatura de interés. Debido a que la imagen así generada se caracteriza por un gran contenido de ruido en altas frecuencias, el siguiente paso consiste en someterla a la acción de un filtro pasabaja: hemos optado por el filtro de la mediana que sustituye el valor del píxel por el de la media de todos sus vecinos en el caso de que la diferencia entre su valor y dicha media no exceda un determinado tanto por cien.

Una vez que nuestra imagen presenta un aspecto uniforme le aplicamos el algoritmo de generación de isotermas que no es más que un procedimiento que extrae la línea que circunscribe las regiones de interés: en este trabajo presentamos una pequeña variación del algoritmo que reduce el tiempo de computación. Tras un proceso de erosionado de las líneas extraídas podremos ya generar una carta térmica enviable vía fax a la flota pesquera.

2. ALGORITMO

Para extraer los bordes de las zonas de igual temperatura hemos buscado un algoritmo que sea insensible al ruido, ya que, aunque a nuestra imagen le ha sido aplicado un filtro pasabaja y dado que la resolución espacial del satélite Meteosat es baja, podemos encontrar con artefactos no

deseados en la imagen a procesar. Por ello hemos utilizado un algoritmo basado en la matriz de concurrencia de los niveles de gris (matriz GLC) que además de ser insensible al ruido presenta excelentes resultados en la detección de eventos marinos (como eddys, etc), (Cayula, F. J. et. al., 1991).

Cada elemento (i,j) de esta matriz representa la probabilidad relativa de que dos píxeles separados en la imagen por las distancias Δx , Δy tengan como niveles de gris i y j respectivamente, y su expresión matemática viene dada por la siguiente ecuación (Holdyner, R.J.; Peckinpaugh, S.H. 1989):

$$P(i,j) [\Delta x, \Delta y] = \sum_{m,n} \begin{cases} \frac{1}{[(M-\Delta x) \times (N-\Delta y)]} & \text{si } f(m,n)=i \\ & \text{y } f(m+\Delta x, n+\Delta y)=j \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (1)$$

Una vez evaluada la matriz GLC de la imagen problema hemos de elegir un parámetro que nos permita estimar la presencia o ausencia de un borde en la matriz. El denominado por la literatura como Cluster Shade (C.S.) evaluado sobre una ventana centrada en cada píxel, y cuya expresión viene dada por la ecuación 2, es por el que nosotros hemos optado. La elección del tamaño de la ventana sobre la cual se va a calcular el CS es el primer parámetro variable en nuestro estudio.

$$S(\Delta x, \Delta y) = \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=0}^{k-1} (i+j-\mu_i-\mu_j)^2 \cdot P(i,j) [\Delta x, \Delta y] \quad (2)$$

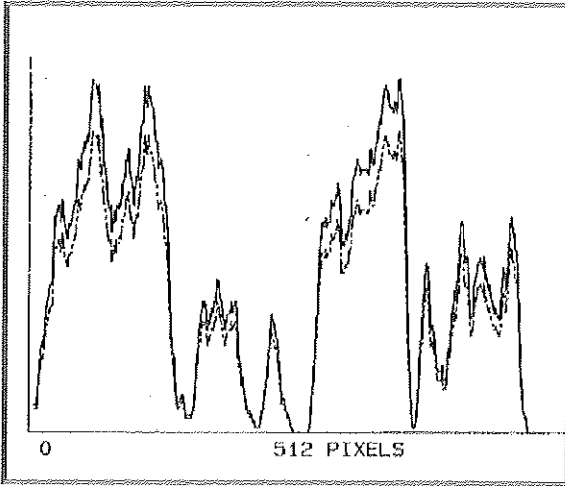


Figura 1.

donde μ_i y μ_j son:

$$\mu_i = \sum_{j=0}^{L-1} \sum_{k=0}^{L-1} P(i,j | \Delta x, \Delta y) \quad (3)$$

$$\mu_j = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{k=0}^{L-1} j P(i,j | \Delta x, \Delta y)$$

Como podemos observar en la ecuación 2 el CS es equivalente al momento de tercer orden de la matriz GLC, ya que pondera el valor en cada píxel con el cubo de las medias de intensidad sopesadas por filas y columnas de la matriz GLC.

