

EL TVI (THERMAL VEGETATION INDEX) Y EL VECTOR CAMBIO PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LA DEFORESTACIÓN

E. M. LOUAKFAOUI, J. L. CASANOVA Y A. ROMO

e-mail:mostafa@latuv.uva.es

Laboratorio de Teledetección, LATUV
Dpto. de Física Aplicada I, Facultad de Ciencias,
Universidad de Valladolid,
47071 Valladolid, España.

RESUMEN: El nuevo índice TVI (Thermal Vegetation Index) sugerido por (Louakfaoui *et al.*, 1999, 2000a, 2001), ha mostrado su gran sensibilidad a la masa forestal en España mediante imágenes NOAA-AVHRR. Este índice formado por la combinación $C1 * C3 / C4$ donde C1 es el albedo del canal 1, C3 y C4 las temperaturas de brillo del canal 3 y 4 respectivamente ha dado mejores resultados que el NDVI en su comportamiento con la evolución de la masa forestal sobre todo cuando la masa forestal está en su máxima actividad fotosintética (Louakfaoui *et al.*, 2000a). El objetivo de este trabajo es ver cual de los índices NDVI y TVI es mejor en la detección de cambios en la masa forestal. Para esto se ha usado el análisis del vector cambio (Lambin y Strahler, 1994a; Louakfaoui y Casanova, 2000b, 2001), que compara la diferencia en la trayectoria-tiempo de indicadores biofísicos. Los resultados obtenidos confirman una vez más el mejor rendimiento del TVI en la detección de cambios en la masa forestal.

ABSTRACT: The new vegetation index TVI (Thermal Vegetation Index) suggested by (Louakfaoui *et al.*, 1999, 2000a, 2001), has shown its high sensitivity to the forest mass in Spain using NOAA-AVHRR images. This index formed by the combination of $C1 * C3 / C4$, where C1 is the channel 1 reflectance, C3 and C4 the channel 3 and 4 brightness temperatures respectively, has given better results than the NDVI, for the evolution of the forest mass mainly when the forest mass is in its highest activity (Louakfaoui *et al.*, 2000a). The objective of this work is to compare which of the two indices, NDVI and TVI, performs better for forest change detection. The change vector analysis (Lambin & Strahler, 1994a, Louakfaoui & Casanova, 2000b, 2001), has been employed which compares the difference in the time-trajectory of biophysical indicators. The obtained results confirmed once again that the TVI provides better results for forest change detection.

Palabras claves: Índices de vegetación, NOAA-AVHRR, TVI, Vector Cambio, masa forestal.

INTRODUCCIÓN

La Teledetección espacial se está desarrollando para el seguimiento de las masas forestales; hasta el momento la mayoría de los investigadores se han limitado a usar el NDVI, sin embargo estudios forestales conducidos a escalas regionales, han indicado que el NDVI tiene una sensibilidad limitada a la actividad de la cubierta del forestal (e.g., Defries *et al.* 1995). El TVI ha mostrado que es un índice de vegetación que presenta un comportamiento muy adecuado con la evolución de la cubierta forestal, además es un índice que varía más que el NDVI con la masa forestal, es decir, es un índice muy sensible a los bosques (Louakfaoui *et al.*, 1999, 2000a, 2001). En este trabajo se ha usado un método que se basa en el análisis del vector cambio para

la detección de cambios. (Louakfaoui y Casanova, 2000b) han empleado este método para el análisis de la degradación del forestal en Marruecos y ha dado buenos resultados, porque además de la detección del cambio, permite clasificarlo teniendo en cuenta su magnitud y su naturaleza. El objetivo aquí es hacer un análisis de la cubierta forestal en España durante el espacio temporal 1993/99 usando los dos índices, NDVI y TVI, como indicadores biofísicos aplicando el método del vector cambio, y comparar los resultados obtenidos.

EL MÉTODO DEL VECTOR CAMBIO

Para la detección digital de cambios existen dos métodos: el primero es un análisis comparativo de clasificaciones producidas independientemente, y el segun-

do es un análisis simultáneo de datos multi-temporales. El método aplicado en este análisis se basa en el segundo método; no es una comparación entre datos de dos fechas, sino que se basa en la comparación del desarrollo de la curva de evolución de indicadores biofísicos como el NDVI o el TVI para años sucesivos. Cada año pueden ser observadas las coordenadas de la posición de cualquier píxel en un espacio temporal multidimensional. Cualquier cambio en los valores acumulados y/o en la dinámica estacional del indicador entre años sucesivos, resultara en un desplazamiento de las coordenadas de los píxeles. Esta diferencia en la posición puede ser descrita con un vector cambio:

$$C_{ij} = P_{ij}(t_1) - P_{ij}(t_2)$$

donde C_{ij} es el vector cambio para un píxel de fila i y columna j entre dos años t_1 y t_2 . El módulo del vector cambio $|C_{ij}|$ que se calcula como la distancia euclidiana entre dos posiciones proporciona la magnitud del cambio, mientras que su dirección que se obtiene del ángulo del vector indica la naturaleza del cambio.

