

Aplicación de la técnica de composición del máximo NDVI al seguimiento de la cobertura terrestre en la Península Ibérica

J. A. Sobrino, M. A. Olmeda y N. Raissouni

Departamento de Termodinámica, Facultad de Física. Universidad de Valencia.

Dr: Moliner; 50. 46100 Burjassot, Spain

RESUMEN

En la actualidad existen archivos masivos de imágenes NOAA-AVHRR obtenidas mediante la técnica del máximo NDVI (Proyectos Pathfinder y The Global Land 1km AVHRR). El presente trabajo analiza mediante la utilización de imágenes diarias la utilidad de esta técnica de composición en términos del NDVI, la emisividad y la temperatura de la superficie terrestre. Finalmente se da una aplicación al seguimiento de la cobertura terrestre en la Península Ibérica, usando para ello las imágenes del proyecto The Global Land 1kmAVHRR de los años 1992-93.

PALABRAS CLAVE: NOAA, The Global Land 1km AVHRR, NDVI, emisividad, temperatura de la superficie terrestre, Península Ibérica.

ABSTRACT

Nowadays, there is a massive data archive of NOAA-AVHRR images, obtained by means of the maximum NDVI method (Pathfinder and The Global Land projects). In this work, using daily AVHRR images, we have analyzed this composite method in terms of NDVI, emissivity and land surface temperature. Finally, we present an application to land cover dynamic monitoring of the Iberian Peninsula using The Global Land 1-km AVHRR data set.

KEYWORDS: NOAA, The Global Land 1kmAVHRR project, NDVI, emissivity, land cover temperature, Iberian Peninsula.

INTRODUCCIÓN

La teledetección desde satélite, proporciona una fuente de datos extremadamente valiosa para el estudio de la superficie terrestre a escalas espaciales y temporales apropiadas. En la actualidad existen archivos masivos de imágenes AVHRR que pueden ser utilizados para producir mapas globales y regionales de la cobertura terrestre, como por ejemplo los suministrados por el programa Pathfinder (con una resolución espacial de $8 \times 8 \text{ km}^2$) de la NOAA/NASA, y el proyecto The Global Land 1-km AVHRR (con una resolución espacial de 1 km^2) (Eidenshink y Fraundeen, 1994), desarrollado en conjunción por las agencias americanas NOAA, NASA, USGS, la europea ESA y la australiana CSIRO. En ellos, se recogen imágenes AVHRR diarias de todo el mundo, y una vez procesadas, solo se almacena una imagen por cada canal AVHRR, de cada periodo de diez días, obtenida mediante el método de composición del máximo NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Holben, 1986).

El objetivo que hemos perseguido en la realización de este trabajo es doble, por un lado analizar el método de composición del máximo NDVI utilizado para confeccionar la base de datos *The Global Land 1-km AVHRR*, para lo cual se han

utilizado imágenes diarias suministradas por la estación receptora de la ULP (Université Louis Pasteur) de Estrasburgo (Francia) (ver sección 3), y por otro lado analizar la dinámica espacio-temporal de parámetros como el NDVI, la emisividad y la Temperatura de la Superficie Terrestre (TST), extraídos a partir de las imágenes de acuerdo con los modelos desarrollados en la sección 2.

Se ha elegido la Península Ibérica como área de estudio, por su reducido tamaño (a la resolución de las bases de datos actuales) y su alta diversidad medioambiental, así como por la presencia de un pronunciado gradiente climático que produce un notable ecotono entre la vegetación mediterránea y la del oeste de Europa (Lobo, 1997).

ALGORITMOS

La mayoría de los trabajos que se encuentran en la bibliografía (Lambin and Strahler, 1994) realizan un seguimiento de la cobertura terrestre utilizando únicamente el NDVI. Nosotros en este trabajo hemos realizado además una estimación de otros parámetros, como son la emisividad y la TST. A continuación se presentan los algoritmos empleados para la obtención de éstos parámetros:

Temperatura de la Superficie Terrestre (TST)

La obtención de la temperatura de la superficie terrestre se ha realizado utilizando un algoritmo del tipo split-window para los canales 4 y 5 del AVHRR que responde a la siguiente ecuación (Sobrino et al, 1996):

$$T_s = T_4 + A(T_4 - T_5) B_0 + (1 - \epsilon) B_1 - \Delta \epsilon B_2 \quad (1)$$

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 $\Delta \epsilon = \epsilon_4 - \epsilon_5$ representan respectivamente, la emisividad media efectiva en los dos canales y su variación espectral y A , B_0 , B_1 y B_2 son los coeficientes split-window dados por:

$$A = [1 - \tau_4(\theta) - \tau_5(\theta)], \quad B_0 = A [1 - \tau_5(\theta)] [T_{a4} - T_{a5}],$$

$$B_1 = \{ [1 - \tau_4(\theta) \tau_4(53)] / [\tau_4(\theta) - \tau_5(\theta)] \} [T_4 - T_5] + \tau_4(53) [T_4 / 4.667] \text{ y } B_2 = \tau_5(\theta) A B_1$$

siendo T_{a4} y T_{a5} respectivamente, las temperaturas atmosféricas medidas en los canales 4 y 5, τ_{40} , τ_{50} , y τ_{453} son respectivamente, las transmisividades atmosféricas totales en los canales 4 y 5 con ángulo cenital θ y en la dirección de 53° . La ecuación (1) requiere del conocimiento de la temperatura atmosférica y la transmisividad del área de estudio, lo cual implica utilizar radiosondeos tomados a la hora de paso del satélite, esto hace que dicha ecuación sea poco operativa. Para resolver este problema se ha procedido a linealizar los coeficientes B_1 y B_2 en función del vapor de agua, $W(\text{gcm}^{-2})$, (ver figuras 2 a 4 de Sobrino et al

