

LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN COMO INDICADORES DEL RIESGO DE INCENDIO EN GALICIA. APLICACIÓN CON IMÁGENES DEL SENSOR TERRA-MODIS

M. M. Bisquert (*), J. M. Sánchez (**), V. Caselles (*), M. I. Paz Andrade (***) y J. L. Legido (****).

(*). *Dpto. Física de la Tierra y Termodinámica, Universitat de València, Burjassot, 46100.*
Maria.Mar.Bisquert@uv.es

(**). *Dpto. Física Aplicada, Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, 02071.*

(***). *Dpto. Física Aplicada, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 15782.*

(****). *Dpto. Física Aplicada, Universidad de Vigo, Vigo, 36200.*

RESUMEN

La región de Galicia es una zona particularmente castigada por la acción devastadora del fuego. Por este motivo, es de vital importancia la elaboración de un modelo de predicción de riesgo de incendio.

Los índices de vegetación y de humedad se pueden utilizar para la caracterización del estado de la vegetación, sin embargo se ha visto que cada tipo de vegetación se caracteriza mejor con un índice en particular. En este trabajo recurrimos a ocho índices, obtenidos de la bibliografía, para ver cuál caracteriza mejor nuestra zona de estudio. Se ha empleado una serie de 6 años de imágenes del sensor MODIS, así como información de los incendios registrados durante el mismo periodo en base a una cuadrícula de 10x10 km. El porcentaje de casos afectados con incendio se ajusta bastante bien a la variación experimentada por algunos de los índices estudiados, siguiendo una distribución lineal. Se establece una clasificación de tres niveles diferentes de peligrosidad y se comprueba, comparando con los mapas de incendios registrados, su potencialidad a la hora de catalogar la probabilidad de que se produzcan incendios en una zona. Así pues, el método que presentamos podría contribuir a aumentar la eficiencia de los sistemas de prevención de incendios que se utilizan actualmente.

ABSTRACT

The Galicia region is an area specially affected by the devastating action of fire. For this reason, it is imperative the development of a model to predict fire risk.

Vegetation and moisture indices can be used to monitor the vegetation status; however the different indices do not work the same in different vegetation species. In this paper, we have selected eight spectral indices from the bibliography to monitor the changes in the vegetation status in Galicia. Six years of images from MODIS, together with fire data in a 10x10 km grid basis were used. The percentage of fire events fits the spectral indices variations suffered following a linear distribution. Three different levels of fire risk are established. The potential of this classification is tested by comparing fire events data with predicted probability of fire occurrence. The method presented in this paper may then contribute to increase the efficiency of the fire prevention systems currently used.

Palabras clave: índices de vegetación, MODIS/Terra, riesgo de incendio, Galicia.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son un fenómeno altamente destructivo para la naturaleza y desgraciadamente son muy abundantes. En España, de acuerdo con las estadísticas del Ministerio de Medio Ambiente, entre los años 1996-2005 se produjeron 20.887 incendios, de los cuales, aproximadamente el 50% tuvieron como causa la acción antropogénica. En este periodo la superficie media quemada cada año alcanzó las 140.172 ha.

La prevención de los incendios forestales es un punto fundamental en la lucha contra el fuego. Existen numerosos modelos que proporcionan índices de riesgo de incendio basándose en

variables meteorológicas, historial de incendios, proximidad a carreteras y/o pueblos, etc. El trabajo que aquí presentamos tiene como objetivo obtener un parámetro más a incluir en los sistemas de predicción de riesgo de incendio en Galicia. Nos centraremos en la teledetección como herramienta para caracterizar el estado de la vegetación y obtener un índice de riesgo de incendio. En numerosos estudios se ha relacionado el estado de la vegetación con los incendios, utilizando tanto índices de vegetación como índices relacionados con la humedad. Sin embargo en cada estudio se llega a conclusiones diferentes en cuanto al índice que se debe utilizar para obtener el riesgo de incendio. Por lo tanto hay que encontrar, en cada caso, el índice que mejor reproduce los cambios en

el estado de la vegetación, y que, por consiguiente, mejor representa la relación entre el estado de la vegetación y los incendios en la zona de estudio.

