

# DETERMINACION DE INDICES DE PELIGRO DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE IMAGENES DE LOS SATELITES NOAA

A. FERNANDEZ UNZUETA, P. ILLERA GUTIERREZ, J. A. DELGADO DE LA MATA & A. FERNANDEZ MANSO

DEPARTAMENTO DE FISICA APLICADA I. E.T.S. DE INGENIERIAS AGRARIAS. UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. AVDA DE MADRID 57. 34071. PALENCIA.

## RESUMEN

En este trabajo presentamos dos métodos para determinar indicadores de peligro de grandes incendios forestales utilizando imágenes NOAA-AVHRR. Se basan en el análisis del estrés hídrico de la vegetación. El primero de ellos parte de la evolución temporal del índice de vegetación NDVI. El segundo método se obtiene de la relación entre la temperatura de la superficie y el NDVI. Para estudiar su validez, hemos utilizado imágenes AVHRR capturadas y procesadas diariamente en la Universidad de Valladolid, datos de tierra suministrados por el I.C.O.N.A., así como un mapa digital de usos de suelo con 24 tipos de cubiertas vegetales. El estudio ha sido llevado a cabo en el este de España durante los veranos de 1993 y 1994.

P.C.: Peligro de incendio forestal, Imágenes NOAA-AVHRR.

## SUMMARY

This work presents two indicators suitable to estimate large-scale forest fire danger derived from NOAA-AVHRR images. They are based on monitoring the hydric stress of the vegetation. The first procedure is based on the analysis of the NDVI temporal evolution. The second indicator is derived from the relationship between surface temperature and NDVI. To design and test the danger indices, AVHRR images captured and processed daily by the University of Valladolid have been used. Forest fire data provided by the Spanish Forestry Service have also been available. Finally, a digital map of land uses with 24 different vegetal covers has also been employed. The study has been carried out in the East of Spain and the period corresponds to the summers of 1993 and 1994.

K.W.: Forest fire danger, NOAA-AVHRR images.

## INTRODUCCION

Los incendios forestales son uno de los mayores problemas medioambientales que afectan a los bosques mediterráneos, produciendo cada año grandes pérdidas ecológicas y económicas. El desarrollo de indicadores de peligro de incendio constituye un objetivo primordial y la Teledetección resulta una herramienta muy útil para alcanzar este propósito.

El radiómetro AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo de los satélites de la serie NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) es uno de los

mejores sistemas de observación para el control de incendios forestales, pues envía imágenes multispectrales en cinco canales de zonas amplias varias veces al día. Los dos primeros canales permiten el cálculo de índices de vegetación como el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), relacionado con diferentes variables fisiológicas. Con los tres canales térmicos restantes es posible determinar temperaturas de superficie.

Estas imágenes han sido ampliamente utilizadas en incendios forestales de tres formas distintas: control del estrés hídrico de la vegetación antes del incendio, detección y seguimiento de focos activos y cartografía de superficies afectadas después del incendio. Nosotros hemos desarrollado un sistema de vigilancia de incendios que permite trabajar en estas tres líneas (ILLERA *et al.*, 1995; FERNANDEZ *et al.*, 1995).

En este trabajo presentamos una de las aplicaciones de nuestro sistema. Hemos desarrollado dos índices que nos permiten estimar el peligro de incendios forestales, usando imágenes NOAA-AVHRR. El primero se basa en el análisis de la evolución temporal del NDVI, en el que un decrecimiento se supone que está relacionado con un incremento del estrés hídrico y por tanto del peligro de incendio (PALTRIDGE and BARBER, 1988; LOPEZ *et al.*, 1991; BURGAN and HARTFORD, 1993). El segundo índice se obtiene de la temperatura de la superficie y el NDVI, que presentan una relación lineal y cuya pendiente es un indicador de la evapotranspiración en bosques y puede ser usada como una medida del estrés hídrico (NEMANI and RUNNING, 1989; GOWARD and HOPE, 1989).

Para validar estos métodos, hemos generado ambos índices de peligro y comparado sus resultados con los datos de suelo medidos por el I.C.O.N.A.

## DATOS

El estudio se ha llevado a cabo en las 14 provincias indicadas en la Fig. 1, situadas en el este de la Península Ibérica. La vegetación es típicamente mediterránea con coníferas y pinos como especies predominantes, siendo los meses de verano los de mayor riesgo de incendios.

Hemos utilizado imágenes NOAA-AVHRR de marzo a septiembre de los años 1993 y 1994, obtenidas diariamente por el receptor instalado en el Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid. Las imágenes han sido calibradas y georreferenciadas en proyección UTM mediante software propio (ILLERA *et al.*, 1996a).

Para analizar la evolución temporal del NDVI, se han generado compuestos de máximo valor cada diez días, con el fin de minimizar problemas debidos a los diferentes ángulos de toma de las imágenes o posible presencia de nubes, tomando el valor máximo del NDVI en dicho período. Así mismo, se han usado temperaturas de superficie entre mayo y julio de 1994 obtenidas mediante un algoritmo split-window a partir de los canales 4 y 5 del radiómetro AVHRR.

Como datos de suelo, suministrados por el I.C.O.N.A., se han utilizado las áreas afectadas localizadas en celdas de 10 x 10 km. Esta localización da lugar a una cierta imprecisión al superponer los datos de suelo y las imágenes. En el año 1993 se ha trabajado con 617 incendios de 0 a 6.000 ha producidos en la Comunidad Valenciana. En el año 1994 hemos centrado nuestro interés exclusivamente en grandes incendios (mayores de 1.000 ha) que tuvieron lugar entre julio y septiembre en toda la zona de estudio. La muestra del año 94 consiste en 25 grandes incendios que representan 264.522 ha afectadas. Para evitar la imprecisión en su localización, estos 25 incendios han sido cartografiados aplicando uno de los algoritmos de nuestro sistema (FERNANDEZ *et al.*, 1995).

Finalmente, hemos empleado también un mapa de vegetación de la Comunidad Valenciana, que comprende 24 cubiertas vegetales diferentes (20 clases forestales) en celdas de 250 x 250 m modificado a una resolución compatible con nuestras imágenes de 1 x 1 km.

## EVOLUCION DEL NDVI Y PELIGRO DE INCENDIO

El NDVI está relacionado con diversas variables fisiológicas como la actividad fotosintética, y el estudio de su evolución temporal permite realizar un seguimiento del estado de humedad de la vegetación. En la Fig. 2 se muestran distintas curvas de evolución en sectores del área de estudio correspondientes a diferentes cubiertas vegetales. En zonas de bosques, un decrecimiento en las curvas puede relacionarse con un incremento en el estrés hídrico y por tanto con un aumento en el peligro de incendio.

Como indicador de peligro hemos empleado la suma de las pendientes del NDVI desde marzo hasta el período anterior a producirse el incendio, a este indicador le denominamos pendiente acumulada o PA:

$$PA = \sum_{i=1}^n \frac{NDVI(t_i) - NDVI(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}}$$

donde  $t$  es el día del año. Calculamos este indicador con una frecuencia de diez días, esperando que presente valores negativos en los períodos de peligro, y admitimos que un decrecimiento suyo está relacionado con un aumento en el estrés hídrico y por consiguiente en el peligro de incendio.

El análisis de este indicador nos lleva a las siguientes conclusiones:

1) Existe cierta confusión entre áreas de diferentes usos de suelo, como cultivos, matorrales y zonas forestales en peligro que presentan similares valores negativos de la PA. Para su discriminación sería necesario contar con un mapa de usos de suelo. Nosotros proponemos otra alternativa basada únicamente en las imágenes AVHRR. Las curvas mostradas en la Fig. 2 sugieren que la confusión entre distintas cubiertas se puede evitar utilizando la integral o suma acumulada de la curva de evolución del NDVI (o área bajo las curvas) calculada durante el mismo período. Lógicamente, las zonas forestales presentarán valores altos y podrán ser discriminadas de otros tipos de cubiertas, por lo que utilizamos esta integral como una máscara y analizamos el peligro únicamente en zonas con un valor de la integral por encima de la media local a nivel de provincia (ILLERA *et al.*, 1995).

2) La PA no parece ser un buen indicador de peligro en el caso de pequeños incendios, pero si lo parece para los grandes incendios (> 1.000 ha) del año 1993 (ILLERA *et al.*, 1996b).

3) El análisis de la muestra de grandes incendios de 1994 nos indica que estos se producen para valores negativos de la PA pero sin una tendencia clara. Lo que sí que se observa es que los incendios parecen producirse en zonas con valores del indicador por debajo de la media de la zona en la época de estudio. Asimismo, hemos llevado a cabo un estudio de la evolución de la PA para las diferentes clases forestales presentes en el mapa de la Comunidad Valenciana, obteniendo variaciones del indicador que no parecen depender de la especie analizada. En vista de esto, para obtener umbrales de una manera operativa, hemos empleado únicamente un mapa forestal-no forestal y hemos optado por tipificar la PA con respecto a la media y desviación típica de las zonas forestales de la provincia en el período en que se produce el incendio. Los resultados se observan en la Fig. 3. Un valor de -1 representa una zona en la que la PA presenta un valor de una desviación típica por debajo de la media provincial. Así, un mayor valor negativo, representará una zona muy por debajo de la media de la provincia. Esta figura sugiere que la PA tipificada puede ser un buen indicador de las zonas más propicias a sufrir grandes incendios en un período determinado.

Finalmente, si suponemos como situaciones de peligro aquellas en que la PA tipificada presenta valores menores o iguales que -1, obtenemos que un 59% de los incendios analizados responsables del 81% del área quemada, entrarían dentro de las zonas catalogadas como de peligro. Por último, en la Fig. 4 se presenta la imagen de peligro del 2 al 11 de julio de 1994, obtenida por este método. El procedimiento puede ser utilizado de una manera operacional, y de

hecho, sus resultados están enviándose actualmente a la Dirección General de Conservación de la Naturaleza.

## RELACION NDVI-TEMPERATURA DEL SUELO Y PELIGRO DE INCENDIO

La temperatura del suelo es uno de los elementos básicos que afectan al balance de energía en la superficie de la tierra y determina la radiación térmica emitida y los flujos de calor sensible y latente. Estos flujos, y la propia temperatura, varían de acuerdo con la presencia o ausencia de vegetación así como con la densidad de la cubierta vegetal. Diversos autores (NEMANI and RUNNING, 1989; GOWARD and HOPE, 1989) han sugerido que la relación entre la temperatura del suelo y la cantidad de vegetación, medida mediante índices del tipo del NDVI, puede ser un indicador del cociente entre la evapotranspiración real y la potencial o indicador del estrés hídrico. Por otra parte, otros estudios (VIDAL *et al.*, 1994) muestran una relación entre el número de incendios y el cociente entre las evapotranspiraciones real y potencial. Todo esto nos sugiere estudiar la relación entre el NDVI y la temperatura del suelo como indicador del estrés hídrico de la vegetación y por tanto del peligro de incendio.

En la Fig. 5 presentamos esta relación en un sector de 20 x 20 km de la zona de estudio. Se observa una relación lineal con pendiente negativa, lo cual significa que la temperatura disminuye al aumentar la densidad de vegetación. Esto es debido en parte a la evapotranspiración o, en otras palabras, al incremento del flujo de calor latente. Esta pendiente está relacionada con el estrés hídrico, un aumento de la pendiente, en valor absoluto, implica un incremento del estrés.

Hemos realizado este estudio en zonas de 20 x 20 km siguiendo el procedimiento propuesto por Nemani (NEMANI *et al.*, 1993). La pendiente se ha calculado diariamente entre el 1 de mayo y el 15 de julio de 1994, y se ha analizado su validez sobre 19 incendios que afectaron a 200.476 ha. En la Fig. 6 se presenta la evolución de esta pendiente en una zona de Valencia en la que se produjo un incendio ocurrido el 22 de junio de 1994 que afectó a 5.348 ha. Se observa la pendiente correspondiente únicamente a zonas forestales alrededor del incendio, que comprenden un área de 100 x 100 km o 25 celdas de 20 x 20 km y cuyos valores normales oscilan entre -10 y -30. Los valores positivos corresponden a situaciones nubosas en las que no se han podido tomar datos. En la misma figura se observa la evolución de la zona afectada por el incendio, que presenta decrementos importantes en algunos días, incluidos los anteriores a producirse el incendio. Un estudio similar llevado a cabo con toda la muestra nos permitió detectar estos decrementos en 13 incendios (68% del total) que afectaron a 134.907 ha (67% del total). Estos resultados nos hacen concluir que esta pendiente puede ser un buen indicador del peligro de incendio, aunque es necesario realizar investigaciones futuras para establecer umbrales de peligro.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se han analizado las posibilidades que presentan las imágenes NOAA-AVHRR para la determinación de indicadores de peligro de incendios forestales, mediante la puesta a punto de dos procedimientos basados en la evolución temporal del NDVI y en la relación entre el NDVI y la temperatura del suelo. El estudio se ha llevado a cabo en el este de la península Ibérica durante los años 1993 y 1994. Los resultados pueden considerarse satisfactorios, ambos indicadores pueden obtenerse de una manera operativa, y su combinación con otros factores de riesgo puede servir para llevar a cabo un control efectivo del peligro de incendios forestales en bosques mediterráneos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección General de Conservación de la Naturaleza el haberles proporcionado la información sobre incendios forestales que ha hecho posible el estudio. Este trabajo ha sido financiado mediante el proyecto ESP93-0450 de la C.I.C.Y.T.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BURGAN, R. E. & HARTFORD, R. A. (1993). Monitoring vegetation greenness with satellite data. *USDA Forest Service*. INT-297. Ogden.

FERNANDEZ, A.; ILLERA, P.; DELGADO, J. A. & CALLE, A. (1995). A system for operational fire monitoring using AVHRR images. In: EUMETSAT (Ed.), *Proc. of the Meteorological Satellite Data User's Conference*:123-130. Winchester, U.K. September 1995.

GOWARD, S. N. & HOPE, A. S. (1989). Evapotranspiration from combined reflected solar and emitted terrestrial radiation: preliminary FIFE results from AVHRR data. *Adv. Space Research* 9: 239-249.

ILLERA, P.; FERNANDEZ, A. & DELGADO, J. A. (1995). Fire monitoring in Spain using NOAA thermal data and NDVI. In: J. ASKNE (Ed.), *Sensors and Environmental Applications of Remote Sensing*: 377-383. Balkema. Rotterdam.

ILLERA, P., DELGADO, J. A. & CALLE, A. (1996a). A navigation algorithm for satellite images. *Int. J. Remote Sens.*17: 557-588.

ILLERA, P., FERNANDEZ, A. & DELGADO, J. A. (1996b). Temporal evolution of the NDVI as an indicator of forest fire danger. *Int. J. Remote Sens.*17: 1093-1105.

LOPEZ, S.; GONZALEZ, F.; LLOP, R. & CUEVAS, J. M. (1991). An evaluation of the utility of NOAA-AVHRR images for monitoring forest fire risk in Spain. *Int. J. Remote Sens.* 12: 1841-1851.

NEMANI, R. R. & RUNNING, S. (1989). Estimation of regional resistance to evapotranspiration from NDVI and thermal-IR AVHRR data. *J. Appl. Meteor.* 28: 276-284.

NEMANI, R.R., PIERCE, L., RUNNING, S. & GOWARD, S. (1993). Developing satellite estimates of surface moisture status. *J. Appl. Meteor.* 32: 548-557.

PALTRIDGE, G. & BARBER, J. (1988). Monitoring grassland dryness and fire potential in Australia with NOAA-AVHRR data. *Remote Sens. Environ.* 25: 381-394.

VIDAL, A., PINGLO, F., DURAND, H., DEVAUX-ROS, C. & MAILLET, A. (1994). Evaluation of temporal fire risk index in mediterranean forests from NOAA thermal IR. *Remote Sens. Environ.* 49: 296-303.



Figura 1. Area de estudio.

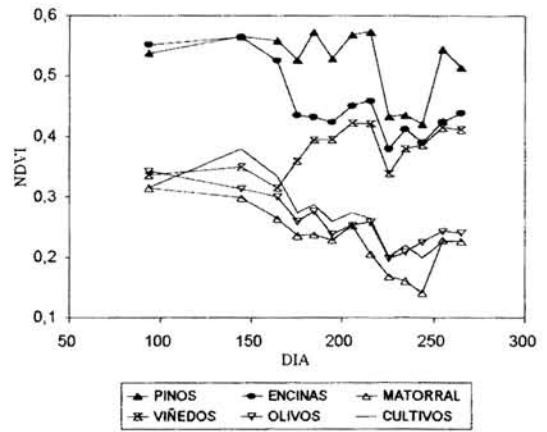


Figura 2. Evolución temporal del NDVI de marzo a septiembre de 1993 para diferentes cubiertas vegetales.

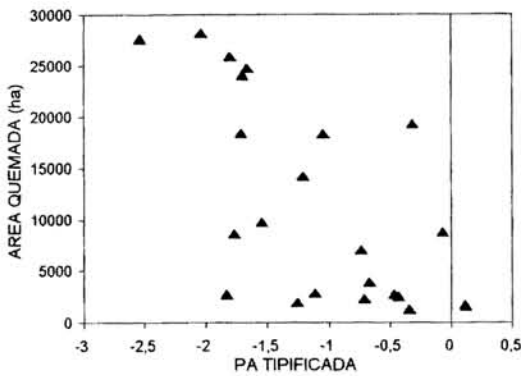


Figura 3. PA tipificada y área quemada. Grandes incendios forestales de 1994.



Figura 4. Imagen de peligro del 2 al 11 de julio de 1994. Las zonas en peligro aparecen marcadas en color blanco.

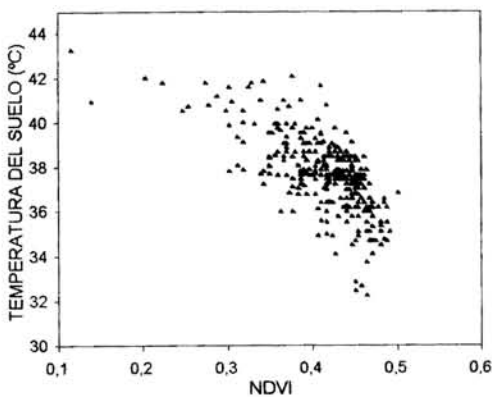


Figura 5. NDVI y temperatura de suelo.

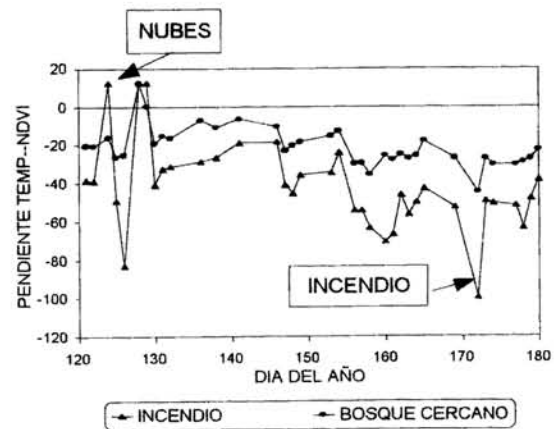


Figura 6. Relación NDVI-Temperatura de suelo en un área afectada por un incendio.