(1996)). Los coeficientes A y B_0 independientes de la emisividad, se han calculado a partir de datos reales de temperatura de la superficie del mar (TSM) de la base de datos AVHRR Pathfinder Oceans Match-up database (PFMDB). De esta forma se obtiene; $A(T_4 - T_5) - B_0 = 1.40(T_4 - T_5) + 0.32(T_4 - T_5)^2 + 0.83$, expresión que da un error estándar de 0.6 K en la estimación de TSM. La dependencia cuadrática de la ecuación split-window, ya utilizada por la NOAA en los años 1981 al 1983 para calcular la TSM a partir del satélite NOAA7, permite obtener los coeficientes directamente de T_4 y T_5 . De esta manera se llega al siguiente algoritmo:

$$T_s = T_4 + 1.40(T_4 - T_5) + 0.32(T_4 - T_5)^2 + 0.83 + (57 - 5W)(1 - \epsilon) - (161 - 30W) \Delta \epsilon \quad (2)$$

La aplicación de esta ecuación a las imágenes NOAA, hace necesario el conocimiento previo de la emisividad y el contenido total en vapor de agua de la atmósfera.

Verificación del algoritmo de TST

Como paso previo a la aplicación del algoritmo propuesto (ecuación 2) a las imágenes, se ha realizado una evaluación del mismo (en lo que sigue denominaremos a este algoritmo como CG, iniciales de Cambio Global, grupo en el cual se ha desarrollado), comparándolo con otros algoritmos de tipo split-window existentes en la bibliografía (ver Tabla 1).

Autores o Grupo	Abreviatura	Algoritmos
Unidad de Cambio Global	CG	$T_s = T_4 + (1.4 + 0.32(T_4 - T_5))(T_4 - T_5) + 0.83 + (57 - 5W)(1 - \epsilon) - (161 - 30W) \Delta \epsilon$
BeckeryLi (1990)*	BL	$T_s = 1.274 + PA + \frac{(T_4 + T_5)}{2} + MA \frac{(T_4 - T_5)}{2}$
Prata y Platt (1991)	FP	$T_s = 3.45 \frac{(T_4 - T_0)}{\epsilon_4} - 2.45 \frac{(T_5 - T_0)}{\epsilon_5} + 40 \frac{(1 - \epsilon_4)}{\epsilon_4} + T_0$
Price (1984)	JP	$T_s = [T_4 + 3.33(T_4 - T_5)] \left[\frac{5.5 - \epsilon_4}{4.5} \right] + 0.75 T_5 \Delta \epsilon$
Ulivieri et al (1992)	UI	$T_s = T_4 + 1.8(T_4 - T_5) + 48(1 - \epsilon) - 75 \Delta \epsilon$
Sobrino et al (1993)	S1	$T_s = T_4 + (1.06 + 0.46(T_4 - T_5))(T_4 - T_5) + 53(1 - \epsilon_4) - 53 \Delta \epsilon$
NESDIS (May et al. 1992)	NE	$T_s = 1.0162 T_4 + 2.657(T_4 - T_5) + 0.5265(\sec \theta - 1)(T_4 - T_5) - 4.58$

* $PA = 1 - 0.15616 \frac{(1 - \epsilon)}{\epsilon} - 0.482 \frac{(\epsilon_4 - \epsilon_5)}{\epsilon^2}$; $MA = 6.26 + 3.98 \frac{(1 - \epsilon)}{\epsilon} + 38.33 \frac{(\epsilon_4 - \epsilon_5)}{\epsilon^2}$

Tabla 1. Algoritmos de tipo split-window utilizados para realizar la comprobación del algoritmo propuesto. T_s , T_4 y T_5 vienen dados en K, $T_0 = 273.15$ K.

Validar en tierra no resulta una tarea fácil, ya que se necesitan datos de TST a la escala de 1km. Una base de datos adecuada para nuestro objetivo es la serie de datos CSIRO (Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Organization) suministrada por Prata (1994a y 1994b). Dicha serie consta de 300 datos tomados en dos regiones semiáridas de Australia, con un clima bastante seco, Walpeup y Hay, durante el periodo de Marzo de 1990 a Diciembre de 1992. Durante este periodo las superficies mostraron diferentes coberturas de vegetación.

La base de datos CSIRO nos ha proporcionado valores de temperatura de superficie terrestre medidos in situ con sus correspondientes valores de emisividad, vapor de agua, proporción de vegetación y temperaturas de los canales 4 y 5 del AVHRR. En las Tablas 2 y 3 mostramos las medias y desviaciones estándar de la diferencia de la TST medida in situ y la obtenida para cada uno de los algoritmos de la Tabla 1. En la Tabla 2 se dan los valores para los distintos porcentajes de vegetación y por último la Tabla 3 muestra las medias y desviaciones estándar obtenidas utilizando los 300 datos de la base CSIRO, en ella se mezclan tanto datos de suelo desnudo como datos de suelo cubierto total o parcialmente de vegetación. Antes de entrar a comentar los resultados obtenidos, cabe destacar:

1. La mayoría de los algoritmos empleados en la comparación, han sido construidos enteramente sobre una base de datos teórica con ayuda de modelos de transferencia radiativa. Por tanto, el grado de éxito de los mismos, dependerá de la proximidad que exista entre las condiciones (superficiales y atmosféricas) sobre las que se apliquen y las de entrada usadas en el desarrollo de cada algoritmo.
2. La comprobación se han realizado para atmósferas secas, por lo que, en el caso de atmósferas tropicales algunos de los modelos pueden presentar comportamientos diferentes a los presentados en este trabajo.