En el presente trabajo vamos a realizar un estudio comparativo de diferentes índices espectrales, rescatados de la bibliografía, obtenidos a partir del sensor MODIS, como indicadores del riesgo de incendio en la comunidad de Galicia.

AREA DE ESTUDIO Y MATERIAL UTILIZADO

La zona de estudio de este trabajo es la región de Galicia, situada en el Noroeste de la Península Ibérica, ocupando una superficie de 29.575 km². Cerca del 70% de la superficie de Galicia es "forestal", predominando las coníferas y eucaliptos. A pesar de su clima húmedo y lluvioso, es la comunidad española donde se registra mayor número de incendios forestales.

Los sistemas de control y gestión de incendios trabajan sobre una cuadrícula que divide Galicia en 360 casillas de 10x10 km cada una, en base a la proyección UTM, zona 29. La Universidad de Santiago de Compostela nos proporcionó los datos de incendios en base a esta cuadrícula. En la figura 1 se presenta el histograma del valor medio de número de incendios para el periodo 2001-2006. Como ya se vio en Sánchez et al. (2008), la mayoría de los incendios se concentran entre el mes de febrero y la primera quincena de octubre, por lo que restringimos el estudio a este periodo.

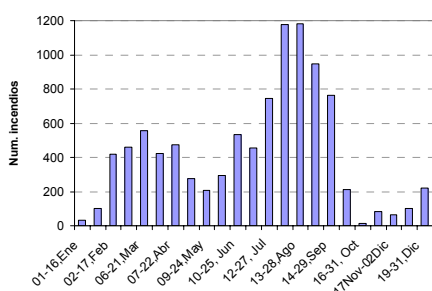


Figura 1. Número medio de incendios, acumulados en periodos de 16 días, de los años 2001 a 2006 en la región de Galicia (Sánchez et al., 2008).

Caracterizaremos el estado de la vegetación con la misma resolución espacial y con resolución temporal de 16 días, ya que el estado de la vegetación no cambia de forma apreciable de un día para otro. Los datos de la vegetación se obtienen a partir de imágenes del sensor MODIS, en concreto

de los productos MOD09 A1 y MOD13 Q1, este último proporciona imágenes de EVI.

METODOLOGÍA

La metodología comprendió varias fases: i) preprocesado de las imágenes MODIS, ii) obtención de los índices espectrales, iii) búsqueda de relaciones empíricas entre las variaciones de los diferentes índices y la frecuencia de incendios.

Preprocesado de las imágenes MODIS.

En este trabajo hemos utilizado imágenes del producto MOD09 A1, con resolución temporal de 8 días y espacial de 500 m, e imágenes del producto MOD13 Q1 con resolución temporal de 16 días y espacial de 250 m. En las imágenes de satélite existen píxeles con valores erróneos debido a la presencia de nubes o a un mal funcionamiento del sensor, por lo que es necesario llevar a cabo un proceso de filtrado. En primer lugar realizamos un filtrado basándonos en la información contenida en la banda de calidad. Se necesitó un tratamiento especial para algunas de las imágenes, debido a la presencia de líneas en la banda 5 con valores claramente erróneos. Por último se creó una máscara de cuerpos de agua (océanos, ríos y lagos) y grandes ciudades obtenida a partir de información del Corine Land Cover, estos píxeles quedarán fuera del estudio. Una vez aplicados estos filtros, llevamos a cabo un proceso de rellenado con el objetivo de completar aquellos píxeles o pequeños grupos de píxeles de los que no disponemos de información. El proceso de rellenado consiste en una matriz 5x5 que se aplica a los píxeles catalogados como erróneos o sin datos y que asigna al píxel central el valor medio de los píxeles de alrededor de los que disponemos de información. A continuación se hace la composición de dos imágenes para obtener una imagen cada 16 días. Finalmente superponemos la cuadrícula de 10x10 km y calculamos el valor medio de todos los píxeles con información contenidos en cada una de las celdas, siempre y cuando tengamos información de al menos el 80% de los píxeles de la celda. El mismo proceso de filtrado y rellenado se aplica al producto MOD13 Q1. Con la aplicación del proceso de rellenado se ganan en torno a un 30% de casos.

Obtención de los índices espectrales.

