

APLICACIÓN DE LA BASE DE DATOS PATHFINDER AL ESTUDIO DEL SEGUIMIENTO DE LA DINAMICA DE LA COBERTURA TERRESTRE

J. A. Sobrino, R. Villa, E. Hurtado, N. Raissouni, J. Simarro
sobrino@uv.es

*Unidad de Cambio Global Departament de Termodinàmica, Facultat de Física, Universitat de València.
C/ Dr. Moliner 50, 46100 Burjassot (Spain).*

RESUMEN: En el presente trabajo, se analiza en detalle la base de datos desarrollada por la NASA en colaboración con NOAA dentro del proyecto "Pathfinder AVHRR Land", para realizar un seguimiento de la cobertura terrestre de la Península Ibérica y parte del norte de África durante el periodo de tiempo comprendido entre los años 1981 a 1994. Se presentan un conjunto de algoritmos que permiten estimar un número de parámetros físicos importantes para el estudio de la cobertura terrestre. Una vez implementados a las imágenes Pathfinder, se proponen diferentes métodos de seguimiento basados en el estudio de la evolución del NDVI y la Temperatura de superficie terrestre (TST) estimada mediante un algoritmo de tipo split-window.

Palabras clave: *Composite, NDVI, Pathfinder, Temperatura de Superficie Terrestre y AVHRR.*

INTRODUCCIÓN

La Península Ibérica y el Norte de Africa, por su peculiar situación geográfica, su gran diversidad medioambiental, su reducido tamaño a la resolución de las bases de datos actuales de satélites, así como por el riesgo de aridez que afecta gran parte de sus territorios, hacen de esta zona un candidato ideal para realizar estudios de seguimiento y de evolución de la cobertura terrestre. Para este fin, hemos utilizado en el presente trabajo imágenes NOAA provenientes de la base de datos "Pathfinder AVHRR Land" desarrollada por NOAA y NASA conjuntamente, y que se obtienen a través del Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS). La base de datos contiene imágenes de los satélites NOAA-7, 9 y 11. El formato de las imágenes utilizadas es el "Global Area Coverage" (GAC) con una resolución aproximada de 4x4km que se transforma después del procesado a una resolución de 8x8 km. La verdadera clave de todo el proceso realizado sobre los datos radica en que se ha realizado una calibración dependiente del tiempo que tiene en cuenta la degradación del sensor y la intercalibración entre satélites. Además del filtrado de nubes sobre las imágenes diarias, se realiza una corrección atmosférica de Rayleigh y de Ozono. Posteriormente, los datos globales obtenidos son georeferenciados a una proyección pseudocilíndrica llamada "Interrupted Goode Homolosine", considerada la de menor distorsión de las masas terrestres.

Para realizar el seguimiento de la cobertura terrestre en la zona de estudio, se ha considerado la variable física de la temperatura de

superficie terrestre (TST) junto al índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Ambos parámetros permiten aprovechar la sinergia proporcionada por los canales VIS, PIR y térmico (TIR).

METODOLOGÍA

La TST desempeña un importante papel en el ciclo de la evolución natural de cualquier ecosistema y puede ser utilizado como un indicador válido para cuantificar los cambios en las características biofísicas de la cobertura terrestre. Para la determinación de la TST desde satélite, se propone el siguiente algoritmo operacional de tipo split-window que sirve para estimar dicho parámetro a partir de imágenes NOAA-AVHRR:

$$TST = T_4 + 1.40(T_4 - T_5) + 0.32 + 0.83 \\ + (57 - 5W)(1 - \epsilon) - (161 - 30W)\Delta\epsilon \quad (1)$$

donde T_4 y T_5 son las temperaturas radiométricas medidas en los canales 4 y 5 del sensor AVHRR, $\epsilon = (\epsilon_4 + \epsilon_5)/2$ y $\epsilon = \epsilon_4 - \epsilon_5$ son respectivamente la emisividad media efectiva de ambos canales y la variación espectral de emisividad y $W(g\ cm^{-2})$ es el vapor de agua atmosférico de una columna vertical de superficie la unidad, entre el sensor y la superficie terrestre.