Teniendo en cuenta estos dos aspectos y a la vista de las Tablas 2 y 3, se extraen las siguientes conclusiones:

- a) Los modelos de creación más reciente muestran, en términos generales, un mejor comportamiento; lo que significa que se ha producido una mejora de los algoritmos de cálculo de la temperatura de la superficie terrestre con el paso del tiempo. Esto es debido principalmente a la mejora de los modelos de simulación y a la utilización de medidas in situ.
- b) La Tabla 2 muestra como el comportamiento de los algoritmos mejora, en términos generales, al aumentar la proporción de vegetación. Es decir la desviación estándar de todos los algoritmos es mayor para suelo desnudo que para suelos con vegetación. De hecho, el algoritmo de NE (construido para mar) se comporta mucho mejor, como era de esperar, para el caso de zonas cubiertas de vegetación (desviaciones del orden de 1.5 K) que en el caso de suelo desnudo (desviaciones del orden de 2.24 K).
- c) Finalmente, la Tabla 3 muestra que el algoritmo que mejor se comporta es el propuesto (CG), siendo el algoritmo que peor comportamiento presenta el de NE seguido por los algoritmos de JP, FPy BL

Emisividad

Una determinación exacta de la emisividad de la superficie no es posible debido a que hay más incógnitas (emisividad y temperatura) que medidas (una radiancia por canal del sensor). Por lo tanto es necesario introducir una hipótesis para resolver este problema. En el caso de superficies homogéneas hemos extraído los valores de emisividad de los publicados en la bibliografía. Mientras que en el caso de superficies heterogéneas, la emisividad se ha obtenido a partir del NDVI (Valor y Caselles, 1996) sin más que considerar la superficie como una mezcla de suelo desnudo y vegetación, de acuerdo a Sobrino et al (1990):

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_g (1 - P_v) + d\varepsilon \quad (3)$$

Algoritmo	Pv = 0.25%		Pv = 0.50%		Pv = 0.70%	
	Media	Desviación	Media	Desviación	Media	Desviación
Ts-Ts (CG)	-0,76	1,58	0,33	1,10	-0,64	1,30
Ts-Ts (BL)	-1,35	1,97	-0,16	1,34	-1,23	1,27
Ts-Ts (FP)	0,29	2,17	1,05	1,33	0,03	1,29
Ts-Ts (JP)	0,84	2,42	0,41	1,86	-0,31	1,32
Ts-Ts (U1)	0,54	1,55	1,50	1,15	0,19	1,28
Ts-Ts (SI)	0,37	1,53	1,11	1,18	0,23	1,32
Ts-Ts (NE)	1,40	2,24	1,91	1,54	0,49	1,33

Tabla 2. Estadísticos de la comparación. Ts es la temperatura media in situ, Ts(j) es la temperatura calculada mediante el algoritmo J a partir de los datos de satélite y Pv es la proporción de vegetación. Media y desviación se dan en K.

Algoritmo	Media	Desviación
Ts-Ts (CG)	0,17	1,30
Ts-Ts (BL)	-0,24	1,62
Ts-Ts (FP)	1,20	1,73
Ts-Ts (JP)	1,24	2,24
Ts-Ts (UI)	1,35	1,36
Ts-Ts (SI)	1,10	1,30
Ts-Ts (NE)	2,18	1,90

Tabla 3. Similar a Tabla 2, pero para el conjunto de los 300 datos de la base CSIRO.

donde ϵ_y y ϵ_g son las emisividades de la vegetación y del suelo desnudo, d_e es un término de reflexión que depende de las características de la superficie y P_v es la proporción de vegetación calculada a partir de la imagen de NDVI mediante la siguiente ecuación $P_v = N^{*2}$ (Carlson y Ripley, 1997), siendo $N^* = (NDVI - NDVI_{MIN}) / (NDVI_{MAX} - NDVI_{MIN})$ y donde $NDVI_{MAX}$ y $NDVI_{MIN}$ pueden aproximarse por los valores máximo y mínimo de la imagen de NDVI del área estudiada. De esta forma $P_v = 0$, para un pixel de suelo desnudo (es decir cuando $NDVI = NDVI_{MIN}$) y $P_v = 1$ para un pixel cubierto de vegetación ($NDVI = NDVI_{MAX}$).