Hay que hacer notar al llegar a este punto del algoritmo que la matriz GLC esta definida en función de dos parámetros variables: Δx y Δy . Hemos encontrado dos razones poderosas para hacer cero ambos parámetros:

- valores pequeños no introducen variaciones sustanciales.
- el tiempo de cálculo se reduce considerablemente si ambos son nulos.

Las expresiones matemáticas de la matriz GLC y del CS vienen dadas ahora ($\Delta x = \Delta y = 0$) por las ecuaciones 4 y 5 respectivamente. $\mu_i = \mu_j = \mu$ se reducen al valor medio de niveles de gris evaluado sobre toda la ventana.

$$P(i,j | \Delta x, \Delta y) = 0, \text{ para } i \neq j$$

$$P(i,j | \Delta x, \Delta y) = \frac{1}{M \times N} H(i), \text{ para } i = j \quad (4)$$

$$\mu_i = \mu_j = \mu$$

$$S(\Delta x, \Delta y) = \frac{2^3}{M \times N} \sum_{i=0}^{L-1} (i - \mu)^3 H(i) \quad (5)$$

Todas estas expresiones pueden ser simplificadas teniendo en cuenta el hecho de que nuestra imagen-trabajo es binaria (recordemos que hemos destacado en blanco los píxe-

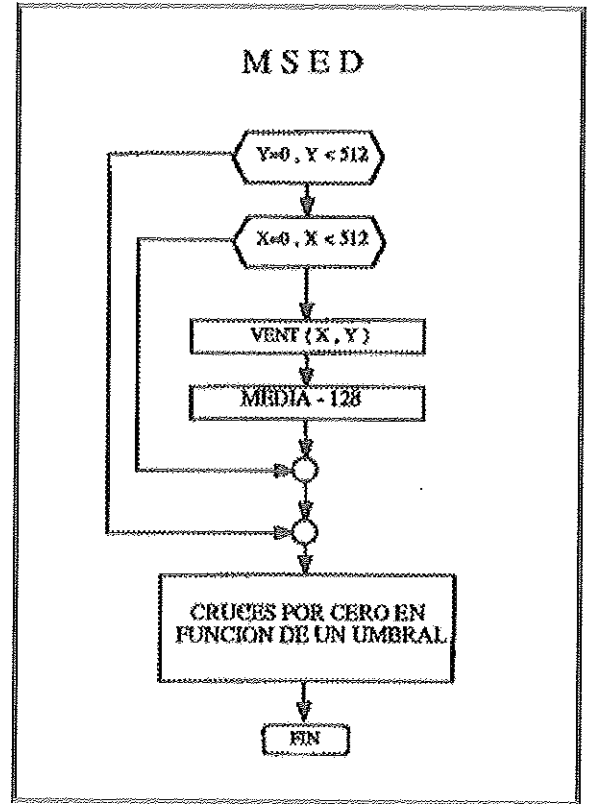


Figura 2.1.

les de interés sobre un fondo negro).

$$\mu = \frac{255}{M \times N} x H[255] \quad (6)$$

$$S(0,0) = (255 - \mu)^3 \times H[255] - \mu^3 \times H[0]$$

donde $H[i]$ es el valor que del histograma para el nivel de gris i .