Para aplicar la ecuación anterior se requiere del conocimiento de la emisividad media efectiva, su variación espectral, y la cantidad de vapor de agua atmosférico, para lo que se han desarrollado diferentes algoritmos que permiten su

estimación a partir de los datos suministrados por el sensor AVHRR.

a) Emisividad: Método de Umbrales

El conocimiento de la emisividad es esencial en la discriminación, clasificación y determinación de tipos de suelos aunque en nuestro caso su obtención viene dada por la necesidad de corregir la estimación de la TST. Aunque no es posible determinar exactamente la emisividad de la superficie desde satélite, debido a que en cualquier medida realizada tenemos más incógnitas (emisividad y temperatura) que medidas (una radiancia por canal), es posible su estimación a partir de la imagen de NDVI, mediante un método de umbrales, con el siguiente procedimiento.

i) Píxeles mezcla:

Son aquellos que presentan valores de NDVI entre 0.2 y 0.5. Aquí La aproximación teórica utilizada es la dada por Sobrino et al. (1990), que modela una superficie considerándola como una mezcla de suelo desnudo y vegetación. Sobre la base de esta hipótesis se ha desarrollado un método operativo para el cálculo de la emisividad media efectiva y de su diferencia espectral. Así podemos expresar la emisividad como:

$$\epsilon_i = \epsilon_{vi} P_v + \epsilon_{si}(1-P_v) + d\epsilon_i \quad (2)$$

donde ϵ_{vi} y ϵ_{si} son las emisividades de la vegetación y suelo desnudo, respectivamente, para el canal i ($i=4$ ó 5); P_v es la proporción de vegetación y $d\epsilon_i$ es un término que depende de las características de la superficie, y tiene en cuenta las reflexiones internas (efectos de cavidad). Se han considerado diferentes tipos de cubierta vegetal: vid, huerta, naranjo y bosque que nos servirán para extraer un valor medio de $d\epsilon$. A partir de este modelo (Sobrino 1990), se han obtenido unos valores cuantitativos para las estructuras de cultivo típico. De esta forma se obtiene una aproximación lineal respecto a P_v : $d\epsilon_i = a_i + b_i P_v$. Para los canales 4 y 5 del AVHRR, los valores obtenidos del término $d\epsilon_i$ son $d\epsilon_4 = 0.014 - 0.010 P_v$ y $d\epsilon_5 = 0.018 - 0.014 P_v$. Considerando ahora para las emisividades del suelo desnudo y la vegetación, $\epsilon_{s4} = 0.96$, $\epsilon_{s5} = 0.95$ y $\epsilon_{v4} = \epsilon_{v5} = 0.985$, valores que se han obtenido obtenido a partir de la base de datos de Salisbury, se puede obtener la emisividad media efectiva como:

$$\epsilon = 0.971 + 0.018 P_v \quad (3)$$

$$\Delta\epsilon = 0.006 (1 - P_v) \quad (4)$$

donde el término P_v de proporción de vegetación se obtiene a partir de la imagen de NDVI de acuerdo a (Carlson y Ripley 1997):

$$P_v = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (5)$$

ii) Píxeles cubiertos de vegetación

Los píxeles con valor de NDVI superior a 0.5, se considera que corresponden a suelos cubiertos totalmente de vegetación ($P_v = 1$, con un término de reflexión $d\epsilon = 0.005$) donde el término de emisividad media viene dado por $\epsilon = 0.985 + d\epsilon$.

iii) Píxeles de suelo desnudo

Valores de NDVI inferiores a 0.2 se consideran suelos desnudos. Aquí $P_v = 0$ y $d\epsilon = 0$, y por tanto:

$$\epsilon = 0.980 - 0.042 \rho_1 \quad (6)$$

$$\Delta\epsilon = -0.003 - 0.029 \rho_1 \quad (7)$$

donde ρ_1 es la reflectividad del canal 1 AVHRR. Estas ecuaciones se han obtenido a partir de los datos espectrales suministrados por Salisbury, para muestras cuya emisividad en los canales 4 y 5 son mayores o iguales a 0.94 (ver Figura 1).