Vapor de Agua

En cuanto al vapor de agua, este parámetro puede obtenerse a partir de radiosondeos. Sin embargo disponer de radiosondeos coincidentes con el paso del satélite no es fácil, especialmente cuando se manejan imágenes de archivos. Con el fin de eliminar este inconveniente hemos utilizado el método *SWCVR* (*Split-Window Covariance Variance Ratio*) (Sobrino et al., 1994) que permite estimar el W directamente de los datos suministrados por el sensor AVHRR. Este método se basa en la hipótesis de la constancia atmosférica de un conjunto N de pixeles vecinos en los que la temperatura y la emisividad de la superficie cambian. El algoritmo utilizado es:

$$W = 0.26 - 14.253 \cos\theta \ln R_{54} - 11.649 (\cos\theta \ln R_{54})^2 \quad (4)$$

donde θ es el ángulo de observación, R_{54} es el cociente entre la covarianza y varianza espacial de las imágenes de temperatura radiométricas en los canales 4 y 5, que se calcula de acuerdo a la expresión $R_{54} = [\Sigma(T_{4K} - T_{40})(T_{5K} - T_{50})] / \Sigma(T_{4K} - T_{40})^2$, y donde T_{40} y T_{50} representan el valor medio de la temperatura en los N pixeles considerados. La ecuación (4) se ha validado con una amplia base de imágenes NOAA's diarias de la Península Ibérica junto con los correspondientes radiosondeos, obteniéndose un error de 0.5 ($g\ cm^{-2}$) (Sobrino et al, 1998).

ESTUDIO DE LA TÉCNICA DE COMPOSICIÓN DEL MÁXIMO NDVI

Una vez presentados los algoritmos, estamos en condiciones de proceder al análisis de la técnica de composición del máximo NDVI. Con este fin, se contemplan las fases que se indican en la Figura 1:

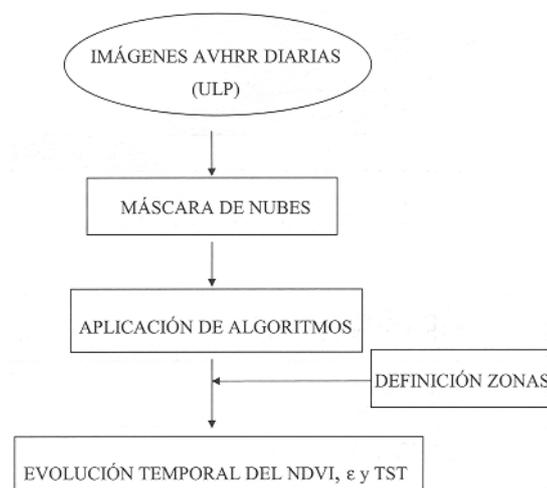


Figura 1. Fases del proceso seguido para la evaluación de la técnica de composición del máximo NDVI.

Se han utilizado 13 imágenes diarias consecutivas (del 9 al 21 de Marzo de 1997) del NOAA-14 tomadas por la estación receptora HRPT desarrollada en la Université Louis Pasteur de Estrasburgo (Francia) (Bruckert 6t al, 1995). Aunque se eligieron los días más despejados, como paso previo a la aplicación de los algoritmos, se ha realizado un filtrado de nubes basado en el esquema de Saunders y Kriebel (1988). De esta forma se tienen imágenes de NDVI, emisividad (utilizando para la emisividad del suelo desnudo un valor de 0.94 y para la de vegetación densa un valor de 0.99, y haciendo cero el término de reflexión), vapor de agua y TST. EL área de estudio ha sido la Península Ibérica, y dado por un lado su diversidad paisajística y climática y por otro lado la dificultad que supone realizar el estudio pixel a pixel se ha realizado una división de la misma en varias zonas.

La elección de las zonas se ha hecho de acuerdo a la clasificación jerárquica dada por Lobo (1997), basada en secuencias temporales de imágenes de NDVI. Esta clasificación da lugar en primer lugar a dos zonas: de vegetación máxima en verano (SmPV) y de vegetación máxima en primavera (SpPV). Estas dos zonas se fraccionan dando como resultado final cinco zonas (Figura 2). La zona SmPV se fracciona en dos subzonas: SmPV "Wide" (SmPV. W) y SmPV "Narrow" (SmPV.N) y la SpPV en tres: "Low," "Middle" y "High" (SpPV.L, SpPV.M, SpPV.H). En la Tabla 4 mostramos la correspondencia existente entre las 5 regiones anteriores y un mapa de vegetación.

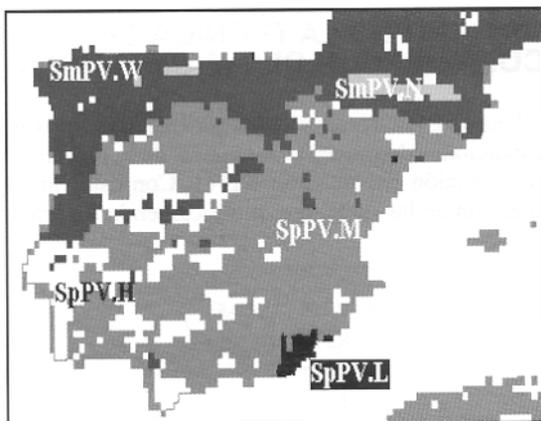


Figura 2. Mapa resultante de la clasificación jerárquica realizada por Lobo (1997) en la Península Ibérica.

