

ANÁLISIS COMPARATIVO DE DIFERENTES CARTOGRAFÍAS DE INCENDIOS FORESTALES

R. Díaz-Delgado(*) y X. Pons (**)(*)

rdiaz@ebd.csic.es

(*) CREA. Fac. Ciencias. UAB. Bellaterra. 08193. Barcelona. Spain.
 Dir. actual: EBD. Avda. Maria Luisa s/n. Sevilla 41013.

(**) Dto. de Geografía. Fac. de Letras. UAB. Bellaterra. 08193. Barcelona. Spain.

RESUMEN: En este trabajo se presenta una comparación detallada entre cartografías de zonas quemadas efectuadas mediante diferentes tecnologías en Cataluña (NE España) en los últimos 25 años. Éstas incluyen detección visual mediante perimetración con helicóptero o interpretación de imágenes de satélite en papel, así como detección automática mediante análisis digital de imágenes procedentes de sensores aerotransportados o embarcados en plataformas satelitares de diferentes resoluciones temporales, espaciales y radiométricas. Los resultados muestran, a través de un índice comparativo propuesto, la idoneidad de unas frente a otras a la hora de plantear la reconstrucción de la historia de fuegos de un territorio determinado.

ABSTRACT: In this paper we present a detailed comparison among results from different burned area mapping techniques applied on Catalonia (NE Spain) in the last 25 years. We compared visual detection of fire perimeter from helicopter or through satellite image interpretation and automatic detection through digital analysis of images both from airborne sensors and from satellite platforms boarded in several platforms having different temporal, spatial and radiometric resolutions. Results showed up, by using a proposed comparative index, the suitability of some techniques against others when facing to reconstruct fire history of a concrete region.

Palabras clave: cartografía zonas quemadas, Landsat MSS, TM, NOAA, CASI, SPOT, CORINE.

INTRODUCCIÓN

La metodología desarrollada para la detección de las superficies quemadas en Cataluña durante el periodo 1975-1993 es una iniciativa para la recopilación de datos ante la falta de información geográfica precisa sobre los incendios forestales (Salvador *et al.*, 2000). Sin embargo, no ha sido la única realizada. A lo largo de este periodo se han elaborado diferentes cartografías temáticas, a diferentes escalas, algunas de las cuales incluyen las zonas quemadas como una categoría más. Éste es el caso del mapa de cubiertas y usos del suelo de Europa, *CORINE land-cover* (CORINE, 1991), realizado por diversas instituciones de cada país, por encargo de la C.E. sobre la base de las imágenes Landsat TM (*Thematic Mapper*) impresas a escala 1:100000. Sin embargo, es a partir del año 1985 cuando comienza el interés por la realización de cartografías específicas de superficies forestales quemadas. En concreto, el primer esfuerzo proviene del ICC (*Institut Cartogràfic de Catalunya*, ICC, 1984). Mediante el empleo de imágenes del sensor TM embarcado en la serie de satélites Landsat, se propone una metodología de detección de superficies forestales quemadas a lo largo del año 1984. En el informe ya se mencionan algunas de las

razones por las cuales se hace necesario cartografiar los incendios forestales, como son:

- el conocimiento de la localización exacta,
- la cuantificación del área afectada, y
- el seguimiento a lo largo del tiempo de la evolución de estas zonas quemadas.

También se hace mención de los "importantes errores" que pueden derivarse de los métodos tradicionales (fotointerpretación, perimetración sobre el terreno) a la hora de cartografiar los incendios forestales.

En el año 1992 y como resultado de los buenos resultados obtenidos previamente, se realizó el *Mapa d'incendis forestals de Catalunya* (1986-1990) 1:500.000, por parte del ICC (ICC, 1992a) y la *Direcció General del Medi Natural* (DGMN) de la Generalitat de Cataluña. Se representan en él los incendios forestales superiores a 50 ha ocurridos en Cataluña entre los años 1986 y 1990. Las superficies quemadas se obtuvieron a partir del tratamiento digital de datos multitemporales captados por el sensor TM del satélite Landsat-5 (Baulies *et al.*, 1995). Se incluyen en este trabajo incendios no detectados mediante las imágenes pero referenciados merced a los inventarios del DARP (*Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca* de la Generalitat).

