Ordenamiento del Territorio y Medio Marino. V Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección.
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria - Servicio de Publicaciones.
Las Palmas de Gran Canaria, 10, 11 y 12 de noviembre de 1993. pp. 951-957.
Editor: Manuel Cantón Garbín.

Determinación de la temperatura real de la superficie de la tierra utilizando los datos de los sensores del TOVS y AVHRR

M. Arbelo[1]; V. Caselles[2]; F. Herrera[1]; F.J. Expósito[1]
(1) Grupo de Comunicaciones y Teledetección.
Departamento de Física Fundamental y Experimental
Universidad de La Laguna
(2) Departamento de Termodinámica
Universidad de Valencia

RESUMEN

La determinación de la temperatura real de la superficie terrestre desde satélite se realiza normalmente mediante algoritmos multicanales con los datos de los canales 4 y 5 del sensor AVHRR-NOAA o mediante modelos de transferencia radiativa y radiosondeos. En este trabajo se plantea una alternativa a los algoritmos actuales. Se propone un nuevo método que combina la información suministrada por los sensores de los sistemas TOVS y AVHRR abordo de los satélites NOAA.

ABSTRACT

The determination of true surface temperature from satellite is performed by means of multichannel algorithms with channels 4 and 5 of AVHRR-NOAA or using radiative transfer models and radiosounding profiles of temperature and humidity. In this work, an alternative to the current algorithms is established. A new method combining the information supplied by sensors of TOVS and AVHRR systems onboard NOAA satellites is proposed.

Introducción

La determinación exacta de la temperatura superficial del mar es esencial para los estudios del clima y océanos. La estructura térmica del mar juega un papel primordial regulando los intercambios atmósfera-océano, y su conocimiento es importante para verificar los modelos de circulación.

Las medidas desde satélite de las radiancias de la superficie y la atmósfera han sido realizadas de forma rutinaria durante años. Sin embargo, los algoritmos desarrollados para obtener la SST (Sea Surface Temperature) no consideran las característi-

cas ambientales de una zona tan peculiar como Canarias, haciéndose necesario el desarrollo de un estudio particular que contemple estas condiciones.

Los algoritmos multicanales actuales utilizan los datos de los canales 4 y 5 del sensor AVHRR. El problema que presentan es el carácter local de los coeficientes, inadecuados e imprecisos para la región que nos ocupa. De igual forma, los algoritmos que usan modelos de transferencia radiativa y radiosondeos plantean dudas sobre la validez de los perfiles atmosféricos utilizados para hacer correcciones a la temperatura del mar ya que estos son realizados desde la superficie terrestre y existe una gran variabilidad de la cantidad de vapor de agua de un lugar a otro, principalmente sobre los océanos. A esto hay que añadir la diferencia en tiempo que suele existir entre la imagen de satélite y el lanzamiento del radiosondeo, otro gran inconveniente que no se puede obviar si se desea obtener la verdadera temperatura de la superficie.

En el presente trabajo se plantea una alternativa a los algoritmos que utilizan directa o indirectamente radiosondeos tradicionales y se describe un procedimiento que utiliza los datos de vapor de agua obtenidos a partir del TOVS conjuntamente con la información de los canales infrarrojotérmicos del AVHRR para mejorar el método split-window.

Metodología

Ecuación split-window

El método utilizado para la determinación de la temperatura, es el split-window. Las bases teóricas de esta técnica, actualmente la mas usada para obtener la SST, se pueden encontrar en McMillin and Crosby (1984). Este algoritmo hace uso de las radiancias medidas en los canales 4 y 5 del AVHRR.

Si T_4 y T_5 son las temperaturas aparentes registradas en cada canal, la temperatura real de la superficie, T, se puede determinar mediante la expresión:

$$T = T_4 + A(T_4 - T_5) + B$$

donde los coeficientes A y B en el caso de la superficie del mar vienen dados por:

$$A = \frac{1 - \tau_4}{\tau_4 - \tau_5}$$

$$B = -\frac{(1 - \tau_4)(1 - \tau_5)}{\tau_4 - \tau_5}(T_{a4} - T_{a5})$$

siendo τ_i la transmitancia total de la atmósfera en el canal i, y Ta, la temperatura media atmosférica en el mismo canal (Maul, 1983).

