

## LA DETECCIÓN DE NUBES EN IMÁGENES TÉRMICAS DE SATELITE

F. Sospedra, V. Caselles, C. Coll, E. Rubio y E. Valor.

Departament de Termodinàmica. Universitat de Valencia, C/. Dr. Moliner, 50  
46100 BURJASSOT (Valencia).  
E-Mail: Francisco.Sospedra@uv.es

**RESUMEN:** En este trabajo proponemos un nuevo método que permite solventar el problema de la detección de nubes en imágenes de satélite. El modelo parte de un análisis teórico de los términos involucrados en el balance radiativo de un píxel nuboso. El error en la proporción de nubosidad en un píxel está comprendido en el intervalo 3-12 %. Se presenta también una aplicación a una imagen NOAA del sudeste de la Península Ibérica.

**ABSTRACT:** In this work, a new methodology facing up the cloud detection problem in satellite imagery is proposed. The model is based on the theoretical analysis of the terms involved in the radiation balance of cloudy pixels. The error in cloudiness determination ranges from 3 to 12 %. An application of the methodology to a NOAA image of the southeastern part of Spain is also showed.

### INTRODUCCIÓN

Desde hace años nuestro grupo de investigación viene trabajando en el cálculo de la temperatura desde satélites. Tres son los problemas principales que debemos afrontar: (1) la corrección atmosférica, (2) la corrección de emisividad y (3) la correcta detección de las nubes. Los dos primeros problemas han sido ya resueltos en los pasados años [1], [2] mientras que el tercero es el que abordamos en este trabajo.

El objetivo que perseguimos es conseguir un cartografiado de la nubosidad en imágenes de

satélite que sea a la vez preciso y operativo. El modelo que proponemos se basa en un algoritmo iterativo y autoconsistente.

### MODELO

Supongamos un píxel que posea una porción de su superficie  $P_n$  cubierta por cualquier tipo de nubes y la porción restante de su área (a la que llamaremos  $P_s$ ) está completamente despejada. Obviamente se debe satisfacer la condición de ligadura de que  $P_n + P_s = 1$ , y por tanto  $P_s = 1 - P_n$ . También es fácil intuir que la radiancia que medirá el satélite (a la cual llamaremos  $L$ ) será la suma de la radiancia proveniente de la parte despejada del píxel ( $L_s$ ) más la que proviene de la parte cubierta ( $L_n$ ) y que vendrá dada por la ecuación:

$$L = L_n P_n + L_s P_s \quad (1)$$

Teniendo en cuenta la relación de ligadura entre  $P_n$  y  $P_s$  y despejando de la ecuación anterior, tenemos que  $P_n$  viene dada por la siguiente expresión:

$$P_n = \frac{L_s - L}{L_s - L_n} \quad (2)$$

La figura 1 muestra las diferentes contribuciones radiativas que podemos encontrar en un píxel nuboso. Las líneas continuas representan a aquellos términos que tienen una importancia mayor en el balance radiativo.

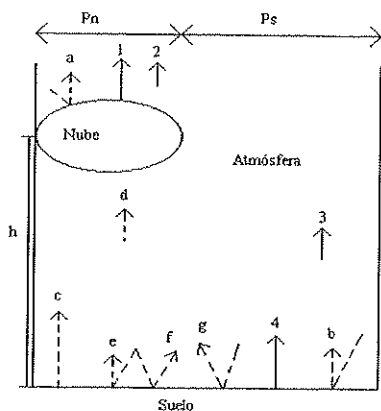


Figura 1.- Diferentes términos que influyen en el balance radiativo suelo-atmósfera-nube.

Teniendo en cuenta que en el infrarrojo térmico la emisividad adquiere valores entre 0.95 y 0.99 [3] es evidente que los términos del balance que incluyan reflexiones y/o transmisiones tendrán una importancia relativa menor respecto a los términos directos, con lo cual en primera instancia no se comete un error excesivo si sólo se trabaja con estos términos.