La ecuación 6 constituye la base de trabajo para decidir si un píxel pertenece o no a un borde de las regiones de igual temperatura, por lo que es conveniente estudiarla en detalle:

- I) Si en la ventana sobre la que estamos evaluando el CS todos los píxeles tienen un valor de 255 (todos son blancos, y por lo tanto pertenecen al pattern del que intentamos extraer el borde), la media también toma el valor 255, y $H[0]=0$: el primer término de ecuación 6 es nulo al igual que lo es el segundo, por lo que el CS es nulo también.
- II) De igual manera sucede si todos los píxeles de la ventana son negros: $H[255]=0$, $\mu=0$, y el CS se anula.
- III) Un caso interesante se nos presenta cuando la mitad de los píxeles son negros y la otra mitad son blancos: $H[255]=H[0]$, y $(255 - \mu) = \mu$, por lo que el CS vale cero también en este caso.

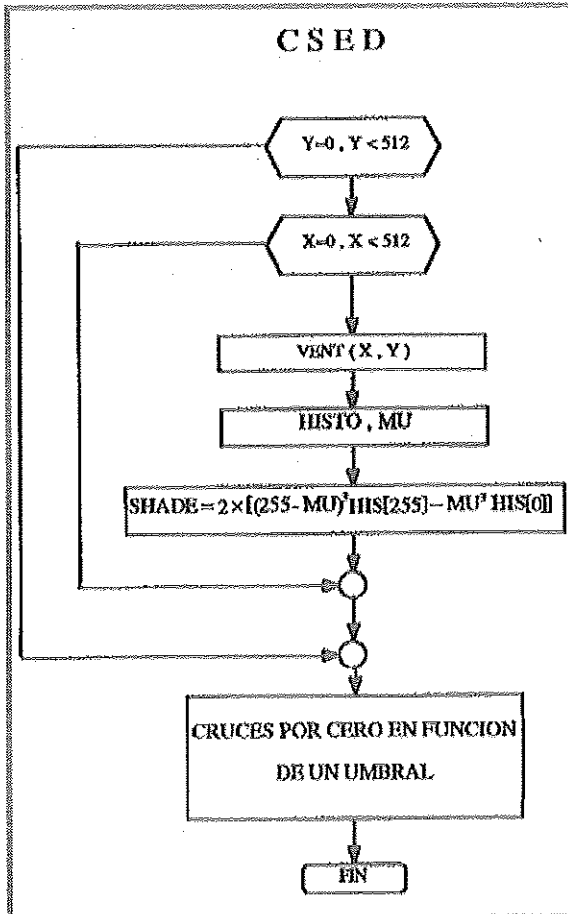


Figura 2.2.

IV) Tan solo el CS tiene un valor positivo significativo cuando en la ventana predominan los píxeles blancos, sobre los píxeles de fondo (negro), o lo que es lo mismo cuando $H[0] < H[255]$.

V) El caso contrario al anterior se nos presenta cuando predominan los negros sobre los blancos, es decir, $S(0,0) < 0$ si $H[0] > H[255]$.

Visto lo anterior, y una vez evaluado el CS sobre para toda la imagen, estimaremos que un píxel pertenece a un borde cuando en una ventana 3×3 sobre el CS se produce un cruce por cero; es ahora cuando aparece el segundo parámetro variable de nuestro estudio: el umbral que establecemos en torno al cero para detectar un cruce por cero, despreciando así pequeñas desviaciones del CS en torno al origen.

Todo el razonamiento anterior nos llevó a evaluar sobre la misma ventana que el CS, la media del nivel de gris, y a pensar que sucedería si estimamos que un píxel conforma un borde cuando existen cruces por cero de la media del ni-

vel de gris por 128 (mitad del valor máximo).

Este segundo planteamiento del problema es equivalente a estudiar el CS utilizando tan sólo el momento de primer orden de la matriz de concurrencia de niveles de gris.

Sobre una línea de imagen hemos evaluado ambos algoritmos (Figura 1), representando con trazo discontinuo el que utiliza el momento de primer orden (algoritmo MSED Figura 2.1), y con trazo continuo el que utiliza el CS (CSED en Figura 2.2). Como se puede apreciar las variaciones relativas en ambos algoritmos son las mismas, lo que corrobora nuestra teoría de que es posible extraer los bordes utilizando tan solo cruces por la media.