Cálculo del vapor de agua con los datos del TOVS

El vapor de agua es un componente atmosférico que no está distribuido uniformemente a escala global. La humedad y la distribución de las nubes sobre los océanos son función del la SST. La humedad puede variar desde 0.5 gr/cm^2 a altas latitudes hasta 6 gr/cm^2 en regiones ecuatoriales. Todo ello hace imposible conocer su distribución disponiendo únicamente de los datos de radiosondeos, ya que están circunscritos a una zona fija. Sería interesante entonces, disponer de datos sobre los océanos para caracterizar correctamente al vapor de agua.

Los satélites NOAA, con el sistema TOVS abordo, hacen posible el estudio del vapor de agua total atmosférico con una exactitud entre un 5 y 10% en zonas libres de nubes (Young, T.L. 1992). Para ello se emplea el método propuesto por Smith et al. (1985) que obtiene la cantidad total de agua precipitable, así como los perfiles de temperatura y la temperatura de la superficie (skin), y consiste en una solución física de la ecuación de transferencia radiativa que hace uso de las radiancias observadas en todos los canales HIRS-2 (High Resolution Infrared Radiation Sounder mod. 2) y MSU (Microwave Sounding Unit) del TOVS simultáneamente, incrementando así la exactitud y eficiencia numérica del proceso de obtención en relación a los métodos que utilizan procesos iterativos. Brevemente, el método consiste:

1.- Integración por partes de la ecuación de transferencia radiativa, expresando esta en forma de perturbación.
2.- Para resolver dicha ecuación y obtener los parámetros deseados, perfiles de humedad y temperatura y temperatura de la superficie (skin), se ponen estos en término de las funciones de presión dT/dlnP, llamadas funciones de peso de los canales.
3.- El sistema de ecuaciones resultante sólo requiere la inversión de una matriz para obtener la solución.

Combinación de AVHRR y TOVS

La mayoría de los algoritmos actuales que combinan los datos de los sensores AVHRR y TOVS para obtener la temperatura de la superficie contemplan en la ecuación asociaciones de las temperaturas aparentes de los canales de ambos sistemas (Schluessel, 1987), (Ottlé, 1992), o bien, hacen uso de los perfiles de temperatura y humedad obtenidos del TOVS para corregir el efecto atmosférico del canal cuatro del AVHRR con un modelo de transferencia radiativa (Reutter, 1991).

Nuestro procedimiento propone la sinergía del vapor de agua extraído de las radiancias de los canales del TOVS con el algoritmo split-window de coeficientes dependientes de este mismo componente atmosférico.

Usando el modelo de transferencia radiativa LOWTRAN 7 han sido calculados los coeficientes A y B del split-window para un conjunto amplio de atmósferas, encontrándose una dependencia lineal entre A y el vapor de agua atmosférico y un comportamiento cuadrático para el coeficiente B (Coll et al., 1993c),

$$A=A_0+A_1 W$$

$$B=B_0+B_1 W+B_2 W^2$$

Estas relaciones nos permiten obtener la temperatura conociendo las temperaturas aparentes de los canales 4 y 5 del AVHRR y el vapor de agua en gr/cm² de los datos TOVS. En la figura 1 se puede observar esquemáticamente el procedimiento seguido.

