

MONITORIZACIÓN TÉRMICA DE AGUAS OCEÁNICAS PARA EXPLOTACIÓN DE RECURSOS PESQUEROS UTILIZANDO EL SATELITE METEOSAT

J.M. COTOS, C. HERNANDEZ, A. TOBAR, R. BALSA

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

RESUMEN

Uno de los eventos oceánicos más importantes desde el punto de vista pesquero es el "upwelling", proceso en virtud del cual aguas suboceánicas afloran a la superficie debido a la acción de los vientos costeros. Estas aguas, de una temperatura ligeramente inferior a la superficial y ricas tanto en fosfatos como en nitratos base de la cadena alimenticia oceánica, son susceptibles de ser detectadas en el rango infrarrojo del espectro E.M.

Presentamos una serie de técnicas para procesar 24 imágenes procedentes de un satélite meteorológico con el fin de obtener un mapa térmico oceánico de la costa Oeste del continente Europeo y Norte del Africano.

ABSTRACT

Perhaps the most important oceanic success for the fisheries would be the upwelling, where the suboceanic waters reach the surface of the sea by the coastal winds action. These waters, that are colder than the boundaries, are rich in phosphates and nitrates, and can be detected by a satellite infrared sensor.

We have made several technics to process 24 images of a meteorological satellite in order to obtain an oceanic thermal map of the European West Coast and the African North Coast.

1. INTRODUCCIÓN

El "upwelling" o afloramiento de aguas profundas a la superficie, aporta los nutrientes básicos de la cadena alimenticia que favorecen la fotosíntesis y el crecimiento del fitoplancton, permitiendo el desarrollo de zooplancton y vida marina de orden superior. Este fenómeno de vital importancia para la vida marina cubre un 1% de la superficie oceánica y aporta el 50% de la captura pesquera mundial. Su origen está, según Ekman, (1905), en la acción de los vientos dominantes que soplan hacia el ecuador y paralelos a la costa oeste de los continentes en el hemisferio norte causando, en combinación con la influencia de la rotación de la tierra, un movimiento "offshore" de la capa superficial de agua que es reemplazada por aguas subsuperficiales.

Estas aguas que se caracterizan por una baja temperatura y alta densidad, pueden ser eficientemente detectadas, tanto cualitativa como cuantitativamente, mediante observaciones vía satélite. A lo largo de este trabajo presentamos las técnicas necesarias para generar un mapa térmico con el cual podremos monitorizar los afloramientos (detectar y seguir su evolución) e incluso frentes térmicos producidos.

Dado que los tóndos tienden a concentrarse en la vecindad de los frentes térmicos (Filder, P.C. et al., 1984), la transmisión de información "on-line" a la flota pesquera de estos mapas térmicos sería el último eslabón de un proceso de optimización de la pesca frente a los métodos tradicionales de rastreo por una travesía determinada, ya que estos

animales son depredadores visuales, por lo que se sitúan siempre en la frontera cálida del frente, donde el agua es más cristalina.

La elección de imágenes procedentes del satélite METEOSAT, a través de su sensor de infrarrojo, ha sido realizada en virtud de que es el satélite que mayor resolución temporal presenta de los existentes actualmente, con una cadencia entre imágenes de Europa de media hora.

Las técnicas desarrolladas han sido aplicadas al denominado cuadrante D2, que abarca aproximadamente la zona comprendida entre 20° longitud Oeste, 20° longitud Este, situada por encima de los 20° latitud Norte.

Para generar el mapa térmico, hemos comenzado generando una máscara que oculta la tierra, para a continuación eliminar las nubes existentes en la imagen. Tras promediar 24 de estas imágenes, hemos realizado un proceso de realce y falso color, que nos permite diferenciar zonas con pequeñas variaciones de temperatura.

2. GENERACIÓN DE MÁSCARA

Para detectar los bordes de la Tierra creamos una imagen binaria con las fronteras terrestres lo más limpia posible, y la hacemos pasar a través de un filtro laplaciano de detección de bordes. La expresión del operador laplaciano de dos variables es la siguiente (González, R.C., 1977):

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\sigma^2 f}{\sigma x^2} + \frac{\sigma^2 f}{\sigma y^2} \quad (1)$$

Dado que detectar bordes consiste básicamente en localizar variaciones bruscas en los niveles de gris, hemos preferido un operador de segundo orden a una simple primera derivada, ya que ésta última responde de forma errónea a perfiles de intensidad en forma de rampa (Young-Fu, 1977).