Desde el año 1994, tanto el DARP como el ICC, (éste por encargo del *Departament de Medi Ambient* de la Generalitat, DMA), efectúan sistemáticamente en Cataluña la cartografía anual de zonas quemadas mayores de 50 ha (ICC, 1994). El primero mediante la perimetración con GPS (*Global Positioning System*) desde helicóptero y el segundo mediante clasificación multispectral (*n-dimensional Probability Density Function*, nPDF, Cetin, 1993) de imágenes de SPOT (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*), CASI (*Compact Airborne Spectrographic Imager*) y TM (Baulies *et al.*, 1995). Los vuelos con CASI se planean para todos los fuegos mayores de 50 ha una vez extinguidos. Así, sólo se esperan errores en la determinación del área y el perímetro para cada incendio, no de comisión ni omisión (aunque naturalmente también podría darse el caso).

Recientemente (ICC, 1998) ha aparecido una nueva edición del *Mapa d'incendis forestals de Catalunya*. Esta vez se recogen los incendios ocurridos entre 1986 y 1995 y ha sido elaborado a escala 1:500000 por el ICC para la DGMN del DARP. Se ofrece, además del mapa de los incendios forestales superiores a 50 ha ocurridos en Cataluña entre los años 1986 y 1995, una cartografía de la evolución de las superficies de más de 100 ha quemadas entre 1986-1990. Se han utilizado imágenes de los satélites Landsat TM y SPOT, pero a partir de 1994 estos datos han sido completados con los obtenidos por el sensor CASI, instalado en el avión *Cessna Citation I* del ICC.

Además de las citadas se utilizaron los mapas de usos del suelo de Cataluña de 1987 y 1992 realizados a partir de clasificación multispectral de imágenes multitemporales TM de 1987 y de 1992, del satélite Landsat 5 (Viñas *et al.*, 1989) a escala 1:250000 y la cartografía de incendios de más de 2000 ha, obtenida a través del empleo del sensor AVHRR embarcado en el NOAA11 (Fernández *et al.*, 1997).

Los objetivos de este trabajo son la revisión detallada de las cartografías de zonas quemadas existentes y el análisis de su precisión mediante una comparación entre cada uno de sus fuegos que permita detectar las diferencias existentes así como sus posibles causas.

METODOLOGÍA COMPARATIVA

Las cartografías comparadas para cada periodo se muestran en la figura 1.

Las variables utilizadas en la comparación de las diferentes cartografías fueron las siguientes:

- tamaño de cada incendio
- número total de incendios
- diferencia en tamaño entre pares cartográficos
- nº (NIV), superficie media (SMIV) y máxima de las islas de vegetación (SXIV)

- nº (NS), superficie media (SMS) y máxima de los focos secundarios (SXS)
- distancia máxima alcanzada por los focos secundarios (DM)

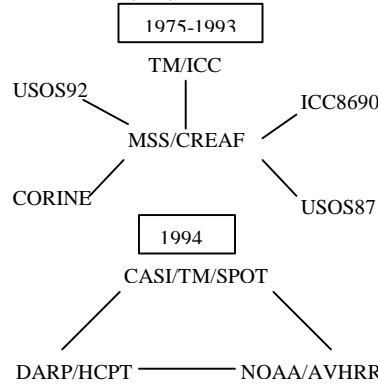


Figura 1. Mapas temáticos y específicos comparados para los periodos 1975-93 y 1994.

Los parámetros espaciales contribuyeron a establecer la premisa comparativa mediante la cual se atribuye *a priori* una mayor precisión en la cartografía de incendios cuanto mayor sea el nº de focos secundarios e islas de vegetación (valores altos de los parámetros espaciales). La figura 2 muestra un incendio cartografiado en el que aparecen focos secundarios e islas de vegetación.

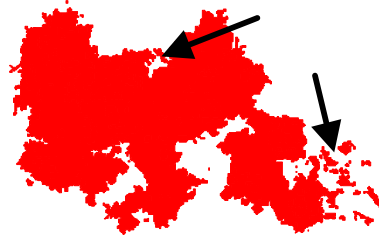


Figura 2. Cartografía de un incendio ocurrido en 1994 que ilustra las islas de vegetación (flecha discontinua) y los focos secundarios o spots (flecha continua).

Además se propuso un índice de concordancia (IC) basado en tales comparaciones de forma que permite la comparación independientemente del número de cartografías comparadas así como el periodo que se compare. Para su extracción se elaboraron todas las tablas comparativas posibles como la tabla 1.