3. CONCLUSIONES

Con respecto al primer parámetro variable de nuestro estudio, hemos realizado pruebas con distintos tamaños de ventana, siendo tan solo útiles tres de ellos: ventanas 7×7 , 9×9 , 11×11 ; y para cada una de ellas hemos tomado tres valores distintos del segundo parámetro: umbrales de 5, 10, 15 han sido utilizados para evaluar los cruces por cero en ambos algoritmos.

1.- Hemos constatado que el tiempo de cálculo se incrementa de forma exponencial con el tamaño de la ventana, y es independiente del umbral elegido como se esperaba.

2.- Ventanas de tamaño 11×11 (o mayores) incluye demasiados elementos para estimar bordes (sobre todo en el algoritmo que utiliza la media de los niveles de gris).

3.- A su vez ventanas menores que 5×5 no son útiles para estimar transiciones utilizando el tercer momento de la matriz GLC.

4.- Dado que el CS toma valores extremos en zonas de borde, el efecto del umbral es prácticamente nulo.

5.- Hemos estimado como condiciones óptimas un tamaño de ventana de 9×9 píxeles, y un umbral de 5 para el algoritmo del tercer momento, y un umbral de 1 para el de la media.

4. RESULTADOS

Las Imágenes 1 y 2 muestran los bordes evaluados sobre un mapa térmico generado a partir de imágenes procedentes del satélite meteorológico METEOSAT, correspondientes al MSED y al CSED respectivamente, en las que se han extraído las isotermas de 10, 15 y 20 grados centígrados.

Ambos algoritmos encierran las zonas correspondientes a 10 grados (azul oscuro), distinguen perfectamente la isoterma de 15 grados (transición amarillo-azul), y agrupan los píxeles naranja correspondientes a las zonas de 20 grados.

El único inconveniente que presenta el algoritmo MSED lo constituye la pérdida de contornos bruscos en bordes con ángulos claramente marcados, como puede apreciarse en la cabecera de la Imagen 1. Como gran ventaja presenta una reducción del tiempo máquina empleado del 20%, así como una disminución en los requerimientos de memoria de un factor 8 (pasamos de necesitar 2M a 1/4M para una imagen de 512×512 píxeles).

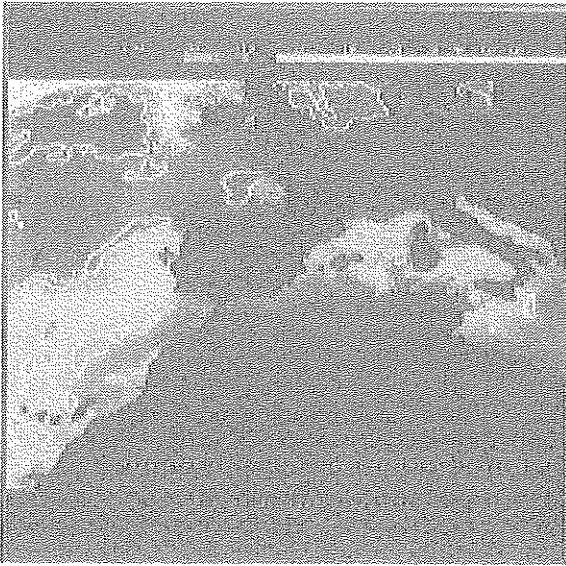


Imagen 1.- Resultado de aplicar el MSE a una imagen, Véase Anexo de color.