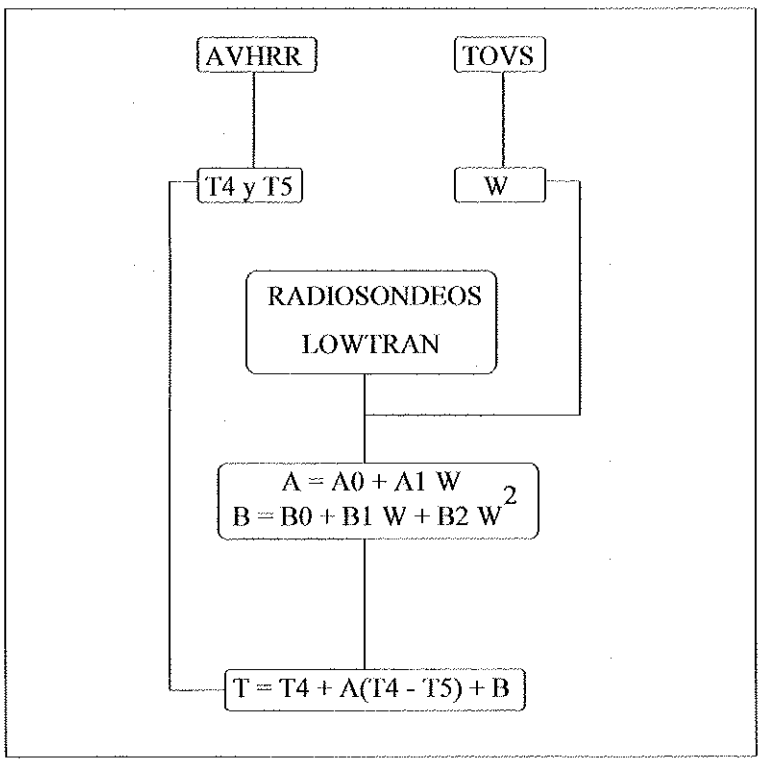

FIGURA 1
Combinación de AVHRR con TVS

Resultados

El sistema con el que se han llevado a cabo todas las tareas de recepción, almacenamiento, procesamiento y representación de los datos de telemetría HRPT de los satélites NOAA es un equipo Terascan. Esta instrumentación permite extraer información de los siguientes sensores de estos satélites:

AVHRR: Imágenes multiespectrales de 1 km de resolución.
TOVS: Sondeos verticales de humedad-temperatura atmosférica.
ARGOS: Datos de pequeños transmisores montados en boyas, globos, animales salvajes...

El servidor de antena opera de forma independiente aunque está enlazado mediante una red de área local a otras computadoras.

Todo el sistema está operativo las veinticuatro horas, recibiendo la información enviada por los satélites automáticamente.

La imagen utilizada para la aplicación del algoritmo propuesto es una escena parcial del pase del satélite NOAA-11 de las 15:03 h. del día 18 de Junio de 1991. Está centrada entorno a 28.5° Latitud Norte y 15.6° Longitud Oeste. También se dispone del radiosondeo de las 12:00 h. lanzado desde Santa Cruz de Tenerife por el Instituto Nacional de Meteorología.

Los resultados obtenidos con nuestro algoritmo se comparan con otros tres de la literatura y se analizan las diferencias. La máscara que se usó para la eliminación de nubes y zonas de Tierra, ha sido la misma en todos los casos. Así pues, los cálculos de SST se han realizado solamente para aquellos píxeles que estaban totalmente «despejados».

Para un punto situado a 27° 36.30 N y 16° 3.03 W se encuentran los siguientes resultados una vez aplicados los diferentes algoritmos:

1.- (McClain et al., 1985): 288.9 K
2.-(Sobrinoetal., 1991): 293.1 K
3.- (Coll et al., 1993b): 293.4 K
4.- (Arbelo et al., 1993): 293.9 K

1.- La ecuación obtenida por McClain es de carácter global y no es extrapolable a una zona tan peculiar como Canarias. Las diferencias con el resto de algoritmos es obvia.

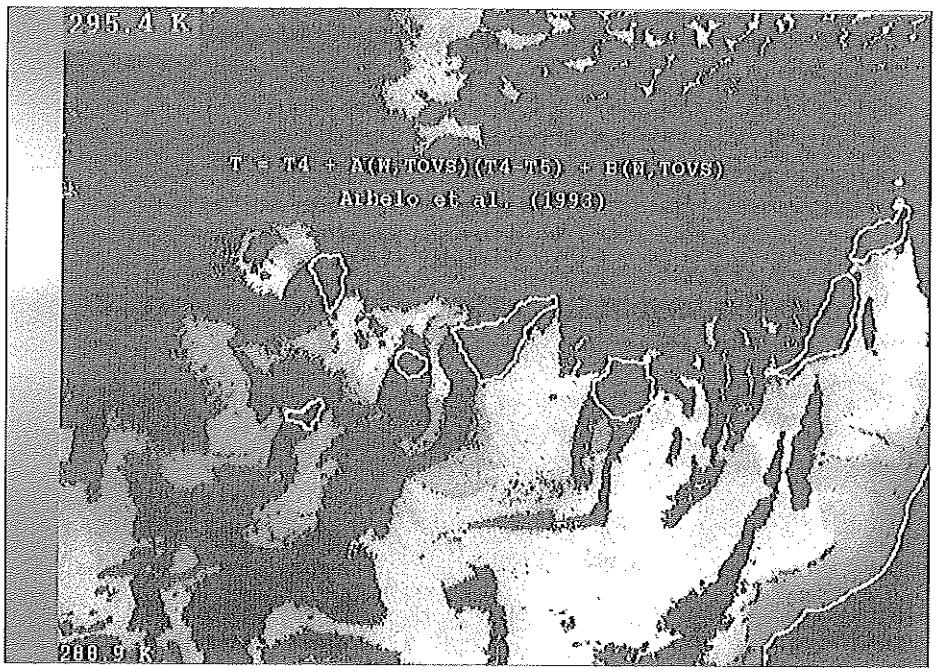

Imagen NOAA14 de la temperatura superficial del mar en Canarias.
Grupo de Comunicaciones y Teledetección. Dpto. de Física. Univ. de La Laguna. **(A. 101)**