Sustituyendo las expresiones explícitas de los términos principales en la ecuación (2) llegamos a una ecuación que nos permitirá el cálculo de la proporción de nubosidad en imágenes de satélite [4]:

$$P_n = \frac{B^\uparrow(T_n)_0^\infty + \epsilon_s B(T_s) \tau_0^\infty - L}{B^\uparrow(T_n)_0^h + \epsilon_s B(T_s) \tau_0^\infty - \epsilon_n B(T_n) \tau_h^\infty} \quad (3)$$

#### ALGORITMO DE CÁLCULO

En la ecuación (3) distinguimos tres tipos de variables: (a) aquellas que conocemos realmente (radiancia medida por el satélite,  $L$ ), (b) aquellas que podemos obtener mediante simulación atmosférica (transmisividades,  $\tau$ , y radiancias atmosféricas,  $B^\uparrow$ ) y (c) aquellas que podemos incluir a priori (emisividades,  $\epsilon$ , y temperatura de la nube,  $T_n$ ). No obstante, no

debemos olvidar que hasta el momento lo que se tiene es una sola ecuación (3) y 2 incógnitas  $P_n$  y  $T_s$ . Para solventar este problema necesitamos una segunda ecuación. En nuestro caso esta segunda ecuación será a la vez, la que permita resolver el sistema y la que inicia el algoritmo operativo. Esta ecuación es la siguiente:

$$T_s = T_{\text{pixel}} \quad (4)$$

Utilizando esta aproximación, lo que estamos haciendo es infraestimar la radiancia proveniente del suelo, lo que es equivalente a infraestimar la proporción de nubosidad.

Para que el algoritmo sea operativo necesitamos una segunda  $T_s$  para introducir en la ecuación (3). Esta segunda temperatura no puede ser obtenida a partir de las ecuaciones a nivel de suelo ya que sería equivalente a deshacer el camino ya hecho. Sin embargo, si que podemos trabajar a nivel de satélite para obtener esta temperatura a partir de la ecuación:

$$T_{\text{pixel}} = T_n P_n + T_s^* P_s \quad (5)$$

Antes de proseguir, debemos efectuar dos aclaraciones: (a) la ecuación anterior debería escribir en radiancias en lugar de temperaturas, pero se ha hecho de esta forma para simplificar el cálculo y (b) si despejamos  $T_s^*$  de la ecuación (5) veremos que la expresión resultante diverge para  $P_n \rightarrow 1$ , cosa completamente lógica ya que cuando las nubes cubren todo el píxel, es físicamente imposible intentar hallar cualquier variable que haga referencia a la superficie. El significado físico de  $T_s^*$  es el de la temperatura del suelo sin corregir atmosféricamente. Evidentemente, esta temperatura no es la que aparece explícitamente en la ecuación (3), para solucionar esto y poder seguir iterando la radiancia proveniente del suelo que aparece en la ecuación (2) debe ser reescrita como:

$$L_s = B(T_s^*) \quad (6)$$

A partir de aquí iteramos por segunda vez y hallamos una proporción de nubosidad superior a la de la primera iteración e inferior a la real. Si seguimos iterando sucesivamente vemos que la proporción sigue aumentando hasta permanecer constante en el valor final de  $P_n$ . Una ventaja que presenta este algoritmo frente a otros es que para cada iteración tenemos un valor de  $P_n$  y otro de  $T_s^*$ , con lo cual al final obtenemos un valor de la proporción de nubosidad y otro de la temperatura del suelo sin corregir atmosféricamente.

La ventaja de este hecho es que para los píxeles parcialmente nubosos podemos tener una estimación de  $T_s^*$ . No obstante, no se debe olvidar que este valor de  $T_s^*$  vendrá afectado por la propagación de errores de las sucesivas iteraciones. Calculando este error vemos que se mueve en la franja entre 2 y 3 K.

#### ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Aplicando teoría de errores a la ecuación (1) y a las expresiones correspondientes de las radiancias provenientes del suelo y del techo de la nube, hemos hecho la evaluación de la incertidumbre que afecta a la proporción de nubosidad.

El estudio de este error lo hemos hecho fundamentalmente en base a dos variables clave: (a) la atmósfera estándar escogida para el cálculo de las variables atmosféricas y (b) el tipo de nube a detectar. En nuestro estudio hemos escogido para la simulación de las variables atmosféricas tres atmósferas estándar (latitudes medias en verano y en invierno y tropical) y distinguimos entre tres categorías de nubes dependiendo de su altura (altas, medias y bajas). Las conclusiones fundamentales del estudio de sensibilidad son las siguientes:

- a) la mayor incertidumbre en el cálculo de la proporción de nubosidad se presenta en nubes bajas con temperaturas cercanas (o incluso superiores) a la superficie. En este caso el error en  $P_n$  es superior al 10%.
- b) el error apenas depende de la atmósfera escogida.

c) de las cuatro fuentes fundamentales de error (radiación y transmisividad atmosféricas, temperatura del techo de la nube y emisividad del suelo), a medida que nos vamos acercando al suelo es la temperatura del techo de la nube la que gobierna el error en  $P_n$ .

d) a medida que la emisividad y la temperatura del suelo aumentan, el error en la proporción de nubosidad disminuye.