El IC propuesto que varía entre 0 y 1 (máxima concordancia) se calcula de la siguiente forma:

$$IC = - \frac{N(+)}{(NB - 1) \cdot NV} + 1$$

Mapa	NS	SMS	SXS	DM	NIV	SMIV	SXIV
CORINE	-	+	-	+	-	+	-
ICC8690	+	- (*)	-	+	+	- (*)	+
USOS87	+	- (*)	+	+	+	- (*)	-
USOS92	-	+	+	-	+	-	-

Tabla 1. Comparación de 4 mapas con respecto a la cartografía MSS/CREAF. Valores + implican mayores valores de cada parámetro. (*) diferencias significativas al 95% (t de Student).

donde N(+) es el número de valores positivos en las tablas comparativas, NB es el número total de bases cartográficas comparadas y NV el número de variables empleadas en la comparación. Aunque sigue siendo una forma de comparación sólo válida para cartografías de la misma fecha, permite la comparación directa entre bases al obtenerse en valor relativo al número de ellas comparadas.

RESULTADOS

En la comparación de tamaños de incendios se obtuvieron para el periodo 1975-93 correlaciones positivas significativas con todas las cartografías. No obstante, existe una ligera subestimación de los grandes incendios (>1000 ha) por parte de la cartografía MSS/CREAF. En la comparación del año 1994 se encontraron también correlaciones positivas significativas con NOAA y DARP. Ahora bien, se da una sobreestimación sistemática de superficies por parte de la perimetración con helicóptero del DARP y existe una tendencia a la subestimación de tamaños grandes por parte del método NOAA.

Con respecto al IC para la comparación del año 1994, $IC_{ICC94} = 0.71$, $IC_{NOAA} = 0.21$, $IC_{DARP} = 0.57$. Los valores de IC para el resto de comparaciones figuran a continuación:

$$\begin{aligned} IC_{CORINE} &= 0.57 \\ IC_{USOS87} &= 0.52 \\ IC_{MSS/CREAF} &= 0.50 \\ IC_{ICC8690} &= 0.47 \\ IC_{USOS92} &= 0.42 \end{aligned}$$

Aunque el índice varía en función del número de bases cartográficas consideradas permite establecer una jerarquía en las comparaciones. Así, la cartografía MSS/CREAF resultaría menos detallada que CORINE y USOS87 pero curiosamente por encima de la única cartografía específica de zonas quemadas ICC8690 y de USOS92.

DISCUSIÓN

Un aspecto relevante de las metodologías de cartografía de fuegos es el coste económico. La aproximación efectuada en el presente estudio para comparar las diferentes fuentes de información sobre incendios permite una rápida impresión sobre la calidad cartográfica de las bases de datos. El siguiente paso necesario debe considerar la relación calidad/precio ya que en alguno de los casos metodológicos aquí expuestos los gastos derivados de la cartografía se corresponden con cantidades importantes. Es el caso de la cartografía realizada sistemáticamente por el ICC desde 1994 mediante el empleo del sensor aerotransportado CASI. Los costes de vuelo aproximados del avión reactor *Cessna Citation I* ascienden a 202 pts por ha cartografiada (5 m de resolución) y con un gasto mínimo debido al despegue que ronda el millón y medio de Pta (R. Arbiol, comunicación personal). Este aspecto le convierte sin duda en el más caro de los métodos evaluados. A ello, debería sumarse la adquisición de imágenes TM y SPOT que son empleadas de forma adicional para la cartografía de zonas quemadas. Sin embargo, el hecho de que constituya una de las cartografías que mayor resolución espacial ofrece y la que mayor número de focos secundarios e islas de vegetación detecta, le convierten muy probablemente en la metodología de trabajo más precisa.

En cuanto al coste económico de la cartografía realizada por el DARP, la hora de vuelo en helicóptero se sitúa entre 70000 y 80000 pts. La superficie mínima afectada que se sobrevuela es de 500 ha (Emili Ponsa, comunicación personal). El valor total de la cartografía en un año con grandes superficies quemadas como el 94 resulta elevado.

No obstante, la metodología semiautomática desarrollada por el CREAF y aplicada sobre imágenes del Landsat MSS, parece responder también de forma aceptable a la detección de las peculiaridades espaciales de los incendios. Si le añadimos la relativa facilidad de adquisición de las imágenes MSS (36.000 pts/escena completa, alrededor de 4 millones y medio para un total de 120 imágenes, unas 214.000 Pta anuales), obtenemos una relación calidad/precio interesante respecto a las ofrecidas con sensor aeroportado o con helicóptero. Un último valor añadido de esta metodología viene dado por la posibilidad de retroceder en el tiempo y detectar fuegos ocurridos en el pasado (recordemos que desde 1972 existen imágenes archivadas) lo cual se distancia de las campañas de vuelos inmediatas y de las imágenes proporcionadas por satélites como Landsat TM, SPOT, IRS, NOAA, etc. de más reciente puesta en órbita. Sin embargo, métodos como la perimetración mediante helicóptero efectuada por el DARP ofrecen la importante ventaja

de la inmediatez de resultados, aspecto sólo comparable con el método ICC94 cuando los resultados se obtienen de vuelos CASI y no cuando provienen de datos TM o SPOT.