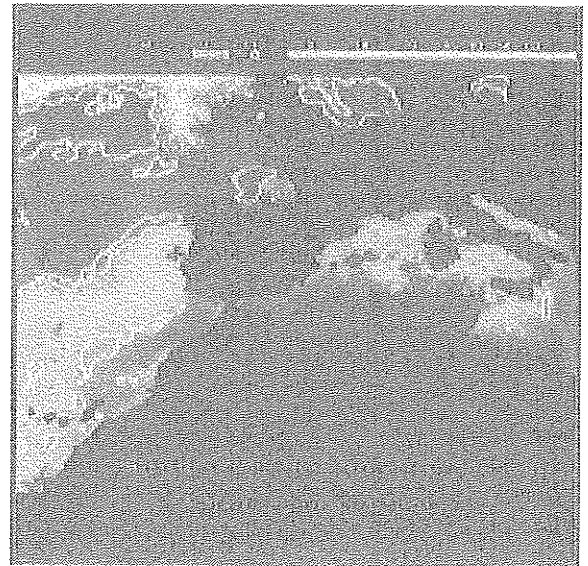


Imagen 2.- Resultado de aplicar el CSED a la misma imagen. Véase Anexo de color.

Como último paso en la metodología presentada podemos ver las cartas marinas generadas en las Figuras 3.1 y 3.2. Tras un proceso de erosionado hemos reflejado las isothermas en dichas cartas en las que incluimos coordenadas geográficas. La Figura 4.1 corresponde a imágenes procedentes del satélite METEOSAT de 5x5 Km de resolución

por pixel, mientras que la Figura 3.2 es el resultado de aplicar el algoritmo CSED a imágenes procedentes del satélite GOES, de 8x8 Km por pixel, en la que se puede apreciar claramente el afloramiento peruano a una temperatura de 15 grados centígrados.

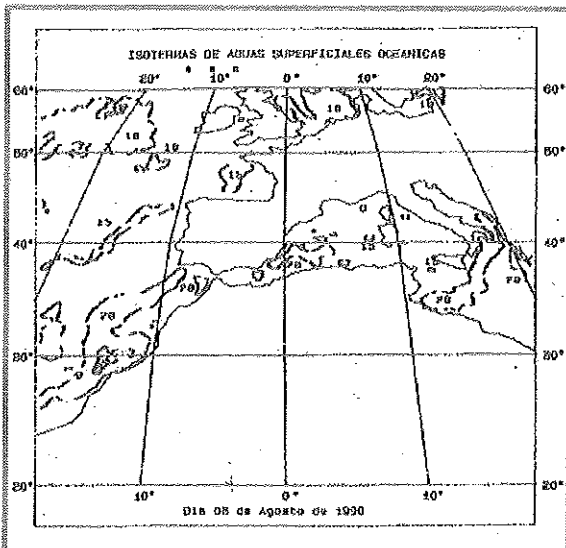


Figura 3.1

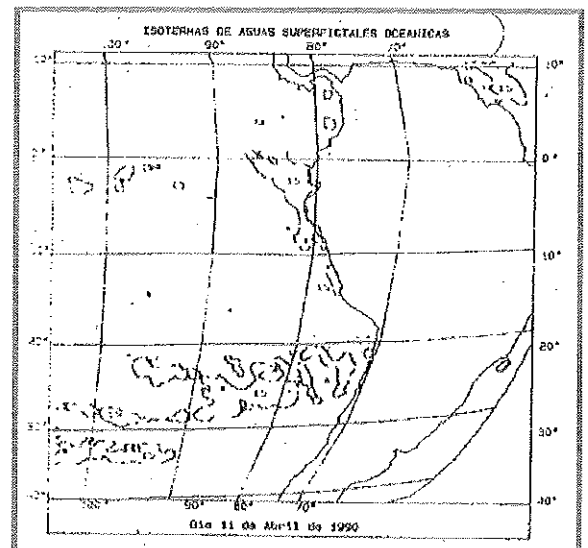


Figura 3.2

5. BIBLIOGRAFIA

- ✓ CAYULA, F.J. et al. (1991): Comparative study of two recent edgedetection algorithms designed to process sea-surface temperature fields. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*. 29 175-177.
 - ✓ HOLDYER, R.J. & PECKINPAUGH, S.H. (1989): Edge detection applied to satellite imagery of the oceans. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*. 27 46-56.
-