

Uso de datos NOAA-AVHRR y factores estáticos en la generación de índices de riesgo de incendio.

Pedro A. Hernández-Leal, Alejandro González-Calvo, Manuel Arbelo y Luis Arvelo-Valencia

Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera. Departamento de Física. Universidad de La Laguna. 38200. La Laguna, Islas Canarias, España. pedro.hernandez@ull.es, agcalvo@ull.es

Resumen

Los incendios que azotan nuestros ecosistemas forestales, particularmente durante los meses de verano, constituyen una fuente importante de degradación medioambiental. El uso de datos de satélite facilita un seguimiento de la superficie total afectada por un incendio forestal así como una detección temprana del mismo. Más aún, la posibilidad de obtener a partir de estos datos diferentes índices de riesgo, que consideran factores con carácter dinámico, como el estrés hídrico de la superficie vegetada u otro tipo de condicionantes meteorológicos; permite la sinergia de estos con factores estáticos como la orografía o el tipo de cobertura vegetal, obteniéndose mapas de riesgo con una mejora sustancial en su representatividad. En este sentido, haciendo uso de datos del sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo de los satélites NOAA y más concretamente del índice de vegetación conocido como Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), hemos definido un índice de riesgo denominado Fire Risk Dynamic Index (FRDI). Este índice tiene en cuenta entre otros factores, la variación temporal en el estrés hídrico de la vegetación, modulada por una función de probabilidad de incendio estática, en la que se integran factores de riesgo como pueden ser la pendiente del terreno, horas de insolación, proximidad a carreteras, etc.; así como las estadísticas de incendios acaecidos en el pasado en las zonas objeto de análisis, en nuestro caso, la Isla de Tenerife en las Islas Canarias (España). La observación de los gráficos de evolución del FRDI en las zonas más afectadas por incendios, demuestra la utilidad de este tipo de herramienta en la prevención de incendios.

1. Introducción

El origen fundamentalmente antropogénico de los incendios forestales que todos los años amenazan nuestros bosques, hace especialmente difícil la generación de mapas de riesgo que alerten de manera rápida y efectiva de cuales son las zonas

que finalmente pueden ser afectadas por las llamas. No obstante, el uso de la teledetección puede ayudar de forma decidida en la generación de índices de riesgo que reflejen el estado de estrés hídrico de la vegetación y la temperatura de la superficie, dos variables claves en este tipo de estudios, con una resolución tanto espacial como temporal que difícilmente podríamos tener con medidas in situ realizadas en estaciones meteorológicas. En este sentido, los datos del sensor AVHRR-NOAA, han sido de los más utilizados dada su alta periodicidad (2 pases diarios) y alta cobertura espacial a escala global [1], [2].

En las últimas décadas se han introducido diferentes técnicas para la obtención de índices de riesgo. Por un lado tendríamos las basadas en índices de vegetación como el NDVI [3]. Por su parte, la temperatura del terreno, obtenida a partir de los canales térmicos mediante algoritmos de tipo Split-Window, y la combinación de ésta con los valores asociados de NDVI, constituye otro tipo de técnica de uso común [4]. Estas dos variables, usadas conjuntamente con datos de estaciones meteorológicas (temperatura del aire, velocidad del viento, humedad relativa, etc.); permiten definir de una forma más adecuada índices de riesgo que tengan en cuenta la gran variedad de factores involucrados [5], si bien la integración de todas estas fuentes de información en un mapa realmente significativo no es del todo sencilla y es uno de los campos de investigación en el que se centran muchos de los modelos desarrollados en los últimos años. En muchos casos, la escasez o ausencia de datos in situ o la inaccesibilidad de ciertas zonas, hace que los datos de satélite sean los únicos disponibles para la generación de los mapas de riesgo.

El estudio que a continuación presentamos se centra en la Isla de Tenerife situada en las Islas Canarias (España). Se ha desarrollado un índice dinámico denominado Fire Risk Dynamic Index (FRDI) en el que se tiene en cuenta la evolución temporal del estrés hídrico de la vegetación, a través del NDVI, modulada por una función de probabilidad estática de riesgo de incendio. La validez de esta herramienta en las zonas afectadas

por dos grandes incendios acaecidos en el año 1995, es también analizada.