Hemos trabajado con los valores medios de los parámetros en cada una de las zonas anteriores. En la Figura 3 mostramos para cada zona, la evolución temporal del NDVI diario, junto con el NDVI medio de los 13 días, el valor del NDVI para una imagen construida mediante el método de composición del máximo NDVI tomando un periodo de 13 días (del 9 al 21 de Marzo de 1997) y otra para un periodo de 10 días (del 11 al 20 de Marzo de 1997). En primer lugar observamos que para el periodo de estudio los valores más bajos de NDVI se dan en la zona SpPV.L y los más altos en la zona SmPV.W, y las demás regiones se mueven entre ambos límites. Por otra parte, podemos observar cómo el NDVI, en cada una de las zonas se mantiene prácticamente constante durante todo el periodo de estudio, obteniéndose una desviación estándar máxima de 0.03, valor despreciable frente al intervalo de variación dentro del cual se mueve

este parámetro. Si comparamos los valores medios de NDVI para los 13 días en cada una de las zonas con los valores de NDVI para la imagen de máximos, comprobamos que su comportamiento es similar con una diferencia de 0.05, debida principalmente a los efectos atmosféricos. Si miramos la separación existente entre los valores de las distintas zonas para un día cualquiera del periodo de estudio y los valores obtenidos de la imagen de máximos, comprobamos que la separación entre las zonas es mayor al utilizar máximos, esto nos hace ver que utilizando imágenes creadas por el método del máximo NDVI, no solo no perdemos información de la zona de estudio sino que nos permite discriminar mejor las distintas cubiertas vegetales. Se muestra también como utilizando periodos de composición mayor (aproximadamente 13 días) se obtiene resultados similares.

La variación de la emisividad (Figura 4), como era de esperar, sigue un comportamiento análogo al del NDVI, produciéndose una desviación estándar máxima para el periodo de los 13 días de estudio de tan sólo 0.002.

Región	Característica
SmPV.N	Vegetación montañosa
SmPV.W	Vegetación atlántica
SpPV.L	Vegetación subárida
SpPV.H	Parte húmeda de la vegetación mesomediterránea
SpPV.M	Gran parte de la vegetación mediterránea y mesomediterránea

Tabla 4. Características más relevantes de las 5 regiones definidas por Lobo (1997) en la Península Ibérica.

En cuanto a la evolución temporal de la TST

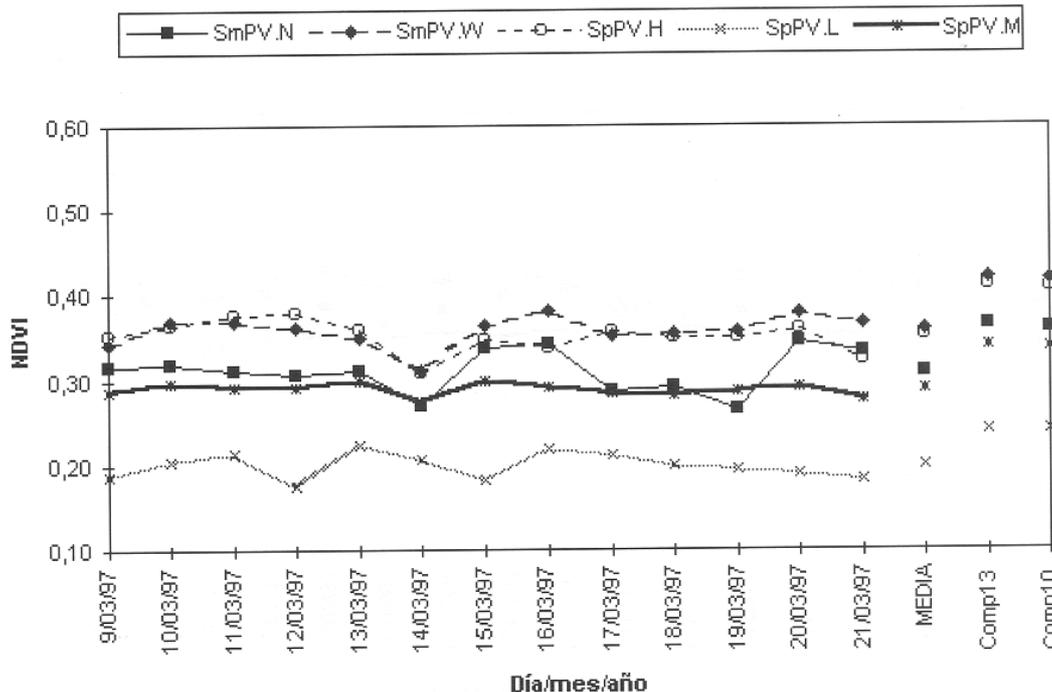


Figura 3. Evolución diaria del NDVI de cada una de las zonas dadas en la Figura 2 en el periodo de estudio.

(ver Figura 5), cabe destacar la gran similitud existente entre las curvas pertenecientes a las regiones SmpV por un lado y entre las regiones SpPV.H y SpPV.M por otro. La TST no sufre cambios significativos durante este periodo de 13 días. Los valores de desviación estándar se mueven entre 1.2K, correspondiente a las zonas SmpV (zonas con gran densidad de vegetación verde y bajas temperaturas) y 2.8K, correspondiente a la zona SpPV.L (zona poco poblada de vegetación y donde se dan las temperaturas máximas), siendo la desviación estándar para las zonas SpPV.H y SpPV.M igual a 2.3K. Los valores medios de TST obtenidos a partir de la imagen compuesta construida mediante el método de composición del máximo NDVI muestran como la utilización de imágenes compuestas no afecta de forma significativa a las conclusiones que pueden derivarse del estudio de las distintas zonas. Se observa también como los valores son similares para los distintos periodos de composición (10 ó 13 días).

El estudio de la evolución temporal del NDVI, la emisividad y la TST en este corto periodo de tiempo, muestra como los parámetros no sufren cambios significativos. Utilizar imágenes creadas mediante el método de composición del máximo NDVI en un periodo de 10 días en lugar de imágenes diarias, es un procedimiento que podemos considerar adecuado a la hora de realizar estudios multitemporales de la cobertura terrestre, ya que permite reducir el volumen de información a tratar y además ayuda a discriminar mejor las zonas de estudio.

