

INTEGRACIÓN DE DIFERENTES SENSORES DE SATÉLITE Y DATOS DE CAMPO EN EL ANÁLISIS DINÁMICO DEL RIESGO DE INCENDIO FORESTAL

A. González-Calvo, P. A. Hernández-Leal, M. Arbelo, A. Alonso-Benito, A. Barreto y L. Núñez-Casillas.

Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera (GOTA). Avda. Astrofísico Francisco Sánchez s/n.
Facultad de Físicas. Universidad de La Laguna. S/C de Tenerife. Islas Canarias. 38202 (España). agcalvo@ull.es

RESUMEN

Los incendios forestales tanto de origen natural como los derivados de la acción del hombre constituyen un grave atentado contra el medioambiente, siendo muchos los factores determinantes en el inicio de los mismos. El uso de la teledetección y de datos de campo integrados en un Sistema de Información Geográfico (SIG), ha demostrado en los últimos años su alto grado de eficiencia en la determinación de las zonas con mayor riesgo potencial de ignición. En este trabajo centrado en el gran incendio acaecido en la isla de Tenerife en el año 2007, se define un índice de riesgo adaptado a las zonas de estudio haciendo uso de datos de los sensores Terra-MODIS y NOAA-AVHRR en conjunción con variables estáticas consideradas como factor de riesgo. Se realiza un análisis comparativo de la evolución de tres tipos de índices basados en estos datos durante los meses previos a dicho incendio. Los resultados de esta investigación permiten constatar la validez del modelo propuesto, y su alto grado de representatividad de las situaciones de riesgo en las zonas test elegidas, pudiendo ser elaborados de manera operativa y sistemática como herramienta de ayuda complementaria en la gestión de los servicios contra incendios.

ABSTRACT

Forest fires both natural and those resulting from human activities constitute a serious attack on the environment, with many factors in determining the start of them. The use of remote sensing and field data integrated into a Geographic Information System (GIS), has in recent years demonstrated its high degree of efficiency in the identification of areas with the greatest potential risk of ignition. In this work focused on the Tenerife Island large fire in 2007 summer season, an adapted risk index is defined using data from Terra-MODIS and NOAA-AVHRR sensors in conjunction with variables regarded as a risk factor. A comparative analysis of the evolution of three indexes based on this data during the months preceding the fires was made. The result of this investigation shows the validity of the proposed models and its high degree of representativeness of the risk in the selected test areas. It definitely can be developed on a systematic and operational way as complementary tool to aid forest services.

Palabras clave: índice de riesgo, MODIS, AVHRR, incendios, satélite, SIG.

INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas a los que se enfrentan nuestros ecosistemas es el alto grado de incidencia de los incendios forestales y el consiguiente aumento de la desertificación de las zonas afectadas.

Durante las últimas décadas, con ayuda de la teledetección se ha podido avanzar enormemente en la prevención, alerta rápida y estimación de áreas afectadas por los incendios (Stroppiana et al. 2000). En la actualidad existen diferentes modelos de definición del riesgo, que tienen en cuenta tanto variables meteorológicas, como datos de satélite, además de diferentes capas estáticas consideradas como variables de riesgo, integradas en un Sistema de Información Geográfico (Lozano et al. 2007). En este sentido, los datos NOAA-AVHRR y más recientemente de Terra-MODIS, han demostrado su gran utilidad en la estimación del Fuel Moisture Content (FMC) (Yebra et al. 2008) un parámetro de

vital importancia en los modelos de riesgo, a través de índices de vegetación como el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) o el Enhanced Vegetation Index (EVI) (Huete et al. 2002). No obstante, las actividades humanas siguen siendo una de las principales causas de los incendios, haciendo que sea realmente compleja la generación de un mapa de riesgo que alerte de una manera efectiva acerca de cuáles son las zonas que finalmente pueden verse afectadas (Martínez et al. 2009).

Las islas Canarias no escapan a esta problemática, habiendo sido afectadas por grandes incendios en todas las islas con cobertura forestal durante los últimos 4 años (la Palma: 2005, El Hierro: 2006, Gran Canaria y Tenerife: 2007 y La Gomera: 2008). Las superficies afectadas en esos incendios van desde las 800 ha. del último incendio de la Gomera, hasta las 14.718 ha. quemadas en el de Tenerife o las 15.362 ha. de el incendio de Gran Canaria (Huesca et al., 2008). Si bien en casi todos los casos se ha demostrado la incidencia de factores

antropogénicos en el inicio de los mismos, es evidente que cualquier herramienta que se ponga en manos de los servicios forestales en la ayuda para la prevención siempre es bien acogida.