Los índices espectrales elegidos para el estudio se presentan en la tabla 1. Esta recopilación está basada en los diferentes estudios que existen en la bibliografía en los que se usan estos índices para caracterizar la vegetación o para obtener un índice de riesgo de incendio. Se trata de diferentes combinaciones de las bandas del sensor MODIS, en

concreto las bandas que se utilizan son: banda 1 (620-670nm), banda 2 (841-876nm), banda 3 (459-

479nm), banda 4 (545-565nm), banda 5 (1230-1250nm) y banda 6 (1628-1652nm).

Tabla 1. Índices espectrales para la estimación del estado de la vegetación a partir de MODIS.

Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$	Rouse et al., 1974
Soil Adjusted Vegetation Index	$SAVI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1 + L} (1 + L)$, $L=0,25$	Huete, 1988
Normalized Difference Infrared Index	$NDII = \frac{\rho_2 - \rho_6}{\rho_2 + \rho_6}$	Hunt and Rock, 1989
Global Environmental Monitoring Index	$GEMI = \frac{eta(1 - 0,25eta) - \rho_1 - 0,125}{1 - \rho_1}$ $eta = \frac{2(\rho_2^2 - \rho_1^2) + 1,5\rho_2 + 0,5\rho_1}{\rho_2 + \rho_1 + 0,5}$	Pinty and Verstraete, 1992
Normalized Difference Water Index	$NDWI = \frac{\rho_2 - \rho_3}{\rho_2 + \rho_3}$	Gao, 1996
Visible Atmospheric Resistant Index	$VARI = \frac{\rho_4 - \rho_1}{\rho_4 + \rho_1 - \rho_3}$	Gitelson et al., 2002
Enhanced Vegetation Index	$EVI = 2,5 \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + 6\rho_1 - 7,5\rho_3 + 1}$	Huete et al., 2002
Global Vegetation Moisture Index	$GVMi = \frac{(\rho_2 + 0,1) - (\rho_6 + 0,02)}{(\rho_2 + 0,1) + (\rho_6 + 0,02)}$	Ceccato et al., 2002

Relación entre la frecuencia de incendios y las variaciones de los índices espectrales. Siguiendo la metodología de Sánchez et al., 2008, hemos enfrentado la frecuencia de los incendios y la variación que el índice experimenta en comparación con la imagen, ya que consideramos que los cambios en el estado de la vegetación pueden estar relacionados con la probabilidad de que se produzca un incendio. El proceso es el mismo para todos los índices. Utilizamos el 50% (años impares) de la serie temporal para obtener la relación y el otro 50% para validación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizado el análisis descrito anteriormente, se encuentra que solo tres de los índices utilizados se ajustan bastante bien a una línea recta, éstos son el EVI, el GEMI y el SAVI. En la figura 2 presentamos el ajuste lineal de estos tres índices, se obtienen coeficientes de regresión desde 0,68 hasta 0,84.

Para la validación se utilizaron los datos de los años pares. Se aplican las ecuaciones obtenidas para cada índice a las variaciones del mismo en los años pares, y se compara el resultado obtenido con los datos de los incendios registrados durante esos años. En la tabla 2 se presentan los resultados de

este ajuste, así como un análisis estadístico del mismo. El SAVI presenta una pendiente y una ordenada en el origen demasiado diferente de los valores ideales, además de presentar el mayor error relativo medio. En base a este análisis podemos decir que el GEMI y el EVI nos ofrecen mejores resultados. Podríamos utilizar cualquiera de estos dos índices para estimar la probabilidad de que se produzca algún incendio en una casilla con un error en torno al 15%.

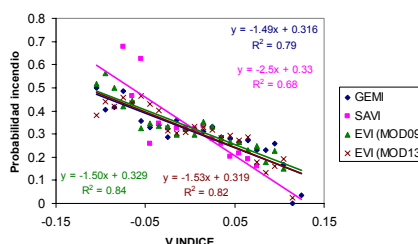


Figura 2.- Ajuste lineal entre el porcentaje de casillas con incendio y la variación que sufre el índice en las dos semanas anteriores.