APLICACIÓN

En este apartado, hemos aplicado los modelos a las imágenes compuestas de la base de datos *The Global Land 1-km AVHRR*. El periodo de composición de las imágenes utilizadas es entre el día 11 y 20 de cada mes del periodo entre Abril de 1992 y Septiembre de 1993.

La metodología seguida para realizar el estudio, ha sido similar a la empleada para el tratamiento de las imágenes de la base ULP (ver sección 3 y Figura 1). El estudio se ha realizado sobre las mismas regiones que aparecen en la Figura 2, pero a la hora de digitalizar dichas zonas se ha tenido en cuenta que la proyección en la que vienen las imágenes de esta base de datos (Interrupted Goode Homolosine) (Goode, 1925) es distinta.

Las Figuras 6 y 7 muestran a modo de ejemplo la evolución del NDVI y TST en términos de medias mensuales para cada una de las regiones, y durante el periodo elegido. En dichas gráficas se han eliminado aquellos valores en los que el porcentaje de nubes es superior al 60%.

La Figura 6 muestra la evolución temporal del valor medio del NDVI para cada una de las regiones. En ella, se observa una gran similitud entre las curvas pertenecientes a las regiones SmpV por un lado y entre la regiones SpPV por otro. Los máximos de NDVI se dan para los meses de verano en las regiones SmpV y para los meses de primavera en las regiones SpPV, lo que confirma los resultados de Lobo (1997). La región de valores más bajos de NDVI es la SpPV.L, siendo las de valores más altos las SmpV. Entre ambas se da una diferencia máxima de 0.4 aproximadamente, durante los meses de verano, mientras que los meses de