2. Datos y Metodología

El mapa de riesgo estático es una cartografía digital de riesgo de incendio en una determinada región combinando varias capas temáticas constantes en el tiempo. Empleando el álgebra de mapas se construye un modelo de probabilidad de que se origine un incendio en un punto cualquiera de la isla de Tenerife mediante regresión logística multivariante. Las variables que se han considerado en nuestro modelo como posibles factores de riesgo de incendio son: altura, pendiente e inclinación del terreno, proximidad a carreteras y cobertura vegetal.

A partir de la interpolación del mapa de curvas de nivel se obtiene el de altura. Aplicando módulos específicos del software, en los que se incluye el operador gradiente, conseguimos los mapas de pendiente e inclinación (o insolación). Se considera que a mayor riesgo de incendio, mayor será el valor que adopte la variable considerada. Así, por razones de humedad y temperatura, en la época estival existe mayor riesgo en las zonas altas que en las bajas. Por otro lado, los terrenos con mayor pendiente no es que tengan un mayor riesgo de incendio, pero sí que, en caso de producirse, propagarían con mayor rapidez las llamas, constituyendo por tanto un factor añadido de riesgo. En cuanto a la orientación, las zonas orientadas al sur sufren un estrés hídrico superior al resto, por lo que es de esperar que posean una mayor probabilidad de riesgo de incendio.

El mapa de elementos lineales en el que se encuentra el trazado de las carreteras asfaltadas de la isla es tratado para determinar el mapa de proximidad a las mismas, esto es, para cada punto de la zona estudiada, se calcula cuál es la carretera más próxima a él. A mayor proximidad a la carretera, mayor será el riesgo de incendio provocado por la acción humana, ya sea de forma voluntaria o fortuita.

Por su parte, en el mapa de cobertura vegetal, sólo se han considerado tres especies vegetales: laurisilva, retama y pinar. A cada una de ellas se les ha asignado un peso, considerando el diferente grado de estrés hídrico al que se pueden ver sometidas, altura media y densidad de las mismas.

Una vez tratadas las variables temáticas, se construye el modelo matemático de probabilidad de incendio. Para ello, es necesario un mapa que contenga la historia reciente de focos de incendio originados en la zona de estudio. Mediante un modelo de regresión logística múltiple se establece

la probabilidad de que la variable dependiente adopte el valor 1, siguiendo la expresión:

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

siendo Y la variable dependiente, X_i las variables independientes y α, β_i números reales.

Conociendo los valores que adopta la variable dependiente (focos de incendio producidos en un periodo de 4 años), se puede determinar cómo influye cada una de las variables independientes a través de los coeficientes α y β_i . Una vez calculados, se sustituyen en la expresión (1) y se obtiene el mapa de probabilidades de riesgo de incendio debido a variables independientes del tiempo.

Por su parte para estudiar la dinámica del estrés hídrico de la vegetación, se han extraído los valores de NDVI para las zonas de interés en el estudio. Con el objeto de evitar en lo posible la utilización de datos contaminados por nubes, se han usado composiciones multitemporales de 10 días, basados en la técnica de retención del máximo valor de NDVI para la década considerada [6]. Estos datos han sido descargados de la base de datos del proyecto Global Land 1 km AVHRR Project, en la que se incluyen, además de los valores de NDVI, los valores originales de los canales del sensor AVHRR-NOAA, así como los parámetros relativos a la geometría de observación del sensor [7].

Un número total de 7 composiciones multitemporales de NDVI han sido utilizadas, abarcando el periodo que va desde 20-30 de Junio hasta el 21-30 de Agosto de 1995.

3. Resultados

El mapa de riesgo estático FRSI (Fire Risk Static Index) mostrado en la Fig. 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 1992-1995. En estas estadísticas se reflejan el punto geográfico y fecha de inicio así como la superficie total afectada por el incendio.