ÁREA DE ESTUDIO

Se han seleccionado las dos comunidades autónomas, Valencia y Galicia para realizar este análisis. Estas comunidades están situadas en diferentes zonas de la península ibérica y disponen de una importante masa forestal. Su cubierta forestal ha sufrido últimamente un proceso de deforestación muy fuerte causado por una gran cantidad de incendios forestales que hubo últimamente sobre todo en Valencia en los años 1993 y 1994.

METODOLOGÍA

1. Filtrado de píxeles no forestales

El primer proceso realizado, es hacer un filtrado de los píxeles no forestales para poder analizar sólo los forestales. Para esto disponemos del inventario de ocupación del suelo CORINE Land-cover que está construido con una resolución de $30 \times 30 \text{m}^2$ y que consta de setenta y seis tipos de cubiertas. Primero se ha hecho una rasterización del mapa usando el programa ARC/INFO, y luego una degradación de la resolución del mapa para acoplar su resolución espacial a la resolución de las imágenes NOAA-AVHRR, asignando al píxel degradado la clase mayoritaria cuando esta última presenta el 50 % ó más de los píxeles originales (Flórez *et al.*, 1998). Por último un filtrado de los píxeles no forestales.

2. Procesado de las imágenes

LATUV dispone de una antena receptora de la señal HRPT, así después de capturar las imágenes, el pro-

cedimiento seguido es una corrección radiométrica y atmosférica, una corrección geográfica mediante un método mixto a partir de datos orbitales y puntos de control (Illera *et al.* 1993), y finalmente, un filtrado de nubes mediante un modelo biespectral Visible-Infrarrojo (Delgado, 1991). En este análisis se han utilizado imágenes NOAA-AVHRR de dos años hidrológicos desde enero hasta octubre de los años 1993 y 1999.

3. Calcular los compuestos NDVI-MVC

Se ha calculado para cada día de los dos años el índice de vegetación Normalizado NDVI, utilizando las reflectancias de las bandas espectrales del rojo y del infrarrojo próximo, excepto los días nublados que no permitieron su cálculo. Y luego se han realizado compuestos de máximo valor NDVI-MVC (Holben, 1986) para cada 10 días. La importancia de trabajar con compuestos de máximo valor es eliminar el ruido provocado por la existencia de nubes tenues no filtradas en el procesado de las imágenes diarias, y compensar los efectos de heterogeneidad orbital.

4. Calcular los compuestos TVI-mVC

También se han calculado para cada día de los dos años las imágenes del TVI utilizando la reflectancia del canal 1 y las temperaturas del canal 3 y del canal 4 del sensor NOAA-AVHRR. El TVI es un índice de vegetación que tiene un comportamiento inverso al comportamiento del NDVI, lo que quiere decir que toma valores pequeños cuando la vegetación esta sana, y valores altos cuando la vegetación esta seca, además se ha comprobado que las nubes toman valores altos al contrario que en el caso del NDVI (Louakfaoui y Casanova, 2000a). Por éste motivo, para éste índice se han generado imágenes de mínimo valor compuesto TVI-mVC para cada 10 días.

5. Suavizar los Compuestos NDVI-MVC y TVI-mVC

Las curvas de evolución de los compuestos NDVI-MVC y TVI-mVC, que reflejan el estado de la cubierta forestal durante la estación de crecimiento, tienen que estar mas cerca de la realidad y no presentar efectos no eliminados por los algoritmos de corrección atmosférica, o ruidos que puedan tener una relación con el ángulo de visión del satélite, con la órbita del satélite, etc. Una alternativa es usar filtros y algoritmos de suavización. Para suavizar las curvas de evolución de los compuestos se ha aplicado para cada píxel el algoritmo "4253H, twice" desarrollado por (Velleman y Hoaglin, 1981), a la serie de los valores de NDVI-MVC y TVI-mVC correspondientes que empiezan desde la primera década de enero hasta la tercera década de octubre de cada año, de esta manera se elimina el ruido restante en las imáge-

nes, y para cada píxel se obtiene una curva de evolución suavizada y más cerca de la realidad. Se pensó suavizar las curvas de evolución para evitar falsas alarmas en la detección de cambios y no detectar cambios provocados por ruidos.