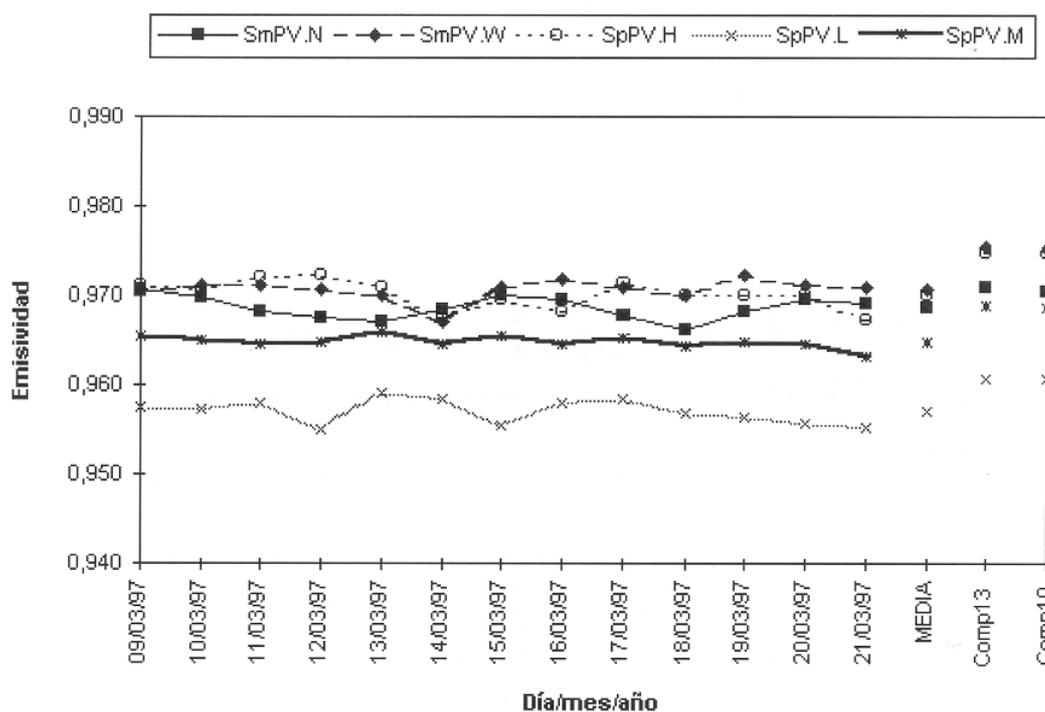


Figura 4. Similar la Figura 3 para la evolución diaria de la emisividad

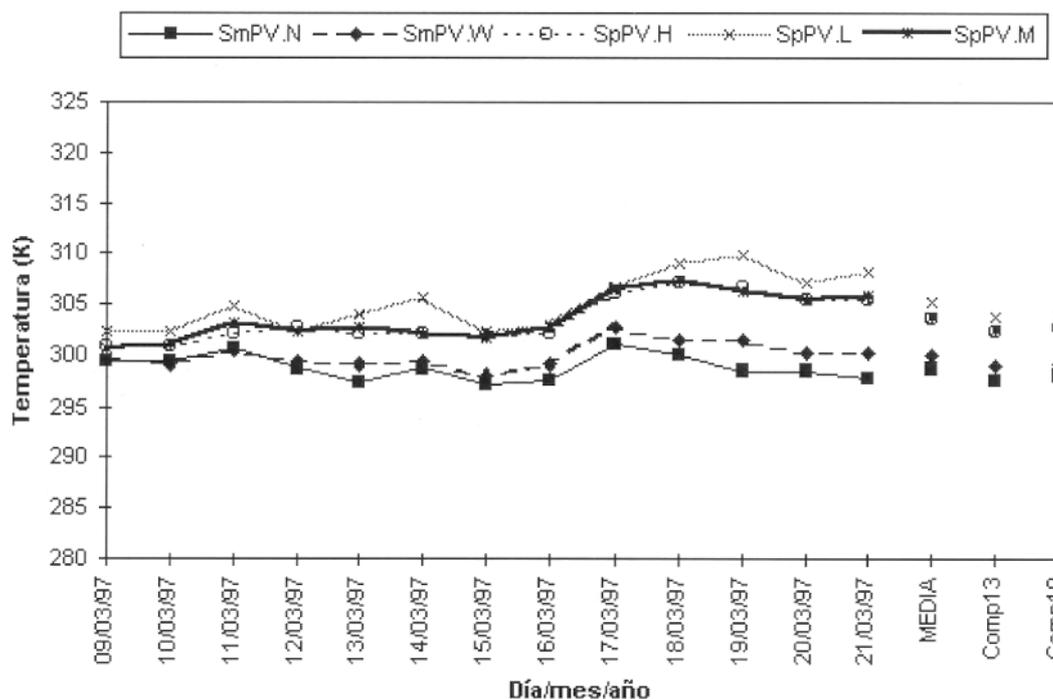


Figura 5. Similar a la Figura 3 para la evolución diaria de la TST.

primaL vera muestran una evolución similar. Las regiones SmPV presentan unos "máximos más pronunciados, siendo la región SmPV.N la que inicia el incremento antes y decae más pronto y más lentamente. Los valores entre los que se mueve el NDVI para la región SmPV. W van desde 0.40 a 0.55, estos altos valores de NDVI indican que es una zona con una alta proporción de vegetación durante todo el año, mientras que la SmPV.N se mueve entre 0.25 y 0.55. Las regiones SpPV presentan márgenes de variación de 0.10 a 0.25 en el caso de SpPV.L, de 0.20 a 0.35 para SpPV.M y de 0.20 a 0.43 para SpPV.H, coincidiendo para todos los casos que los valores mínimos se dan en los meses de verano y los máximos en los de primavera. La emisividad presenta una evolución temporal similar a la del NDVI, con valores desde 0.945 a 0.975 y generalmente más altos para las regiones SmPV que para las regiones SpPV.

Por último, la Figura 7, muestra la evolución que sufre el valor medio de la TST en cada zona. Los valores más altos se dan para las regiones de SpPV y los más bajos para las SmPV, como era de esperar, ya que el porcentaje de vegetación es superior en estas últimas. La separación entre las regiones SmPV y SpPV se hace más evidente en los meses de verano, cuando la diferencia media es de 10 K aproximadamente, mientras que en invierno esta es de tan sólo 4 K.

CONCLUSIONES

El presente trabajo pone de manifiesto la utilidad de las imágenes de las bases de datos actuales, Pathfinder y *The Global Land 1-km AVHRR*, obtenidas mediante el método de composición del máximo NDVI, así como los algoritmos propues-

tos para realizar un seguimiento de la evolución de la cobertura terrestre. Este trabajo ha supuesto la primera aproximación de los autores al análisis y evaluación de las bases de datos de satélite y esperamos extender en un futuro el análisis aquí presentado a un periodo mayor de años y a otras regiones de interés.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Proyecto The Global Land 1-Km AVHRR data por suministrar las imágenes NO AA compuestas, a la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo por las imágenes NOAAs diarias, así como a la CICYT por la ayuda económica recibida (Proyecto No. CLI 96-2018).

BIBLIOGRAFIA

- BECKER, F. and LI, Z.-L. 1990. Towards a local split window method over land surfaces. *International Journal of Remote Sensing*. 11: 369-394.
- BRUCKERT, D., STOLL, M. P., KOLOGO, N. and NERRY, F. 1995. A PC based automatic AVHRR and Meteosat receiving station developed at "University Louis Pasteur-Strasbourg". In *Proceeding of fue Meteorological Satellite Data Users Conference*:589-593. September 4-8, Winchester, UK.
- CARLSON, T. N., and RIPLEY, D. A. 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*. 62: 241-252.
- EIDENSHINNK, J. C. and FAUNDEEN, J. L. 1994. The 1-km AVHRR global land data set: first stages in implementation. *International Journal of Remote Sensing*. 15: 3443-3462.

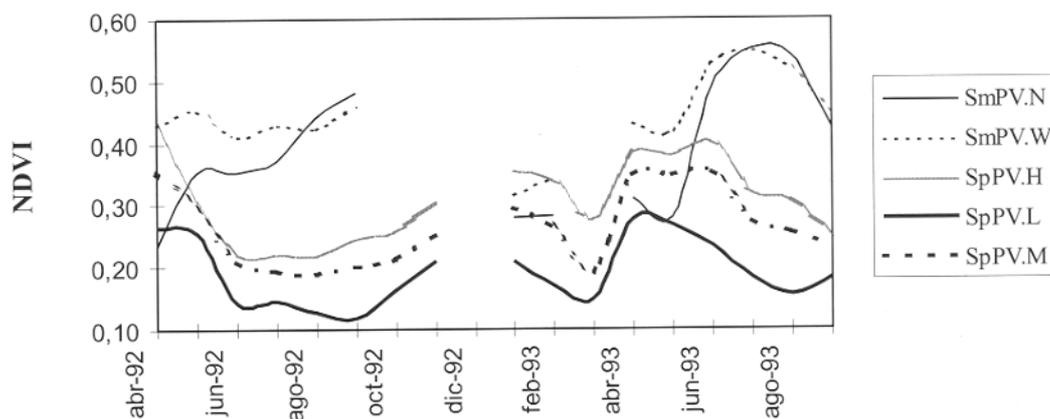


Figura 6. Evolución temporal del valor medio del NDVI obtenido para cada zona utilizando imágenes compuestas.