De las tres implementaciones numéricas para el operador Laplaciano (Pratt, K.W., 1978) hemos elegido la ecuación (2):

$$L[f(x,y)] = 8f(x,y) - f(x+1,y) - f(x-1,y) - f(x,y+1) - f(x,y-1) - f(x+1,y-1) - f(x+1,y+1) - f(x-1,y-1) \quad (2)$$

Convolucionamos la imagen con una ventana cuadrada (generalmente de tamaño 3x3) a lo largo de la imagen como

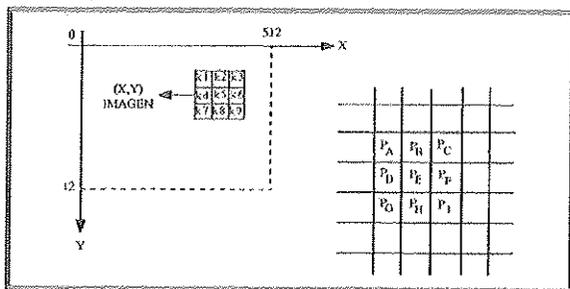


Figura 1.- Convolución de una ventana con una imagen.

indica la Figura 1:

Los coeficientes de la ventana son tomados de la función a implementar. Así el nuevo valor del píxel (x,y) se obtiene como indica la ecuación (3):

$$P_E = \frac{k_1P_A + k_2P_B + \dots + k_9P_I}{(k_1 + k_2 + \dots + k_9)} \quad (3)$$

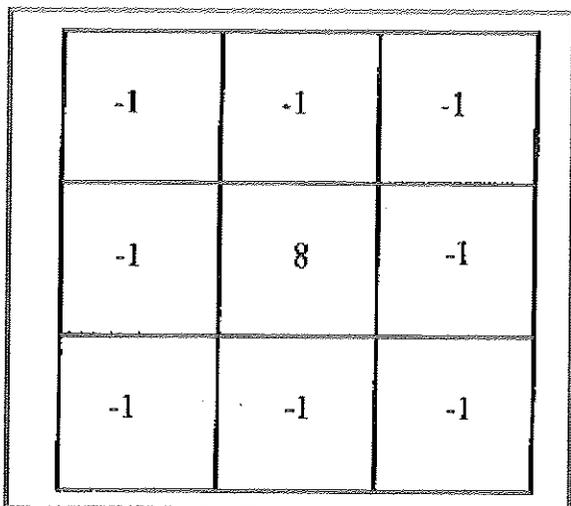


Figura 2.- Ventana correspondiente al Laplaciano.

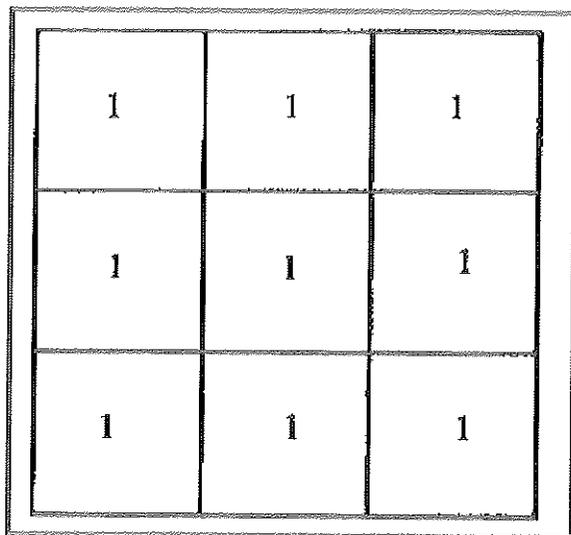


Figura 3.- Ventana correspondiente al operador valor medio

NOTA: La división no se cumple si $k_1 + k_2 + \dots + k_9 = 0$. Nuestra ventana tiene la forma que se muestra en la Figura 2.

Para mejorar la imagen así obtenida la convolucionamos con el operador valor medio (Figura 3).

Una vez extraídos los bordes solo nos resta "rellenarlos de negro" para tener una máscara completa.

3. EXTRACCIÓN DE NUBES

El principal handicap que presenta el satélite METEOSAT consiste en la existencia de un único canal de infrarrojo. Sería deseable disponer de varios canales en este rango para poder utilizar las técnicas de corrección atmosférica "split".

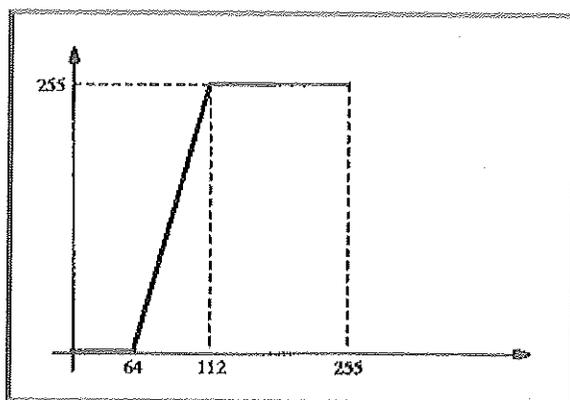


Figura 4.