En este sentido, el estudio que a continuación se presenta se centra en la Isla de Tenerife (Islas Canarias-España), si bien sus resultados pretenden ser extrapolados a otras islas siguiendo la misma metodología. Se ha desarrollado un índice dinámico denominado Dynamic Fire Risk Index (DFRI) en el que se tiene en cuenta además de diferentes factores estáticos de riesgo, la evolución temporal del estrés hídrico de la vegetación, a través del NDVI tanto para datos AVHRR como MODIS y el EVI definido para datos de este último sensor. Se realiza un análisis de los diferentes índices dinámicos en las fechas previas al gran incendio de Agosto de 2007.

DATOS Y METODOLOGÍA

Para la definición del riesgo estático de incendio se ha utilizado un modelo probabilístico basado en una regresión logística multivariante (Preisler et al. 2007) en la que el peso asignado a cada una de las potenciales variables de riesgo es estimado a través del conocimiento de la geolocalización de las estadísticas de incendios (periodo 1992-2004) en la isla de Tenerife. Las variables que se han considerado como factores de riesgo son: altura, pendiente, orientación solar, proximidad a carreteras y cobertura vegetal. Dentro de cada una de estas variables se ha establecido una categorización en niveles de riesgo en base a la experiencia de los servicios forestales insulares (Hernández-Leal et al. 2006). La formulación del riesgo estático o Static Fire Risk Index (SFRI) vendría dada por tanto por la expresión:

$$P(Y = 1) = \frac{e^{\sum(\alpha + \beta_i X_i)}}{1 + e^{\sum(\alpha + \beta_i X_i)}} \quad (1)$$

Conociendo los valores que adopta la variable dependiente (focos de incendio producidos en un periodo de 12 años), se puede determinar cómo influye cada una de las variables independientes a través de los coeficientes α y β_i .

Una vez desarrollado el modelo estático de riesgo, con el objetivo de analizar la evolución del riesgo teniendo en cuenta también un factor dinámico de vital importancia como es el estrés hídrico de la vegetación, se procedió a añadir a la función de riesgo estático o SFRI un factor modulador, que hemos dado en llamar WSI (Water

Stress Indicator), en el que sucesivamente se introdujeron datos de NDVI-AVHRR, NDVI-MODIS y EVI-MODIS, generando por tanto 3 índices dinámicos de riesgo. La función probabilística dinámica en su forma general quedaría como sigue:

$$DFRI = (1 - WSI) \left[\frac{e^{\sum(\alpha + \beta_i X_i)}}{1 + e^{\sum(\alpha + \beta_i X_i)}} \right] \quad (2)$$

Por un lado se utilizaron datos de composiciones multitemporales de 7 días de NDVI del sensor NOAA-AVHRR, basados en la técnica de retención del máximo valor de NDVI para la semana considerada (Holben 1986). Por otro, se utilizaron datos de composiciones temporales de 16 días de NDVI del sensor Terra-MODIS y por último, datos de composiciones de 16 días del EVI, índice de vegetación asociado a los datos MODIS. En los tres casos, se modifica la función de probabilidad estática con la adición del factor dinámico asociado a estos índices, realizando un estudio de la evolución de la función probabilística dinámica, desde principios de 2007 hasta finales de Agosto del mismo año.

RESULTADOS

El mapa de riesgo estático SFRI (Static Fire Risk Index) mostrado en la (Figura 1), ha sido generado atendiendo a los factores previamente comentados, incluyendo en la generación de la función de probabilidad, las estadísticas de incendios acaecidos en la Isla de Tenerife durante el periodo 1992-2004. En estas estadísticas se reflejan el punto geográfico y fecha de inicio así como la superficie total afectada por el incendio.

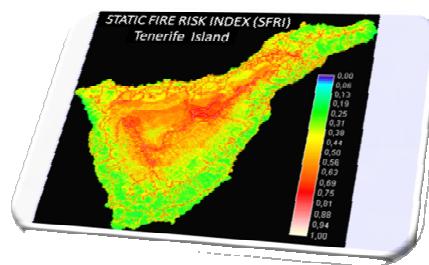


Figura 1.- Mapa de riesgo estético de incendio (SFRI) obtenido para la isla de Tenerife.