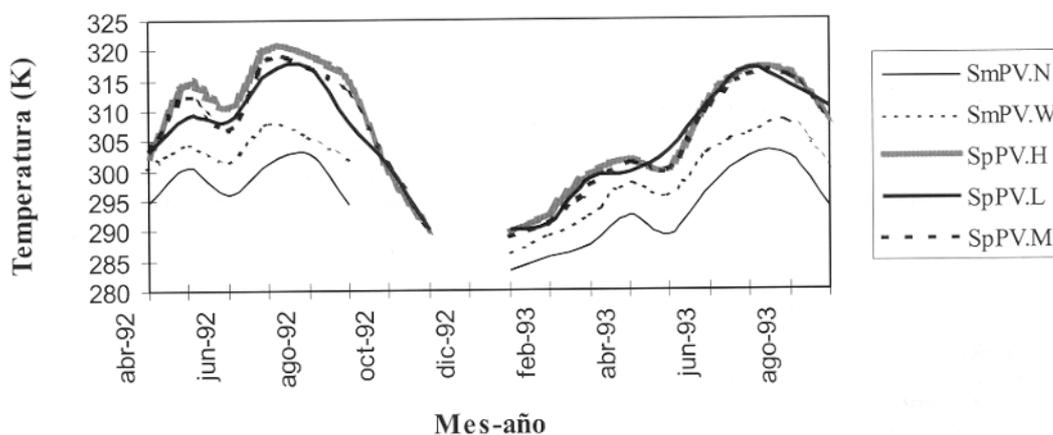


Figura 7. Similar a la Figura 6 para la TST.

GOODE, J. P. 1925. The Homolosine projection: a new device for portraying the Earth's surface entire. Association of American Geographers. *Annals*, 15: 119-125.

HOLBEN, B. N. 1986. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*. 7: 1417-1434.

LAMBIN, E. F. and STRAHLER, A. H. 1994. Change-vector analysis: a tool to detect and categorize landcover change processes using high temporal-resolution satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 48: 231-244.

LOBO, A., IBAÑEZ, J. J. and CARRERAS, C. 1997. Regional scale hierarchical classification of temporal series of AVHRR vegetation index. *International Journal of Remote Sensing* (en prensa).

MAY, D. A., STOWE, L. L., HAWKINS, D. J. and McCLAIN, E. P. 1992. A correction for Sahara dust effects on satellite sea surface temperature measurements. *Journal of Geophysical research*. 97: 3611-3619.

PRATA, A. J., PLATT, C. M. 1991. Land surface temperature measurements from the AVHRR. *Proceedings of 5th AVHRR data users conference*, June 25-28, Tromso, Norway, EUM 109, 433-438.

PRATA, A. J. 1994a. Validation data land surface temperature determination from satellites. ISBN O 64305600 9.

PRATA, A. J. 1994b. Land surface temperatures derived from the advanced very high resolution radiometer and the along-track scanning radiometer. *Journal of Geophysical Research*. 99: 13.025-13.058.

PRICE, J. C. 1984. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA 7 AVHRR. *Journal of Geophysical Research*. 89: 7231-7237.

ROUSE, J. W., HAAS, R. W., SCHELL, J. A., DEERING, D. W. and HARLAND, J. C. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation. NASA/GSFCT Type 111 Final Report, Greenbelt, MD, USA.

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.

SAUNDERS, R. 1990. The determination of broad band surface albedo from AVHRR visible and near-infrared radiances. *International Journal of Remote Sensing*. 11: 49-67.

SOBRINO, J. A., CASELLES, V. and BECKER, F. 1990. Significance of true remotely sensed thermal infrared measurements obtained over a citrus orchard. *ISPRS J. Photogram. Remote Sensing*. 44: 343-354.

SOBRINO, J. A., CASELLES, V. y COLL, C. 1993. Theoretical split window algorithms for determining true actual surface temperature. *Il Nuovo Gimento*. 16: 219-236.

SOBRINO, J. A., LI, Z. L., STOLL, M. P. y BECKER, F. 1994. Improvement in true Split-Window Technique for Land Surface temperature Determination. *IEEE*

- Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 32: 243-253.
- SOBRINO, J. A., LI, Z. L., STOLL, M. P. and BECKER, F. 1996. Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSRdata. *International Journal of Remote Sensing*. 17: 2089-2114.
- SOBRINO, J. A., RAISSOUNI, N., SIMARRO, J., NERRY, F. and PETITCOLIN, F. Atmospheric water vapour content over land surfaces obtained from fue AVHRR data. Application to fue Iberian Peninsula. *Enviado IEEE*.
- ULIVIERI, C., CASTRONUOVO, M. M., FRANCIONI, R. and CARDILLO, A. 1992. A split window algorithm for estimating land surface temperature from satellite. COSPAR, 27 August-5 September, Washington, DC, USA.
- VALOR, E. and CASELLES, V. 1996. Mapping Land Surface Emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American Areas. *Remote Sensing of Environment*. 57: 167-184.