2.- En este caso, el coeficiente A de split-window ha sido obtenido por interpolación del dato del vapor de agua total, 1.09 gr/cm', calculado a partir del perfil vertical de temperaturas y humedades de ese día, con los valores dados por Sobrino. El problema que ofrece este método es la validez de los radiosondeos lanzados desde Tierra para obtener la SST, y la diferencia en tiempo que existe entre este y el pase, en este caso, mas de 3 horas de diferencia, que puede ser mucho tiempo en épocas calurosas con gran evaporación.

3.- La peculiaridad del algoritmo de Coll, es que contiene un término cuadrático, pero los coeficientes se han obtenido teniendo en cuenta cantidades de vapor de agua inferiores a 2 gr/cm', por lo que, en principio, no es válido para una región subtropical como Canarias.

4.- El método propuesto en este trabajo utiliza la ecuación de split-window con los coeficientes dependientes del vapor de agua según se han descrito. Para la determinación de dichos coeficientes, A(W) y B(W), se han escogido los cuatro sondeos TOVS que han quedado libres de nubes en la imagen de estudio. Todos se encuentran situados al Sur de las Islas Occidentales. Los valores de

vapor de agua total atmosférico para cada uno de estos puntos son: 2.14, 2.05, 1.86 y 2.03 gr/cm'. El valor de W que se ha utilizado en las expresiones de los coeficientes para su obtención es la media de los cuatro datos de los que se dispone, valores muy próximos entre si que dan perfecta cuenta de la cantidad total de agua precipitable en esta región.

La ecuación split-window propuesta y aplicada es:

Conclusión

La combinación de TOVS y AVHRR que hemos planteado debe proporcionar los mejores resultados para la determinación de la verdadera temperatura superficial del mar, al garantizar la simultaneidad de las medidas de T y W en tiempo y espacio.

La validación de los resultados se llevará a cabo con una campaña de medidas in situ e imágenes de satélite con las que ya se está trabajando.

Bibliografía

McMillin, L.M. and Crosby. D.S.: 1984. Theory and validation of the multiple window sea surface temperature technique. *Journal of Geophysical Research* 89, C3: 3655-3661.
Maul, G.A.: 1983. Zenith angle effects in multichannel infrared sea surface sensing. *Remote Sensins of Environment* 13: 439-451.
Young, T.L.: 1992. *Terascan Reference Manual*. Seaspace. San Diego, California. USA.
Smith. W.L. et al.: 1985. The simultaneous retrieval export package. En *II ITSC*, Igls, Austria.
Schluessel, P.: et al. 1987. Comparison of satellite devived sea surface temperatures with in situ skin measurements. *J. Geopll. Res.* 92: 2859-2874.
Ottlé, C. and Vidal-Madjar, D.: 1992. Estimation of land surface temperature with NOAA-9 data. Rem. Sens. Eviron. 40, 27-41.
Reutter, H. and Olesen, Folke-Soren: 1991. Atmospheric correction of AVHRR IR-DATA with TOVS sounding. En *5th AVHRR Data User's Meeting*, Tromso. pp 143-148.
Coll, C. y Caselles, V.: 1993c. Analysis of the atmospheric and emissivity influence on the split-window equation for sea surface temperature. *International Journal of Remote Sensing (Forthcoming).*
McClain, E.P. et al.: 1985. Comparative perfomance of AVHRR based multichannel sea surface temperatures. *Journal of Geophysical Research* 90, C6: 11587- 11601.
Sobrino, J.A. et al.: 1991. Atmospheric correction for land surface temperature using NOAA-11 AVHRR channels 4 and 5. *Remote Sensing of Environment*. 38: 19-34.
Coll, C. et al.: 1993b. On the atmospheric dependence of split-window equation for land surface temperature International Journal of Remote Sensing. (forthcoming) .
Arbelo, M. et al: 1993. Utilización de los datos TOVS y AVHRR para obtener la temperatura de la superficie terrestre de Canarias. En *XXIV Bienal R.S.E.F.* Jaca. Tomo II, MT-51.