Los sistemas operativos de predicción de riesgo de incendio trabajan con escalas graduadas en base a una clasificación previa. Tras varias

pruebas se eligió la siguiente clasificación como la más óptima:

- Riesgo alto: Δ índice < -0,03
- Riesgo medio: $-0,03 < \Delta$ índice < 0,03
- Riesgo bajo: Δ índice > 0,03

Los resultados de esta clasificación se presentan en la tabla 3. Con esta clasificación se tiene que aproximadamente el 50% de las casillas están catalogadas con riesgo medio, en torno al 20% con riesgo alto y un 30% con riesgo bajo.

Tabla 2. Análisis estadístico de la validación para tres índices diferentes.

	a	b	R ²	Bias	RMSE	RMSES	RMSEU	MAD	MADP
GEMI	1.12±0.18	-0.04±0.05	0.66	-0.004	0.06	0.010	0.06	0.04	14%
EVI	0.88±0.19	0.04±0.06	0.51	-0.0019	0.07	0.010	0.07	0.05	16%
SAVI	1.5±0.2	-0.13±0.07	0.74	0.002	0.06	0.04	0.003	0.05	17%
EVI (MOD13)	0.93±0.17	0.01±0.05	0.61	-0.008	0.06	0.012	0.06	0.05	16%

Tabla 3. Probabilidad de incendio / nivel de riesgo.

	EVI	GEMI	EVI (MOD13)
Alto	37±4	36±4	40±6
Medio	31.5±1.5	31.5±1.7	31.1±1.0
Bajo	25±3	25±4	25±4

CONCLUSIONES

En este trabajo presentamos un estudio comparativo de índices espectrales relacionados con la vegetación, con el fin de obtener un modelo empírico sencillo de estimación de riesgo de incendio en la región de Galicia. Se han empleado ocho índices espectrales diferentes, utilizando la variación experimentada por cada uno de ellos, en un periodo de dos semanas, como parámetro de entrada del modelo. Los datos se han obtenido de los productos MOD09 A1 y MOD13 Q1 del sensor MODIS para el periodo 2001-2006. Las imágenes se reescalaron a una resolución espacial de 10x10 km para poder relacionar los datos de vegetación con los de incendios. Se utilizaron los años impares para llevar a cabo el estudio y los pares para la validación. Se encontraron tres índices cuyos datos se ajustan bien a la ecuación de una recta: el EVI, el GEMI y el SAVI. El resto de índices no parecen presentar una relación clara entre su variación y los incendios. A partir de la validación del modelo obtenido para cada uno de los índices encontramos que el GEMI y el EVI son los que mejores resultados proporcionan, y a partir de ellos definimos tres niveles de riesgo de incendio (bajo, medio, alto) que nos permitirán catalogar la mayor o menor probabilidad de que se produzcan incendios en cada una de las cuadrículas en las que se divide la región de Galicia. En trabajos futuros completaremos este estudio mediante la aplicación del método a otras zonas e incluiremos un término relativo a la temperatura.

BIBLIOGRAFÍA.

- Ceccato, P., Gobron, N., Flasse, S., Pinty, B., Tarantola, S., 2002. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1. Theoretical approach. *Remote Sensing of Environment*, 82, 188-197.
- Gao, B.C. 1996. NDWI — a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *R. S. of Environment*, 58, 257-66.
- Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R., Rundquist, D. 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *R. S. of Environ.*, 80, 76-87.
- Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 25, 295-309.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., & Ferreira, L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83, 195-213.
- Hunt, E.R., & Rock, B.N. 1989. Detection of changes in leaf water-content using N-IR & middle-infrared reflectances. *R. S. of Environ.* 30, 43-54.
- Pinty, B. y Verstraete, M.M. 1992. GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Vegetation*, 101, 15-20.
- Rouse, J.W., Hass, R.H., Schell, J.A., & Deering, D.W. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings, third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt, NASA SP-351* (pp. 309-317).
- Sánchez, J.M., Caselles, V., Bisquert, M.M., Paz Andrade, M.I., Legido, J.L. 2008. Estimación del riesgo de incendio en Galicia a partir de imágenes EVI del Sensor Terra-MODIS. *Revista de Teledetección*, 30, 71-84.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha financiado por el MIC (Proyectos CGL2007-64666/CLI, CGL2008-03668/CLI, y contrato *Juan de la Cierva* de J. M. Sánchez).