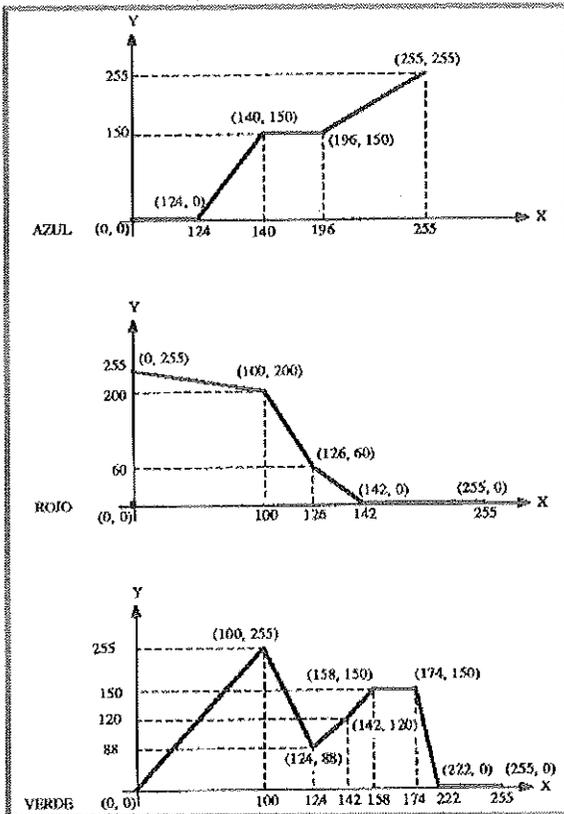


Figura 5.

window", y hacer así una correcta estimación de la temperatura del mar, y una fiable extracción de las nubes, usando también dichas técnicas (Alihouse, J.C.; McClain, E.P). Dado que sólo disponemos de 1 canal hemos optado por el método de umbral: estimamos que es nube todo aquello que excede de un cierto valor preestablecido. El inconveniente que presenta este sistema estriba en la necesidad de varios valores, dependiendo de la latitud.

Dado que las zonas de interés están situadas a latitudes bajas, utilizamos únicamente el que extrae correctamente las nubes a esas latitudes. Para conseguir un valor de umbral óptimo hemos intentado resaltar todas las formaciones nubosas existentes en una imagen comparando las recibidas a través de dos canales: al realizar el ratio de la imagen visible e infrarroja las nubes aparecen con un valor próximo a uno, mientras que los píxeles correspondientes a agua aparecen próximos a cero. Esto es debido a que las nubes presentan una alta reflectividad en el visible y en el infrarrojo, mientras que la del mar es mucho menor. Suponiendo que esta imagen-ratio es ideal (en el sentido de que aparecen en ella todas las nubes existentes), la hemos contrastado con la generada por nuestro algoritmo obteniendo un error del 5,8%. La mayor parte de este error se comete en latitudes altas,

por lo que no es significativo para nuestro estudio que se centra en el afloramiento que se extiende desde Cabo Blanco hasta las Costas Gallegas aproximadamente.

4. MEDIA DE 24 IMÁGENES

Las imágenes que tenemos al llegar este punto del desarrollo son tales que la parte correspondiente a tierra está enmascarada (valor 0), los píxeles pertenecientes a formaciones nubosas presentan color blanco (nivel de gris 255), y los correspondientes a mar poseen el valor de radianza determinado por el satélite. Realizamos un promedio de 24 imágenes tomadas el mismo día (una por hora), y dado que la dinámica de la atmósfera es mayor que la cadencia térmica del mar, basta que un píxel aparezca descubierto en una sola imagen para que pueda ser estimada su temperatura. Para transformar el nivel de gris (que suponemos de radianza) hemos ajustado a una curva que nuestro receptor nos da como válidos, obteniendo la siguiente ecuación de segundo orden:

$$t = 123,836 - 2,135 \cdot \text{nggris} - ,01 \cdot \text{nggris}^2$$

5. REALCE Y FALSO COLOR

La variación térmica superficial marina es tan sólo de unos grados de unos puntos a otros por lo que hemos tenido que reescalar la imagen para poder apreciar variaciones significativas. Comprobando que en todas las imágenes procesadas, los niveles de gris se encuentran siempre comprendidos entre 64 y 112, hemos procedido a un reescalado lineal tal como indica la Figura 4.

Un segundo paso en el proceso de realce de la imagen final consistió en aplicar falso color, aprovechando que el ojo humano distingue una mayor variabilidad cromática que de niveles de gris. La carga de las tres luts realizada es la que se muestra en la Figura 5. Hemos intentado asignar los colores más "calientes" (rojo, naranja, amarillo) a las temperaturas más altas, y los más "fríos" (gama de azules) a la más baja.