Usando los valores de NDVI por décadas, extraídos de la base de datos del proyecto *Global land 1km AVHRR Project*, se ha analizado la evolución durante 7 décadas del verano de 1995 de los valores promedio de NDVI en seis parajes naturales (regiones 1-6) de la Isla de Tenerife.

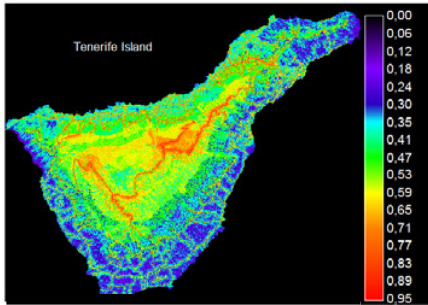


Figura 1. Mapa de Riesgo estático de Incendio (FRSI) para la Isla de Tenerife.

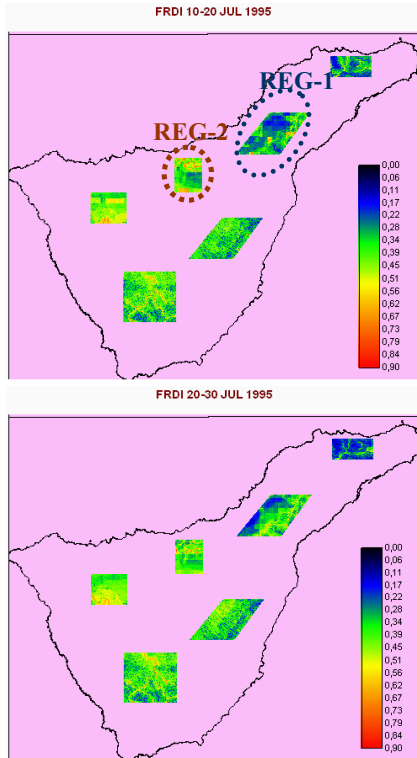


Figura 2. Mapas de riesgo dinámico (FRDI) para las seis regiones analizadas en el estudio, correspondientes a las décadas 10-20 de Julio y 20-30 de Julio de 1995.

Dentro de ellas se incluyen las dos zonas afectadas por los grandes incendios del verano de ese año, esto es la región 1: La Esperanza (25 de Julio de 1995; 2709,5 Ha. afectadas), y la región 2: Los Realejos (4 de Agosto de 1995; 301,1 Ha. afectadas).

Con el objetivo de obtener una representación que tenga en cuenta no sólo los factores incluidos en el índice estático o FRSI, sino que también considere las disminuciones en los valores de NDVI (como indicadores de un aumento del estrés hídrico), se introduce un nuevo índice de riesgo, denominado FRDI, un índice con carácter dinámico, definido como sigue:

$$FRDI = (1 - NDVI) * FRSI \quad (2)$$

cuyos valores oscilarían para la superficie terrestre entre 0 y 1, denotando un mayor riesgo de incendio cuanto más alto sea el valor asociado al mismo.

Las imágenes de la Fig. 2 representan los valores de FRDI obtenidos para las décadas previas a los incendios forestales acaecidos en las regiones 1 y 2 (remarcadas con sendos círculos), observándose a simple vista el aumento de los niveles de riesgo particularmente en la región 1, para la década previa al incendio que tuvo lugar en los montes de la Esperanza.

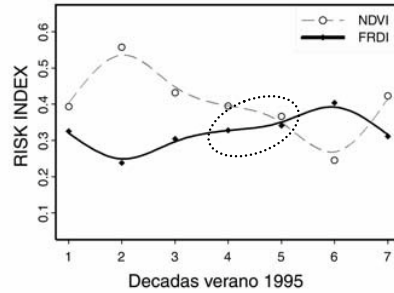
El análisis de la evolución tanto del promedio de NDVI como del índice FRDI en las regiones 1 y 2, durante las 7 décadas analizadas (Fig. 3), muestra un aumento gradual del estrés hídrico (bajada en los valores de NDVI) y por consiguiente del FRDI en las fechas previas a los incendios.