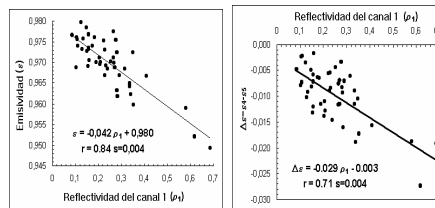


Figura 1.- Relación de la emisividad y del término de reflexión con la reflectividad del canal 1.

b) Vapor de Agua Atmosférico

El método aplicado es el llamado Split-window Covariance-Variance Ratio (SWCVR) (Sobrino et al. 1999):

$$W = 0.26 - 14.253(\cos\theta \cdot \ln R_{54}) - 1.649(\cos\theta \cdot \ln R_{54})^2 \quad (8)$$

donde θ es el ángulo de observación del satélite y R_{54} es la relación espectral de la varianza y covarianza de las temperaturas radiométricas obtenidas para los canales 4 y 5 sobre una ventana de N píxeles considerados para cada canal, y T_{4o} y T_{5o} son las temperaturas medias consideradas en cada ventana:

$$R_{54} = \frac{\sum_{k=1}^N (T_{4k} - T_{4o})(T_{5k} - T_{5o})}{\sum_{k=1}^N (T_{4k} - T_{4o})^2} \quad (9)$$

Se ha comparado el vapor de agua estimado mediante este método, con valores obtenidos de radiosondeos atmosféricos diarios efectuados en distintas estaciones de la península durante los días en que se ha formado cada imagen composite. Promediando sobre la imagen de W estimada una ventana de píxeles de 3×3 alrededor de la zona del radiosondeo y comparándola con el mínimo valor del radiosondeo obtenido durante los 10 días de composición, se ha estimado un error de 0.6 g cm^{-2} .

ÁREA DE ESTUDIO Y DATOS DE SATÉLITE.

El área de estudio está localizada entre los 45°N y los 33°N de latitud y entre los 10°W y los 11°E de longitud, extendiéndose sobre una superficie aproximada de $1.000.000 \text{ km}^2$ (de los que casi 600.000 km^2 pertenecen a la Península Ibérica). Esta área, a pesar del reducido tamaño a escala global, presenta una gran diversidad medioambiental, contrastando las zonas húmedas del norte peninsular con las zonas más áridas del continente africano.

Las imágenes utilizadas se han obtenido de la base de datos *Pathfinder AVHRR Land Data Set* que contiene imágenes diarias desde julio de 1981 hasta septiembre de 1994. Se han utilizado las imágenes "composite" obtenidas durante 10 días (entre el 11 y el 20 de cada mes), a partir del método del máximo NDVI que consiste en seleccionar el dato con el píxel de mayor NDVI durante dicho el periodo. Este método también es conocido como "casi libre de nubes", porque minimiza los efectos atmosféricos sobre las imágenes, aunque hemos aplicado un algoritmo de detección de nubes basado en los algoritmos de Saunders y Kriebel (1988) debido a que no se dispone de las bandas que informan de los resultados del algoritmo de nubes aplicado durante el primer procesado. El método considera unos umbrales previamente determinados sobre cada imagen. En la Figura 2 se muestran los test

implementados en el algoritmo de detección de nubes

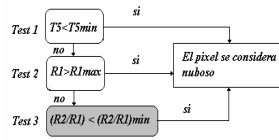


Figura 2.- Test de detección de nubes.

MÉTODOS DE SEGUIMIENTO.

Para realizar este estudio se ha trabajado con zonas homogéneas, lo cual evita la comparación pixel a pixel, que resultaría difícilmente interpretable y permite llevar un seguimiento a lo largo del tiempo de regiones claramente diferenciadas. El primer paso realizado es la definición de zonas a partir de la imagen media de NDVI, obtenida con las imágenes composite analizadas durante todo el periodo de 13 años. Considerando una amplitud del intervalo de valores del NDVI de 0.1, se obtienen 5 zonas, con sistemas de vegetación diferentes entre ellas (ver Figura 3).

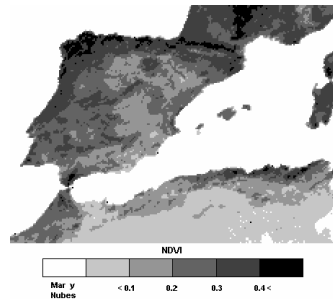


Figura 3.- Definición de zonas a partir de la imagen media de NDVI obtenida desde 1981 a 1994.

a) Método de la pendiente TST/NDVI.