APLICACIÓN DEL VECTOR CAMBIO

Todas las imágenes de los compuestos calculados tanto para el NDVI como para el TVI, se someten a un análisis visual muy intenso y preciso para evitar introducir sesgos en el análisis de los resultados. El vector cambio calculado para este análisis, es un vector bidimensional, así para cada año se han calculado dos imágenes MVC, en el caso del NDVI y mVC en el caso del TVI, una del invierno y otra del verano así se obtienen para cada índice cuatro imágenes que serán utilizadas para el cálculo del vector cambio entre los años 1993 y 1999. La magnitud de este vector se calcula como una distancia euclidiana entre las dos posiciones que presenta cada índice de cada píxel forestal en un espacio de tiempo bidimensional entre los años 1993 y 1999. Las imágenes de la magnitud del vector cambio $|C_{NDVI}|$ y $|C_{TVI}|$ han sido creadas y clasificadas según la intensidad del cambio fijando umbrales de μ hasta $\mu + 2.5\sigma$ aumentando en intervalos de 0.5σ donde μ es la media y σ es la desviación estándar (Figura 1).

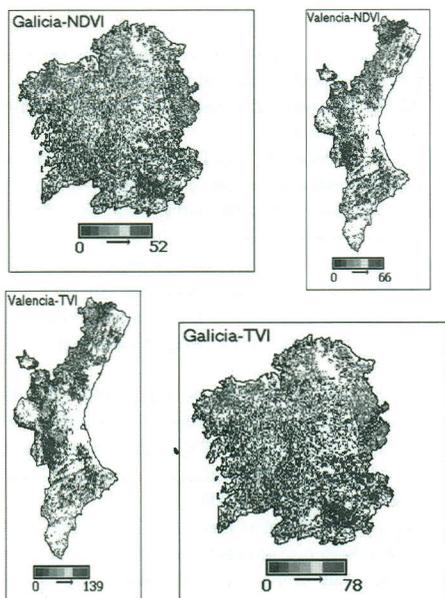


Figura 1. Imágenes de la magnitud del vector clasificadas usando el NDVI y el TVI. (Ver figura en color en la página 668)

Analizando los resultados obtenidos, destacamos que en Galicia la magnitud varía entre [0,52] cuentas digitales usando el NDVI y entre [0,78] usando el TVI. También para la comunidad de Valencia la magnitud varía entre [0,66] y [0,139] cuentas digitales usando el NDVI y el TVI respectivamente. Esto quiere decir que al utilizar el TVI, el rango del cambio es más grande que el rango del cambio usando el NDVI, y sobre todo en la comunidad de Valencia. Este resultado muestra la gran sensibilidad del TVI al cambio en las masas forestales. También se puede destacar que la distribución de la magnitud del cambio en la comunidad de Galicia es más o menos parecida usando los dos índices, y lo mismo para las provincias Castellón y Valencia en la comunidad Valenciana, sin embargo el sur de la provincia de Alicante presenta una magnitud de cambio más alta usando el TVI que el NDVI.

Nuestro objetivo aquí, es hacer una clasificación detallada de los tipos de cambio ocurridos en cada píxel forestal estudiado, de hecho se ha calculado primero el ángulo que hace referencia a la dirección del vector cambio usando el NDVI y el TVI. Los ángulos del vector cambio han sido calculados y clasificados a cuatro tipos de cambio A, B, C y D, teniendo en cuenta el comportamiento de cada índice de vegetación y dependiendo del ángulo del vector (α) de la manera siguiente:

A: Cambio positivo en verano y invierno, 1993/99

α	$[0, \pi/2]$	$[\pi/2, \pi]$	$[\pi, 3\pi/2]$	$[3\pi/2, 2\pi]$
NDVI	A	B	C	D
TVI	C	D	A	B

B: Cambio negativo en invierno y positivo en verano, 1993/99.

C: Cambio negativo en invierno y verano, 1993/99.

D: Cambio positivo en el invierno y negativo en el verano, 1993/99.

Los ángulos del vector cambio muestran el tipo de cambio ocurrido en cada píxel estudiado. Los tipos de cambio A y C son los más interesantes porque dan una idea clara del tipo de cambio. Una mejora tanto en el invierno como en el verano, significa una mejora en la cubierta del forestal (Tipo A), un empeoramiento tanto en el invierno como en el verano significa, un empeoramiento en la cubierta (Tipo C). Sin embargo los tipos de cambio B y D son cambios que no aclaran muy bien el tipo de cambio, aunque la mayoría de los píxeles que presentan estos tipos de cambio, presentan una mejora muy importante en el invierno y un empeoramiento muy

pequeño ó casi nulo en el verano, y viceversa para los cambios B y D respectivamente. Por lo que se puede decir en el primer caso que estos píxeles han mejorado asignándolos al tipo de cambio A, y en el segundo caso han empeorado asignándolos al tipo de cambio C.