6. RESULTADOS

Una vez obtenida la media diaria (mapa térmico) hemos seguido la evolución de la temperatura a lo largo de días consecutivos para obtener una monitorización satisfactoria.

Hemos detectado la presencia de un "upwelling" en las costas africanas, que a lo largo del mes de Agosto ha ido ascendiendo desde las islas Canarias hacia el estrecho de Gibraltar. Este afloramiento de agua fría puede apreciarse en la Imagen 1 como una mancha rojiza más clara (y por lo tanto más fría), a la altura del Sahara.

Durante el mes de septiembre el afloramiento tuvo su mayor extensión el día 17 tal y como se ve en la Imagen 2. Hemos de destacar aquí que cada píxel en el satélite Meteosat corresponde con una extensión de mar 5x5 km en el nadir, por lo que la zona de agua fría paralela a la costa africana puede tener una extensión aproximada de 250 km.

Detectamos también la bolsa de agua caliente que durante

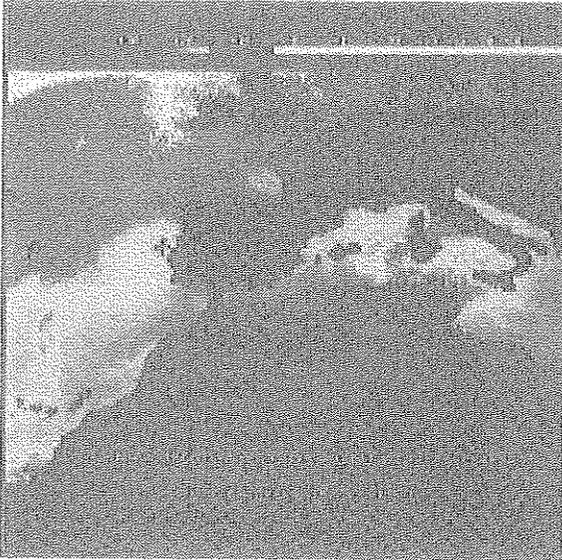


Imagen 1.- Mapa Térmico correspondiente al día 6 de agosto de 1990. Véase Anexo de color.

el verano se forma en el golfo de Vizcaya como puede apreciarse en ambas figuras. Este aumento de temperatura que se produce en el Cantábrico es debido a que en el verano la corriente de agua cálida que nace en el mar de Cádiz (subs-

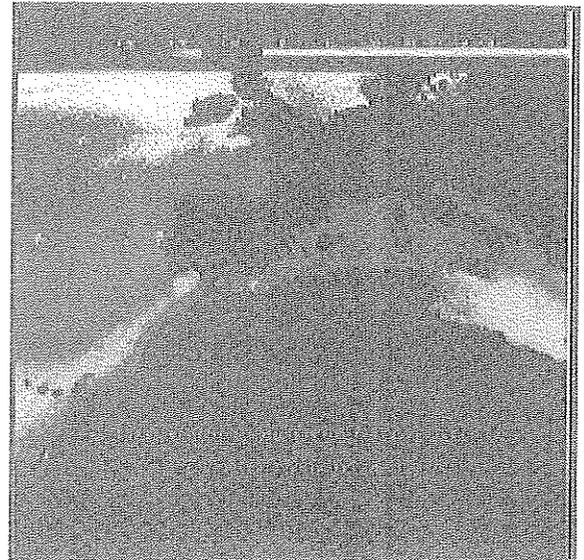


Imagen 2.- Mapa Térmico correspondiente al día 17 de septiembre de 1990. Véase Anexo de color.

perficial) y llega en el mes de mayo al cabo Finisterre es interrumpida por la masa de agua fría salina procedente del afloramiento ibérico, quedando así aislada la bolsa de agua cálida en el sureste del Golfo de Vizcaya (Molina, R., 1972).

7. BIBLIOGRAFIA

- ✓ EKMAN, V.W. (1905): On the influence of the Earth's Rotation on ocean-currents. *Ark. Mat. Astrom. Fys.* 2 1,53
- ✓ FIELDER, P.C.; SMITH, G.B.; LAURS, M. (3-1984): Fisheries applications of satellite data in the Eastern North Pacific. *Marines Fisheries Review*.
- ✓ GONZALEZ, R.C. (1977): *Digital images procesing*. Wesley Publishing Company.
- ✓ YOUNG-FU (1977): *Handbook of pattern recognition and image procesing*. Academic Press.
- ✓ PRATT, K.W. (1978): *Digital image procesing*. John Wiley & Sons.
- ✓ ALIHOUSE, J.C.; McCLAIN, E.P., Sea surface temperatura determinations. In *Avances in Geophysics*, vol. 27 Academic Press.
- ✓ MOLINA, R. (1972): Contribución al estudio del "upwlling" frente a la costa noroccidental de la Península Ibérica. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 152 3,39.