Este método analiza la pendiente de la línea definida por los meses de máximo NDVI (abril) y los de máxima TST (julio) para las zonas más áridas, ya que en las zonas de mayor vegetación ambos valores máximos se producen casi en el mismo mes (julio). La representación de este ángulo (Figura 4) durante el periodo de 1982 a 1994, permite realizar un seguimiento de las zonas y mostrar el diferente comportamiento de unas zonas y otras en cuanto al tipo de vegetación que

presentan. Las zonas más áridas (1, 2 y 3) muestran valores de NDVI superiores a 90° que indican como el índice de vegetación disminuye a medida que las altas temperaturas llegan a la zona. Por el contrario, en las zonas con un mayor índice medio de vegetación anual, las altas temperaturas favorecen una mayor actividad fotosintética.

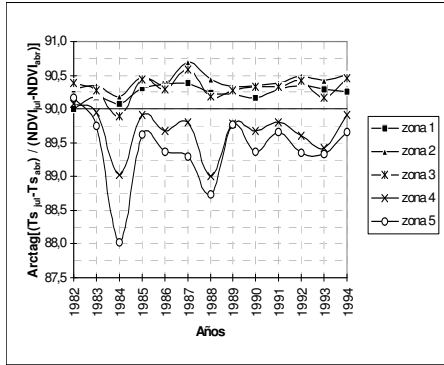


Figura 4.- Pendiente obtenida entre los meses de abril y julio desde 1982 a 1994.

b) Método de la pendiente mensual.

Representando en el espacio definido anteriormente entre la TST y el NDVI, los diferentes meses analizados durante el periodo entre 1981-1994, podemos estudiar el Arctg (TST/NDVI). Esto es lo que muestra la Figura 5, en la que se observa como las zonas más áridas presentan ángulos más próximos a 90° con menor variación interanual (zona 1 y 2), mientras que las zonas de más vegetación (zonas 4 y 5) presentan ángulos menores a 90° y con grandes variaciones durante algunos meses de invierno en años de temperaturas y perfiles de NDVI inferiores a la media.

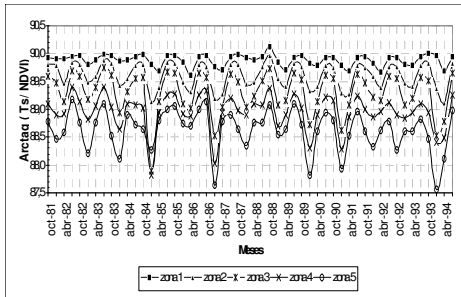


Figura 5.- Arctg (TST/NDVI) para las 5 zonas desde oct-81 a jul-94.

CONCLUSIONES

Se han adaptado algunos algoritmos desarrollados para estimar la TST, la emisividad y el vapor de agua atmosférico con datos pertenecientes a la base de datos *Pathfinder AVHRR Land*. Se han propuesto dos métodos de seguimiento que aprovechan la información que aportan los canales VIS, PIR y TIR. Aunque su aplicación debe tenerse en cuenta según el tipo de zona, pueden considerarse válidos sobre una gran variedad de coberturas de vegetación, mostrando su mayor potencial en aquellas regiones afectadas por los riesgos de la aridez.

BIBLIOGRAFIA

Holben, B.N. 1986. Characteristics of maximum-value composite image from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote sensing*, 7: 1417-1434.

James, M.E. and Kalluri S.N.V. 1994. The Pathfinder AVHRR land data set: an improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. *International Journal of Remote sensing*, 15: 3347-3363.

Lambin, E. and Ehrlich, D. 1996. The surface temperature-vegetation index space for land cover and land-cover change analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 463-487.

Saunders, R.W. and Kriebel, K.T. 1988. An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 9, 123-150.

Sobrino, J.A. Caselles, V. and Becker, F. 1990. Significance of the remotely sensed thermal infrared measurements obtained over a citrus orchard. *ISPRS Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44, 343-354.

Sobrino, J. A. N. Raissouni, J. Simarro, F. Nerry y F. Petitcolin, 1999. Atmospheric water vapor content over land surfaces derived from the AVHRR Data. Application to the Iberian Peninsula. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (en prensa)*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su más sincero agradecimiento a la CICYT (proyecto CLI 96-2018), a la AECI (Proyecto no. AECI 98-1590) por la ayuda económica recibida, y a la base de datos Pathfinder desarrollada por NOAA y NASA sin la cual no hubiera sido posible la realización del presente trabajo.