En este mapa puede observarse como quedan perfectamente delimitadas la mayor parte de las carreteras, denotando con ello que uno de los factores de riesgo con mayor peso dentro de la función probabilística es la proximidad a las principales vías de la isla. Es por tanto el factor humano, tenido en cuenta de forma indirecta en esta variable, uno de los determinantes en el inicio de la mayor parte de este tipo de sucesos.

El estudio dinámico se ha restringido a cinco zonas de la Isla de Tenerife, representativas de los más importantes tipos de cobertura vegetal de la misma. (REG-1: Realejos-San Juan de la Rambla; REG-2: Vilaflor, REG-3: Fasnia; REG-4: El Rosario; REG-5: Anaga). En la (Figura 2) se muestra un ejemplo del mapa de riesgo dinámico para los datos MODIS-NDVI restringido a las regiones antes comentadas.

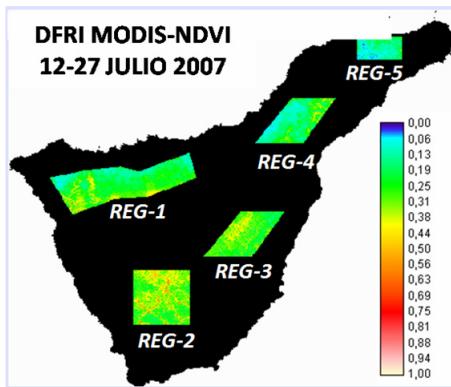


Figura 2.- Índice de riesgo dinámico derivado de datos MODIS-NDVI.

En el caso de las composiciones multitemporales con datos AVHRR, al tratarse de composiciones que abarcan un menor número de días, en algunos casos los test de nubes aplicados, nos han obligado a desechar algunas de las imágenes obtenidas, mientras que para las composiciones EVI-MODIS y NDVI-MODIS todas ellas fueron consideradas como válidas para el análisis.

Los valores promedio de cada uno de los tres índices de riesgo dinámico definidos, en las 5 regiones de la isla de Tenerife, se muestran en la (Figura 3), incluyendo todas las composiciones válidas desde Enero de 2007 hasta finales de Agosto de 2007 (15 compuestos de 16 días para los datos de EVI y NDVI del sensor MODIS y 28 composiciones de 7 días para los datos NDVI del AVHRR).

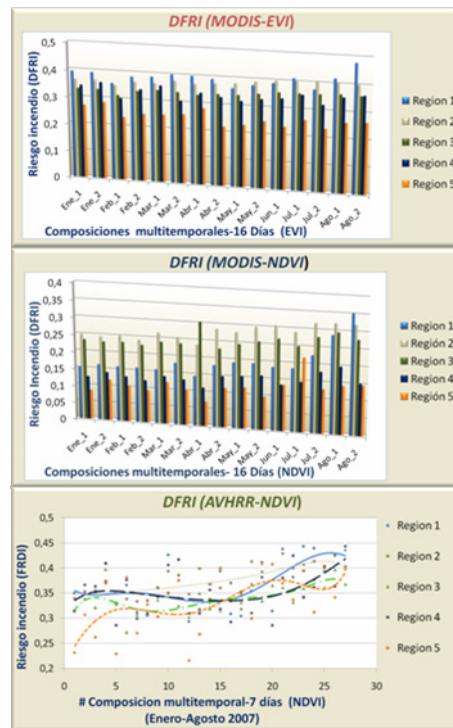


Figura 3.- Evolución de los promedios de riesgo dinámico o DFRI para los tres índices usados en cada una de las cinco regiones analizadas (Enero-Agosto 2007).

Para las imágenes AVHRR, el índice dinámico obtenido muestra una evolución clara en los niveles de riesgo asociado a todas las regiones, sobre todo cuando nos acercamos a la época estival en que las curvas de tendencia marcan un claro aumento de dichos niveles. En el caso de la curva de ajuste polinomial correspondiente a la región 1 (zona de Los Realejos-San Juan de la Rambla, afectada por el incendio), este aumento es apreciable en las fechas previas al comienzo del incendio. Bien es verdad que los valores asociados a las restantes regiones también registran ascensos en el nivel de riesgo, pero no tan acusados como el de esta última.