Hasta ahora tenemos dos resultados muy importantes que son una clasificación de los módulos del vector cambio y una clasificación de sus ángulos. Teniendo estos resultados se pensó fusionarlos y tener una clasificación que tome en cuenta los módulos y los ángulos del vector cambio. Por esto, el resultado final de este análisis es una comparación de la clasificación de los cambios, usando el NDVI y el TVI, teniendo en cuenta la intensidad del cambio y su dirección, considerando solo los tipos de cambio A y C. Los tipos de cambio B y D no han sido clasificados y están pintados en color Gris (Figura 2).

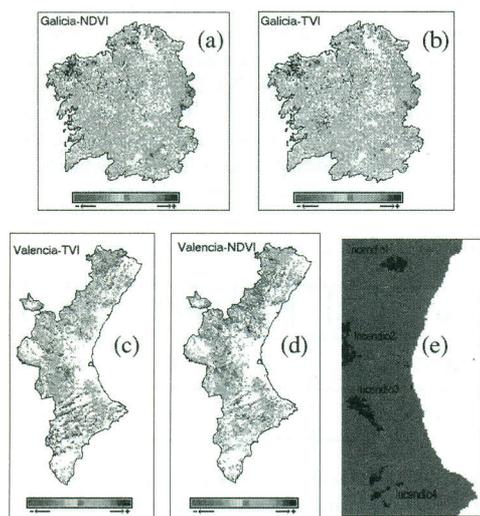


Figura 2. (a), (b), (c) y (d): imágenes de la clasificación de la fusión de la magnitud y del ángulo usando el NDVI y el TVI, (e): imagen de Valencia clasificada que muestra las zonas quemadas por los incendios del verano de 1994.

(Ver figura en color en la página 668)

Comparando los resultados obtenidos se puede destacar que las imágenes de la fusión de Galicia son muy parecidas usando los dos índices tanto en la severidad, la dirección y la distribución; esto se puede explicar debido a que en esta comunidad, los dos índices ofrecen más o menos los mismos resultados, porque no hubo un cambio negativo muy importante en la cubierta del

forestal. Sin embargo si destaca la diferencia comparando las imágenes de Valencia usando los dos índices; ésta diferencia existe sobre todo en las zonas donde hubo un cambio negativo muy importante, como las zonas que han sido quemadas por los incendios forestales que ocurrieron en el verano del año 1994.

CONCLUSIONES

Utilizando el NDVI como indicador biofísico y el método del vector cambio, la clasificación final ha podido clasificar como cambio negativo sólo las zonas donde explotaron los incendios 1 y 3 de la (Figura 2-e) sin embargo al usar el TVI el método ha sido capaz de clasificar como cambio negativo las zonas donde explotaron todos los cuatro incendios cartografiados por (Al-Rawi *et al.*, 2000). Este resultado muestra una vez más la mejor sensibilidad del nuevo índice TVI a la detección y la clasificación del cambio sobre todo el negativo. Por último, cabe destacar que éstos incendios ocurrieron en el verano del año 1994, sin embargo las imágenes utilizadas en este análisis son imágenes de los años 1993 y 1999. Lo que confirma la buena sensibilidad del TVI al cambio negativo y también la eficacia del vector cambio usado en éste análisis para la detección y la clasificación de los cambios en la masa forestal.

BIBLIOGRAFÍA

- AL-RAWI, K. R., CASANOVA, J. L., CALLE, A., 2000, Burned area mapping system and fires detection system, based on neural networks and NOAA-AVHRR imagery, International Journal of Remote Sensing (in press).
- DEFRIES, R., HANSEN, M. and TOWNSEND, J., 1995, Global discrimination of land cover types from metrics derived from AVHRR pathfinder data. Remote Sensing of Environment, 54, 209-222.
- LAMBIN, E. F. & STRAHLER, A. H., 1994 Change-Vector Analysis: a tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal-resolution satellite data. Remote Sensing of Environment, 48: 231-244.
- LOUAKFAOUI, E. M. y CASANOVA, J. L., 1999, Un índice de vegetación para el seguimiento por satélite de la masa forestal., Libro del VIII Congreso Nacional de Teledetección: Teledetección Avances y Aplicaciones, Albacete(100-104).
- LOUAKFAOUI, E. M., CASANOVA, J. L. AND ROMO, A., 2000a, Selection of vegetation index for monitoring forest cover in the Iberian Peninsula, Proceedings book of the 20th EARSel Symposium, Dresden, Germany (in press.).
- LOUAKFAOUI, E. M., and CASANOVA, J. L., 2000b, Analysis of the state of forest in Morocco using the change-

vector and NOAA-AVHRR imagery. Proceedings book of the 1st Workshop EARSeL. Special Interest Group on Remote Sensing for Developing Countries, Gent, Belgium (in press.)

LOUAKFAOUI, E. M., 2001. Un nuevo índice de vegetación para el seguimiento y control de la masa forestal mediante imágenes NOAA-AVHRR, Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid.