

Pla, M., Koua, O. y Garriga, F. (2010): Cálculo del riesgo de ignición a partir de imágenes AVHRR (NOAA). En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 1.014-1.020. ISBN: 978-84-472-1294-1

## CÁLCULO DEL RIESGO DE IGNICIÓN A PARTIR DE IMÁGENES AVHRR (NOAA)

*Pla M., Koua O. y Garriga F.*

(1) (1) Centro Tecnológico Forestal de Catalunya (CTFC), Ctra. de St. Llorenç de Morunys (Km2) 25280 SOLSONA, magda.pla@ctfc.cat

### RESUMEN

El riesgo de incendio forestal puede resumirse en dos factores principales: el riesgo de ignición y la probabilidad de que el fuego se expanda y acabe produciendo un incendio forestal. El riesgo de ignición puede ser debido a diferentes causas: factor humano y el estado de la vegetación. La probabilidad de expansión es principalmente debido a: condiciones meteorológicas, situación geográfica, características de la vegetación y facilidad de extinción.

El principal objetivo del presente trabajo es la obtención de un índice de riesgo de ignición debido al estado de la vegetación. Para cumplir dicho objetivo se ha elaborado una serie temporal de 8 años de imágenes AVHRR (NOAA). A partir de las imágenes diarias se ha calculado el índice de vegetación NDVI, promedios mensuales y también promedios del mismo mes para los distintos años. A partir de la comparación del NDVI mensual del año en curso con el promedio de la serie de temporal para el mes correspondiente se detectan las zonas con diferencias importantes de estado de la vegetación. Las zonas con NDVI promedio más bajos para el año en curso respecto a la serie temporal, son zonas con riesgo de ignición más elevado que el resto de zonas.

Palabras Clave: Riesgo ignición, incendios forestales, NOAA, NDVI, series temporales

### ABSTRACT

*The risk of forest fires can be summarized in two main factors: the risk of ignition and the probability of fire spreading and causing a forest fires. The risk of ignition may be due to different causes: human factor and the state of vegetation. The probability of expansion is mainly due to: weather, geography, vegetation characteristics and ease of extinction.*

*The main aim of this study is to obtain an index of risk of ignition due to the state of vegetation. To meet this objective a series of 8 years of images AVHRR (NOAA) has been developed. From daily images we have calculated vegetation index NDVI, monthly averages and averages of the same month for different years. From the comparison of monthly NDVI for current month with the average time series for the corresponding month, in order to detect areas with significant differences in the state of the vegetation. Areas with lower average NDVI for the current year with respect to the time series, are areas with higher fire risks than other areas.*

*Key Words: risk of ignition, forest fires, NOAA, NDVI, temporal series*

## ANTECEDENTES

El fuego tiene un papel determinante en la dinámica de los ecosistemas terrestres y desde tiempos remotos ha sido una herramienta de gestión del territorio. Sin embargo, los incendios pueden tener consecuencias regionales muy negativas especialmente cuando el régimen histórico de recurrencia se modifica. Los cambios en la ocupación del territorio que ha habido en Cataluña a lo largo del siglo XX (por ejemplo el abandono rural y el aumento de la superficie boscosa) han favorecido los cambios de recurrencia del ciclo de incendios provocando, en algunos casos, pérdidas económicas y humanas importantes.

Hay dos factores principales que determinan el riesgo de incendio forestal: el riesgo de ignición y la probabilidad de que el fuego se expanda y acabe produciendo un fuego forestal. El riesgo de ignición puede deberse a varias causas: factores humanos (voluntarios o involuntarios) y el estado de la vegetación. La probabilidad de que el fuego se expanda es principalmente debido a: condiciones meteorológicas, situación geográfica donde se da la ignición y las características de la vegetación (tipo de usos, cantidad de combustible seco y húmedo, etc.).

Los avances científicos y tecnológicos en los últimos años han hecho que la información procedente de sensores remotos sea una herramienta muy útil para mejorar el conocimiento del territorio. Tanto por la capacidad de tener una "fotografía" de todo el territorio con una cadencia temporal muy elevada como para la información que se puede derivar: estado de la vegetación, humedad, temperatura de la superficie terrestre, etc. En este sentido, a nivel estatal destacan los trabajos realizados desde el Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá (<http://www.geogra.uah.es/firemap/>) o desde el Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid (<http://www.lativ.uva.es/Incendios/index>) para la elaboración de mapas de riesgo de incendios.

El trabajo se enmarca dentro del Programa de gestión forestal sostenible que se está llevando a cabo desde el CTFC para la Diputación de Lleida y que tiene por objetivo general promover acciones para dar a conocer y apoyar buenas prácticas silvícolas, fomentar la utilización de la biomasa y los cultivos energéticos como fuente de energía renovable, planificar y gestionar el monte ante el riesgo de incendio forestal. Así pues, la información resultante puede ser de gran utilidad para planificar la vigilancia sobre el territorio en la temporada de mayor riesgo de incendio forestal.

## OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto es ofrecer herramientas de apoyo a la Diputación de Lleida para planificar y gestionar el monte ante el riesgo de incendios forestales. La información procedente de sensores remotos y los avances en tecnologías de la información geográfica son una herramienta muy interesante para poder cumplir este objetivo. En este sentido, a lo largo del 2009 se han concretado los siguientes objetivos:

- Elaboración de una serie histórica de NDVI para tener información histórica del estado de la vegetación a una frecuencia mensual a partir del procesamiento de imágenes AVHRR NOAA.
- Cálculo de un índice de riesgo de ignición (IRI) para identificar las zonas con una probabilidad mayor de incendio forestal a partir de la comparación del estado actual de la vegetación y la información histórica correspondiente.

## ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio es la provincia de Lérida en Cataluña. La mitad sur de la provincia es parte de la depresión del Ebro y está formada por una amplia llanura con dominio de cultivos herbáceos y arbóreos. Ésta es la zona climáticamente menos lluviosa y con temperaturas mayoritariamente más elevadas. La mitad norte de la provincia es montañosa, formada por una sierra prepirenaica y los Pirineos en el norte. La mitad norte es la zona más forestal, pero con un clima más lluvioso y, en general, poco propicio a los incendios forestales.

La zona históricamente más afectada por incendios es la Plana de Lérida debido principalmente a las condiciones climáticas en verano: veranos poco lluviosos que pueden alcanzar altas temperaturas; y también debido a la mayor presión humana, aunque los incendios pocas veces acaban produciendo grandes incendios forestales. Las zonas boscosas están situadas en zonas climáticamente menos propicias y relativamente con menos presión humana. La zona de la provincia más propicia a incendios forestales sería la comarca del

Solsonès, en el este de la provincia. Dicha comarca es una de las más forestales de toda Cataluña (y de la provincia) y a su vez, con unas condiciones climáticas más propicias a los incendios forestales, especialmente en los años más secos. En ésta zona se ha declarado uno de los incendios forestales más importantes de Cataluña en las últimas décadas.

## METODOLOGÍA

### Imágenes NOAA

Las imágenes obtenidas para realizar este trabajo proceden del NOAA 19, captadas por la antena receptora del Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá de Henares (Madrid). Actualmente el CTFC mantiene una suscripción anual de recepción de imágenes NOAA diarias con las siguientes características:

- Proyección UTM-huso 30, Zona T y Datum Europeo de 1950 (ED50)
- Las bandas están calibradas según las ecuaciones de NOAA
- La corrección geométrica de cada imagen con un error cuadrático medio (RMS) por debajo de 1 píxel.

Una vez tenemos las imágenes en el CTFC, se hace el siguiente tratamiento:

- Reproyección cartográfica al sistema de referencia correspondiente al huso 31N.
- Recorte de las imágenes para la zona de estudio correspondiente.
- Enmascaramiento de nubes.

### Serie temporal de NDVI

Se han tenido en cuenta las imágenes AHVRR NOAA del período de años comprendido entre 2002 y 2008, dentro de este periodo se han escogido los meses de mayor probabilidad de incendios (mayo, junio, julio, agosto, septiembre). Hubiera sido muy interesante poder disponer de una serie temporal más larga, pero se ha tenido en cuenta el período 2002-2008 porque es el periodo por el cual se tienen imágenes de forma continua y ha sido imposible recopilar otra información en el marco de este trabajo.

A partir de las imágenes diarias se han calculado los promedios mensuales para cada uno de los años. Las zonas con nubes no se han tenido en cuenta en el cálculo del promedio. A continuación se han calculado los promedios mensuales para toda la serie temporal, así se ha obtenido un promedio de NDVI para todos los mayos, promedio de NDVI para todos los junios, etc.

### Índice del riesgo de ignición (IRI)

Para calcular el riesgo de ignición del año 2009, se ha calculado también la media de NDVI para cada uno de los meses trabajados y se ha hecho una comparación con el valor medio histórico de cada mes obtenido en el apartado anterior (ver Figura 2). De esta manera se pueden detectar zonas que están mucho más secas de lo que sería de esperar según la media de los últimos años. Esto puede ser debido a cambios de usos del suelo (por ej. Urbanización, roturaciones forestales) pero también puede ser debido a cambios en el verdor de la vegetación debido a condiciones climáticas determinadas (más sequía acumulada) que hace las cubiertas forestales más sensibles a un posible riesgo de ignición. Estas zonas pues, merecerían un análisis más profundo para descartar el posible riesgo de ignición. Si se tratara de zonas que no ha habido cambios de usos por modificación humana y se trata de zonas de matorrales o bosques que están más secos por causas climáticas, podría ser recomendable incrementar la vigilancia en campo.

El Índice de riesgo de ignición corresponde la diferencia entre los valores del NDVI medio de cada mes actual con la media histórica por mes. Se ha aplicado la siguiente fórmula:

$$IRI = NDVI_{2009mes1} - NDVI_{historicomes1}$$

El Índice de Riesgo de Ignición varía entre -2 y +2. Los valores negativos indican que para el año en curso la vegetación es mucho más seca que el histórico analizado. Los valores cercanos a cero son zonas que no

varían mucho y los positivos representan las zonas que son más verdes que el promedio del periodo histórico estudiado.

A partir de los mapas de Riesgo de ignición hemos hecho un análisis del estado de la vegetación y tipo de combustible para las zonas con un riesgo de ignición elevado para hacer una primera aproximación del grado de peligrosidad de los posibles incendios por estas zonas. Se ha utilizado el mapa de modelos de combustibilidad de la web de cartografía del Departamento del Medio Ambiente y Vivienda (DMAH) realizado por el Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF) en 2001 a partir de información del Mapa Forestal de Cataluña escala 1:100.000 (1986-1996) y las estaciones del Inventario Ecológico Forestal de Cataluña (1988-1998). Este mapa es una clasificación de las zonas arboladas en función de los modelos de combustible (propagación del fuego dentro de una estructura de vegetación) y los modelos de inflamabilidad (riesgo de ignición). Así pues, este mapa nos informa del comportamiento del fuego debido a la estructura, la composición de la biomasa la intensidad que puede llegar a tener cada modelo. También, hacemos el análisis del mapa de usos de suelo para ver el tipo de usos susceptibles a estar en la zona de índice de vulnerabilidad alto.

## RESULTADOS

El cálculo de los valores promedios de los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre de 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 y 2008 son las siguientes:

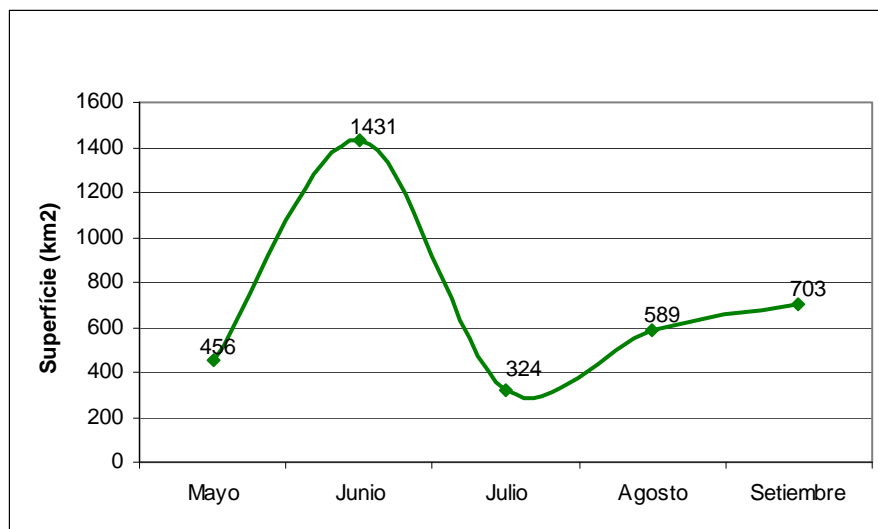
**Tabla 1.** Promedio de los meses de mayor probabilidad de riesgo de ignición

	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE
NDVI MÍNIMO	-0.130	-0.057	-0.152	-0.083	0.007
NDVI MÁXIMO	0.496	0.573	0.598	0.519	0.521

Para interpretar el índice de riesgo de ignición y hacer el análisis de estos datos se ha hecho una clasificación de los valores de cada uno de los resultados. Considerando que los valores del NDVI varían entre el -1 a 1, los valores que hacen referencia a la vegetación, son los positivos y los próximos de 1. Los rangos de clasificación considerados son clasificaciones ya adoptadas en varios estudios relacionados con el tema de incendios (R. Montorio, F. Pérez, A. García, J. De La Riva, 2007). Estos rangos son las siguientes:

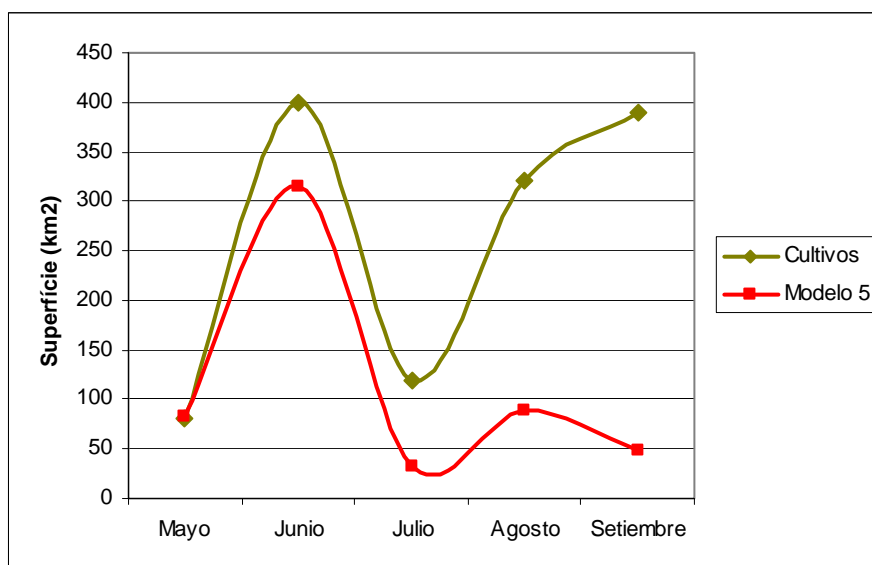
- NDVI inferior a 0,2: zona desnuda
- NDVI entre 0,2 y 0,4: zona mixta de vegetación y zona desnuda
- NDVI entre 0,4 y 0,6: zona de vegetación y actividad intermedia
- NDVI superior a 0,6: zona de vegetación de mayor densidad y actividad

El análisis de los resultados para los meses de estudio nos indican que en el año 2009, ha sido, en su conjunto, un buen año en cuanto el riesgo de ignición. Lo más con una superficie con riesgo de ignición más elevada es en junio, tal y como se muestra en la Figura 14.



**Figura 1.** Evolución de la superficie de riesgo de ignición elevada (índice con valores -2 y -1). En junio ha habido un total de 1.431 km<sup>2</sup> con un posible riesgo de ignición elevada, el resto de meses ha sido bastante moderado.

Es importante hacer constar que la mayor parte de superficie con riesgo de ignición elevado son cultivos u otras superficies correspondientes al modelo 5 de combustible. El Modelo 5 pertenece al grupo de matorrales densos y verdes de menos de 1 m de altura con una cantidad de combustible de entre 5 y 8 Mg/ha, el fuego de éste tipo de combustible se propaga por el suelo quemando la hojarasca y la pastura. En general, los dos tipos de combustible según el mapa de combustibilidad pueden crear fuegos de baja intensidad.



**Figura 2.** Evolución de los tipos de combustible con riesgo de ignición más elevado para el periodo estudiado

Tal y como se muestra en la Figura 2, para dichos tipos de combustible hay algunas diferencias en el comportamiento de la superficie con riesgo de ignición elevada a lo largo de los meses analizados. Los cultivos tienen picos de máxima superficie con un riesgo de ignición elevada en junio y setiembre, en cambio los matorrales de Modelo 5 tienen un máximo de superficie con riesgo de ignición elevada en el mes de junio pero la superficie desciende en el resto de meses.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo es una primera aproximación a la posibilidad de obtener información útil para la prevención de incendios forestales a partir de teledetección y permite concluir:

- Las series históricas de índices de vegetación aportan información muy útil para conocer el estado habitual de la vegetación y detectar las zonas que se alejan del comportamiento habitual.
- Además de detectar zonas con un posible riesgo de ignición, localizar estas zonas que se alejan de la normalidad permite identificar zonas que pueden merecer una gestión concreta.
- Sería interesante poder mejorar la resolución temporal ofreciendo estadísticas como mínimo a nivel semanal.
- Sería muy interesante poder disponer de información sobre igniciones y calcular un valor objetivo de la fiabilidad de la información para la detección real de riesgo de ignición.

## BIBLIOGRAFÍA

Caravello, G., Conard, S., Farina, A., Ferchich, A. y Taïqui, L. (2009). *MEDITERRÀNIA, Serie de Estudios Biológicos*. Universidad de Alicante (Departamento de Ecología. Facultad de Ciencias).

Calle, A., Casanova, J.L., González-Alonso, F., y Romo, A. (2001). *Detección de incendios Forestales y Estimación de Riesgo a partir de Imágenes SEVIRI Sintéticas*. Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid. Dpto. Física Aplicada I. Facultad de Ciencias. Centro de investigación Forestal (CIFOR) Instituto Nacional de Investigación Agrarias.

Camia, A., Guglielmet, E., Bovio, G., Deshayes, M., Lampin, C., Salas, J., Martínez, J., Molina, D., Carrega, P., Fox, D., Berolo, W., Sabaté, S., Vayreda, J., Martín, P., Martínez, J., Conese, C., Bonora, L., Karteris, M., Mallinis, G., Sergiopoulus, I. y Gitas, I. (2004). *EUFIRELAB: Euro-Mediterranean Wildland Fire Laboratory, a « wall-less » Laboratory for Wildland Fire Sciences and Technologies in the Euro-Mediterranean Region. Wildland Fire Danger and Hazards: a State of the Art. D-08-02. Deliverable D-08-02*

Chuvieco, E. y Martín, M. P. (2004). *Cartografía, evaluación y seguimiento de grandes incendios forestales a partir de imágenes NOAA-AVHRR*. Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá de Henares.

Dagorne, A., Duché, Y., Castex, J.M. y Ottavi, J. Y. (1994). Protection des fôrets contre l'incendie & système d'information géographique. Application à la commune d'Auribeau-sur-Siagne (Alpes-Maritimes), *Fôret Méditerranéenne, XV: 409-420*.

Escuin, S., Fernández, P. y Navarro, R. M. (2002). *Aplicación de escenas Landsat a la asignación de grados de afectación producidos por incendios Forestales*. Departamento de ingeniería Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de montes. Córdoba.

Faour, G., Kheir, R. y Darwish, A. (2006). Méthode Globale d'Evaluation du Risque d'Incendies de Forêt Utilisant la Télédétection et les SIG : Cas du Liban. *Télédétection*, 2006, Vol. 5, n° 4, p. 359-377.

Martínez, J., Martín, M.P., Romero, R., Martínez, J., Echavarría, P. e Instituto de Economía y Geografía (CSIC), Universidad de Alcalá (2005). *Aplicación de los SIG a los Modelos de Riesgo de Incendios Forestales: Riesgo Humano a escala regional*.

Montorio, R., Pérez, F., García, A. y De La Riva, J. (2007). *Estudio de los Procesos de Regeneración vegetal Postincendio en Parcelas Experimentales Mediante Radiometría de Campo*. Departamento de Geografía y O. T. (Universidad de Zaragoza).

Ruiz, J. (2004). *Teledetección y SIG en la asistencia de la actuación forestal postincendio*. Sección de Teledetección y SIG. Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla-La Mancha, (Albacete) y Agencia Europea del Espacio (ESA-ESRIN). Frascati, Roma. Italia.

Serrano, S., Lasanta, T. y Romo, A. (2003). *Variabilidad espacial y diferencias estacionales en la producción vegetal de los usos del suelo en el Pirineo Central Español*. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC). Laboratorio de Teledetección. Departamento de Física Aplicada. Universidad de Valladolid. Eriá, 62 (2003), págs. 325-339.