#### APLICACIONES

A continuación mostraremos un ejemplo de aplicación del algoritmo propuesto. La imagen escogida es una imagen NOAA-11 tomada por el sensor AVHRR el 23 de junio de 1991 y que corresponde al sudeste de la Península Ibérica (ver fig. 2). Hemos de decir, que a diferencia de otros métodos, para ejecutar este algoritmo sólo es necesario disponer de una de las bandas térmicas (preferentemente la 4, ya que en ella la transmisividad es más alta).

Una vez escogida la imagen, con el programa MODTRAN calculamos las variables atmosféricas. Después aplicamos el método iterativo propuesto, el cual emplea unos 7 minutos en calcular la proporción de nubosidad para una imagen de 1024 x 1024 píxeles. Un hecho que ayuda a que el programa aumente su rapidez es la disponibilidad de números efectivos que permitan pasar automáticamente de radiancias a temperaturas y viceversa. En el caso de los satélites NOAA, estos vienen dados por el fabricante mientras que para otros satélites se pueden calcular sencillamente utilizando el método propuesto por Sospedra et al. [5].

En la figura 2 podemos ver la imagen original NOAA (banda 4) y a continuación la imagen de  $P_n$  y por último la imagen de  $T_s^*$ . Esta última imagen ha sido construida de la siguiente forma: en los píxeles claros se conserva el valor original de temperatura, los píxeles completamente nubosos se han enmascarado y por último los píxeles parcialmente nubosos poseen el valor de  $T_s^*$  de la última de las iteraciones.

## CONCLUSIONES

(1) Hemos propuesto un método que resuelve los problemas de los métodos de umbral y que para cada píxel calcula su proporción de nubosidad.

(2) Se ha efectuado un balance radiativo de onda larga viendo cuales son los términos más significativos. El método resuelve el problema de la insuficiencia en la distinción entre píxeles claros y nubosos en satélites de resolución espacial baja o media.

(3) El modelo teórico se ha convertido en un algoritmo operativo que permite su uso sistemático en diferentes imágenes de satélite partiendo de unas exigencias mínimas (una banda situada en el infrarrojo térmico). El error en la proporción de nubosidad va entre el 3 y el 12 %.

## BIBLIOGRAFIA

[1] C. COLL, V. CASELLES "A split-window algorithm for land surface temperature from AVHRR data: validation and algorithm comparison" J. Geophys. Res. (in the press).

[2] E. VALOR, V. CASELLES "Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas" Remote Sens. Environ., 1996, 57, 167-184.

[3] E. RUBIO, V. CASELLES, C. BADENAS "Emissivity measurements of several soils and vegetation types in the 8-14  $\mu\text{m}$  waveband: analysis of two field methods" Remote Sens. Environ., 1997, 59, 490-521.

[4] F. SOSPEDRA, V. CASELLES " A theoretical-based algorithm to retrieve the amount of cloudiness in a satellite pixel. Application to NOAA-AVHRR images of Spain and Niger " Remote Sens. Environ. (submitted).

[5] F. SOSPEDRA, V. CASELLES, E. VALOR "Effective wavenumber for thermal infrared bands. Application to Landsat-TM" Int. J. Remote Sens. (accepted).

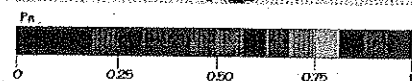
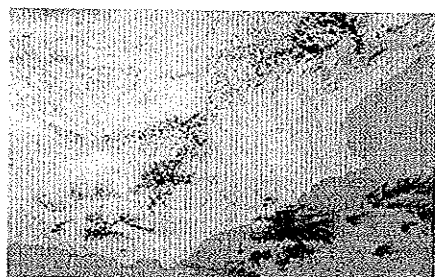


Figura 2.- Imagen NOAA-11 del Sudeste de la Península Ibérica (banda 4, proporción de nubosidad y temperatura).