CONCLUSIONES

- Los tamaños de incendio cartografiados por las diferentes metodologías comparadas mantienen en todos los casos altas correlaciones, si bien probablemente MSS/CREAF subestima los tamaños de grandes incendios con respecto a las demás.
- Los parámetros espaciales que detallan las peculiaridades de la cartografía de cada fuego revelan diferencias significativas en algunas de las comparaciones. Los más evidentes se desprenden de la comparación NOAA-DARP-ICC94, los cuales pueden ser debidos en gran medida al bajo número de focos secundarios e islas de vegetación detectados por las metodologías DARP y NOAA respecto de la efectuada por el ICC en el 94.
- Las comparaciones cruzadas han permitido elaborar un índice de concordancia (IC) que no considera la incertidumbre geográfica sino los valores medios de los parámetros espaciales de los fuegos. Los valores de IC obtenidos ofrecen una jerarquía de calidad cartográfica bajo la asunción de que a valores altos de las variables espaciales utilizadas, mayor validez de la información cartográfica.
- En la jerarquía establecida la mejor cartografía sería la llevada a cabo por el ICC en el año 1994. La realizada por el CREAM mediante MSS, se sitúa por debajo de las de USOS87 y CORINE y sobre ICC8690 y de USOS92. La peor de ellas resulta ser la aplicada sobre las imágenes NOAA.
- Por último, los costes económicos y la posibilidad de obtener datos históricos y de gran detalle dotan a los proyectos de cartografía de fuegos de un valor añadido frente a la calidad metodológica. La relación calidad/precio permite valorar cada proyecto y efectuar tomas de decisión acordes con las posibilidades de cada organismo encargado de realizar este tipo de trabajos.

BIBLIOGRAFÍA

- Baulies, X., Joaniquet, M. y Tardà, A. 1995. Evaluation of forest fires effects using CASI data. *In* Remote Sensing and GIS applications to forest fire management. Proceedings of the EARSeL International Workshop. Ed. por E. Chuvieco. Universidad de Alcalá de Henares, Madrid. Pp. 82-84.
- Cetin, H., Warner, T. A. y Levandowsky, D. W. 1993. Data classification, visualization, and enhancement using n-dimensional probability functions (nPDF): AVIRIS, TMS, TM, and geophysical applications. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59:1755-1764.
- CORINE. 1991. Mapa de usos y cubiertas del suelo de Cataluña 1:250000. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona.
- Fernández, A., Illera, P. y Casanova, J. L. 1997. Automatic mapping of surfaces affected by forest fires in Spain using AVHRR NDVI composite image data. *Remote Sensing of Environment*, 60:153-162.
- ICC. 1984. Detecció i avaluació de les superfícies forestals cremades durant l'any 1984 a Catalunya, mitjançant tècniques de percepció remota. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona. Pp. 25.
- ICC. 1990. Mapa d'usos del sol de Catalunya 1:250000. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona. 2ª edició.
- ICC. 1992a. Mapa d'incendis forestals de Catalunya (1986-1990) 1:500000. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona.
- ICC. 1994. Focs 94. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona. Pp. 111.
- ICC. 1998. *Mapa d'incendis forestals de Catalunya 1986-1995*. 1:500000. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona.
- Salvador, R., Pons, X., Valeriano, J. Y Díaz-Delgado, R. 2000. A semiautomatic methodology to detect fire scars in shrubs and evergreen forests with Landsat MSS time series. *International Journal of Remote Sensing*, 21:655-673.
- Viñas, O., Baulies, X., Romeu, J. y Viña, M. 1989. Mapa 1:250000 de usos y cubiertas del suelo de Cataluña a partir de datos TM. *In* III Reunión Científica del GTT. GTT, Madrid. Pp. 43-50.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al DARP (Generalitat de Catalunya) y al ICC los datos aportados. Este proyecto ha sido financiado por la CICYT AMB94-0881, y el proyecto LUCIFER EC y una beca del Ministerio de Educación y Cultura a Ricardo Díaz-Delgado.