Por su parte los diagramas de barras en los que se representan los valores promedio de los índices de riesgo de cada región a partir de datos MODIS (EVI o NDVI), experimentan claros incrementos en la región 1, sobre todo en el caso del DFRI obtenido a partir del NDVI en el que el índice

de riesgo pasa de valores cercanos a 0,15 en los primeros meses de la serie temporal (Enero-Marzo) a valores de 0,35 en las fechas previas al incendio, mientras que el DFRI-EVI si bien también refleja una tendencia similar, con valores de riesgo en un intervalo distinto por las características propias del EVI, experimenta un gradiente de cambio mucho menor, reflejo de su peor adaptación al seguimiento de la evolución del estado de estrés hídrico de la vegetación, al menos para el tipo de cubierta forestal existente en la Isla.

CONCLUSIONES

Se ha obtenido un mapa de riesgo de incendio estático (SFRI) para la isla de Tenerife, definiendo una función probabilística de riesgo basada en una regresión logística multivariante realizada sobre variables determinantes en la aparición de un foco, pesadas por las estadísticas de incendio georeferenciadas. La modulación de los valores estáticos de riesgo mediante datos de índices de vegetación de los sensores AVHRR y MODIS, permite definir tres índices de riesgo dinámicos (DFRI), con evoluciones en el tiempo ligeramente diferenciadas. Al análisis de la tendencia de dichos índices en cinco regiones de la isla de Tenerife, permite concluir que si bien todos ellos pueden actuar como indicadores de riesgo válidos, es el DFRI obtenido a partir de los datos MODIS-NDVI el que aparentemente refleja de una manera más clara las variaciones en los niveles de riesgo.

Este tipo de datos de riesgo dinámico, si bien se ha obtenido promediando los valores sobre polígonos definidos en la isla, pueden darse con resoluciones más elevadas cuyo único límite es la resolución espacial del sensor de satélite utilizado.

Es nuestra intención continuar en la misma línea de estudios, adicionando a las capas de riesgo nuevos variables como podría ser las redes de alta tensión, mapa de vientos predominantes, así como modelos de predicción meteorológica que permitan una mejor representación de la realidad del riesgo asociado a cada pixel de la imagen.

En la mente de todos está que el factor que en la mayor parte de las ocasiones determina la aparición de un incendio es el factor humano, algo que en muchos casos escapa al nivel de predicción de una función probabilística. Pero la conjunción de estos modelos con modelos de propagación de incendios, puede ayudar de manera determinante tanto a la prevención como a la rápida extinción de los incendios ya iniciados.

BIBLIOGRAFÍA

- Hernandez-Leal, P. A., Arbelo, M., Gonzalez-Calvo A. 2006. Fire Risk assessment using satellite data, *Advances in Space research*, 37(4), pp. 741-746,
- Holben B. N. 1986: Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 11, pp. 1511-1519.
- Huesca, M., González-alonso, F., Cuevas, J.M., Merino-de-Miguel, S., 2008. Estimación de la superficie quemada en los incendios forestales de Canarias en 2007 utilizando sinérgicamente imágenes MODIS y anomalías térmicas. *Revista Investigación Agraria: Sistemas y recursos Forestales*, 17(3), 308-316.
- Huete, A., Didan, K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao, X. y Ferreira, L.G 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices, *Remote Sensing of Environment* 83, 195-213.
- Lozano, F.J., Suarez-Seoane, S., De Luis, E. 2007. Assessment of several spectral indices derived from multi-temporal Landsat data for fire occurrence probability modelling. *Remote Sensing of Environment*, 107(4): 533-544.
- Martinez, J., Vega-García, C., Chuvieco, E. 2009. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management*, 90(2): 1241-1252.
- Preisler H.K., Westerling, A.L., 2007. Statistical model for forecasting monthly large wildlandfire events in western United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46(7): 1020-1030.
- Stroppiana, D., Pinnock, S. y Gregoire, J.M. 2000. The Global Fire Product: daily fire occurrence from April 1992 to December 1993 derived from NOAA AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 21(6-7), 1279-1288.
- Yebra, M., Chuvieco, E., Riaño, D. 2008. Estimation of live fuel moisture content from MODIS images for fire risk assessment. *Agricultural and forest Meteorology*, 148(4): 523-536.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (Proyecto de Investigación CGL2007-66888-C02-01/CLI).