4. Conclusiones

La integración en un Sistema de información Geográfica de diferentes capas de información temática relacionadas con los niveles de riesgo de incendio, nos ha permitido definir un índice de riesgo estático (FRSI). La sinergia de los valores estáticos con los de NDVI como indicadores indirectos de la variación en los niveles de humedad en la vegetación, permite modular de una manera más adecuada el nivel de riesgo dando lugar al índice dinámico que hemos introducido como FRDI.

El análisis de la evolución dinámica del NDVI y del FRDI en las regiones afectadas por incendios, en las décadas previas a los eventos, muestra un aumento gradual de los niveles de riesgo.

3.a) REGION 1



3.b) REGION 2

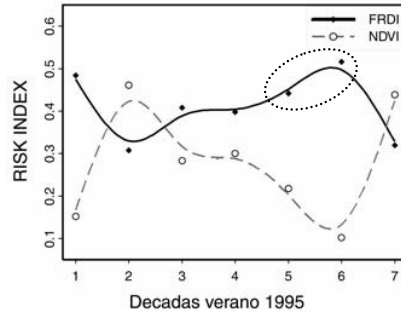


Figura 3. Gráficos de evolución del promedio de NDVI y FRDI para las regiones 1 y 2, durante las décadas del 20-30 de Junio (dec-1) al 20-30 Agosto de 1995 (dec-7). Los valores asociados a las décadas previas a los incendios han sido remarcados con círculos.

La utilización de datos meteorológicos e imágenes de temperatura del terreno podría mejorar sustancialmente la eficiencia de los mapas de riesgo. No obstante, una solución tan sencilla como la propuesta a través del FRDI, demuestra de manera evidente, la utilidad que una herramienta de este tipo podría tener en la prevención de incendios forestales o en la rápida actuación en caso de que el mismo se produzca, apoyándose en modelos de propagación del mismo.

5. Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (Proyecto de Investigación (CGL2004-06099-C03-02/CLI). Asimismo, deseamos expresar nuestra más sincera

gratitud a la Unidad de incendios del Área de Medioambiente y Paisajes del Excmo. Cabildo Insular de Tenerife (España) por la cesión de los datos de estadísticas de incendios acaecidos en la Isla de Tenerife, utilizados en el desarrollo del índice de riesgo estático (FRSI).

6. Referencias

- [1] Illera, P., Fernandez, A., y Delgado, J. A., 1996, Temporal evolution of the NDVI as an indicator of forest fire danger. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 1093-1105
- [2] Deshayes, M. Chuvieco, E., Cocero, D., Karteris, M. Koutsias, N. y Stach, N., 1998, Evaluation of different NOAA-AVHRR derived indices for fuel moisture content estimation: interest for short-term fire risk assessment. Proceedings III International Conference on Forest Fire Research- 14th Conference on Fire and Forest Meteorology, Coimbra, Portugal, November 1998, edited by D. X. Viegas (Coimbra; ADAI), pp 1149-1167.
- [3] Hardy, C. C., y Burgan, R. E., 1999, Evaluation of NDVI for monitoring live moisture in three vegetation types of western US. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65, 603-610.
- [4] Moran, M. S., Clarke, T. R., Inque, Y. y Vidal, A., 1994, Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 49, 246-263.
- [5] Chuvieco, E., Aguado, I., Cocero, D. y Riaño, D., 2003, Design of an empirical index to estimate fuel moisture content from NOAA-AVHRR images in forest fire danger studies. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 1621-1637.
- [6] Holben, B. N., 1986, Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 11, 1511-1519.
- [7] Eindsink, J. C., y Faundeen, J. L., 1994, The 1-km AVHRRR global land data set: first stages in implementation. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 3443-3462 Press, W.H., S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, and B.T. Flannery, *Numerical recipes in C*, Cambridge Univ. Press, New York, 1992.