

Detección de los incendios forestales en Catalunya a partir de imágenes digitales del sensor TM del satélite Landsat-5

R. Arbiol, J. Romeu y O. Viñas

Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), c/ Balmes, 209-211.
08006 Barcelona.

1.- INTRODUCCION

La existencia de incendios forestales en Catalunya es un hecho que se repite anualmente, principalmente durante los meses de verano, y que afecta a superficies importantes del territorio. Sólo entre los años 1979 y 1983, según los datos de la Direcció General del Medi Rural (DGMR), se quemaron 109022 ha de espacios forestales, extensión que representa el 6.09% del total forestal de Catalunya.

El Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), basándose en su experiencia en el tratamiento de imágenes digitales, se incorporó, vía NPOC-ESPAÑOL (CONIE), a la operación internacional "Proyectos Piloto 1984", operación promovida por la Agencia Espacial Europea (ESA), con la finalidad de usar los datos captados por el sensor TM del satélite LANDSAT-5 para estudiar las áreas forestales quemadas durante el verano de 1984. De esta forma su proposición consistió en realizar este estudio con una metodología semiautomática que no requiere el enorme esfuerzo de personal y de dedicación que precisa la metodología tradicional.

2.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO

La finalidad primaria consistió en detectar los incendios forestales producidos en Catalunya durante el verano de 1984, a partir del tratamiento de los datos captados por el sensor TM. A su vez, como que el estudio se planteó con información multitemporal obtenida antes y después del verano, los resultados se podrían referir incluso a hectáreas destruidas de las distintas comunidades afectadas.

De la consecución de estos objetivos se derivarían otros secundarios, como sentar las bases para sucesivos estudios de dinámica de los espacios forestales, tales como los relacionados con los procesos de regeneración de las superficies quemadas o con su erosión. Además, la información digital de 1984 nos permitiría conocer en cierto modo el estado de los bosques y esta información se podría intercalar con otras con el fin de generar productos de trabajo para diversas actividades con competencias sobre los bosques, como por ejemplo las conectadas con la planificación territorial o con los servicios de prevención de los incendios.

Un último objetivo ha consistido en promover el uso de las imágenes captadas por los satélites, concretamente sobre Catalunya, para la realización de diversos proyectos.

3.- DATOS UTILIZADOS

3.1- Datos Multiespectrales

Para efectuar el presente estudio ha sido preciso utilizar dos juegos de cintas magnéticas de antes y de después del verano. La elección de las imágenes se ha realizado a partir de la consulta de la colección de "quick-looks" que posee el ICC y que abarca todas las imágenes LANDSAT registradas sobre Catalunya desde 1975. Esta elección se ha basado en la fecha de registro y en la mínima presencia de nubes. La limitación impuesta sobre el número de cintas disponibles para el estudio ha determinado la selección de algunas imágenes que no eran las más adecuadas, así como la imposibilidad de obtener "todo el territorio desprovisto de nubes.

Para cubrir esteramente Catalunya fueron precisos diez cuartos de imagen TM para cada juego de primavera y de otoño. Definitivamente, las imágenes escogidas fueron las siguientes:

	Cuarto	Fecha		Cuarto	Fecha
197/31	n-3-----	3/06/1984	198/30	n-3-----	1/11/1984
198/31	n-3,4-----	10/06/1984	198/31	n-1,2,3,4---	1/11/1984
198/32	n-1-----	10/06/1984	198/32	n-1-----	1/11/1984
197/31	n-1,2-----	5/07/1984	197/31	n-1,2,3,4--	12/12/1984
198/32	n-1-----	28/07/1984	197/31	n-2-----	26/11/1984
198/31	n-3-----	28/07/1984	198/31	n-2-----	26/06/1984

3.2- Otros Datos

Para intentar discriminar entre las superficies afectadas de matorrales y las de bosque en algunos incendios producidos antes del registro de las imágenes del primer juego de cintas, se ha dispuesto de fotografías en blanco y negro realizadas a distintas escalas y en años cercanos al del estudio. Igualmente se ha usado con esta finalidad la serie 1:50000 de Mapas de Cultivos y Aprovechamientos, editados por el Ministerio de Agricultura.

Como base cartográfica de referencia para la corrección de la geometría de las imágenes, se han usado mapas topográficos nacionales (MTN) de escalas 1:50000 y 1:25000. Estos mapas han servido, además, para reconocer las imágenes visualizadas en la pantalla del sistema de representación, y como soporte de los resultados editados.

Además, como guía de los lugares donde aplicar el proceso de tratamiento digital, así como fuente de referencia o de contraste de los resultados de este tratamiento, se ha usado la relación de los Partes de Incendios de la Direcció General del Medi Rural, y los de la Direcció General de Prevenció i Extinció d'Incendis i Salvaments.

Para la fase de edición de resultados también se ha utilizado el archivo comarcal digital de Catalunya, construido en el mismo ICC.

4.- EQUIPO UTILIZADO

El equipo instrumental disponible en el ICC para realizar este trabajo está constituido por una unidad central de proceso VAX11-780 con 4MB de memoria central, con el sistema operativo VMS y las utilidades usuales. Se poseen, además, dos unidades de cinta magnética de 800/1600 bpi y dos unidades de disco de 300MB cada una. El sistema de representación es un COMTAL SYSTEM ONE/20 con 512x512x28 bits de memoria para almacenar gráficos e imágenes. Excepto este último dispositivo, los restantes han sido utilizados en tiempo compartido con las demás necesidades del ICC.

El "software" de tratamiento de imágenes digitales está formado por unos 50 programas y 25500 líneas de código FORTRAN desarrollados en el Centre de Càlcul de la Universitat Politècnica de Catalunya (CCUPC),

programas que han sido modificados y ampliados en el mismo ICC. Actualmente se encuentran totalmente documentados y editados en tres volúmenes como "Aplicación RS".

5.- METODOLOGIA DESARROLLADA

Con motivo de usar información multitemporal, se produjo un intervalo de tiempo entre la adquisición de los dos juegos de cintas que, en cierto modo, condicionó el desarrollo del trabajo. Las etapas en que quedó estructurado fueron:

- 5.1- Etapa de búsqueda de los puntos de control (PC) para corregir geoméricamente las imágenes TM del primer juego de cintas al sistema de coordenadas UTM.
- 5.2- Etapa de análisis radiométrico de los efectos de los incendios acaecidos en los primeros meses del año, para establecer los canales espectrales o combinaciones de canales más adecuadas para detectarlos.
- 5.3- Etapa de corrección de la geometría de las imágenes del segundo juego de cintas respecto a la del primero, y formación de los archivos multitemporales.
- 5.4- Etapa de detección y cuantificación de las áreas devastadas por los incendios, a partir de los archivos multitemporales.

De estas cuatro etapas, las dos primeras se realizaron con anterioridad a la entrega de las imágenes correspondientes al segundo juego de cintas.

En el estudio se efectuaron, independientemente, dos etapas de corrección geométrica. En la primera (5.1) se buscaron de forma supervisada series de 15 a 20 PC por cuarto de imagen TM, usando los mapas 1:50000 y las representaciones en falso color, y se consiguieron 10 archivos con las coordenadas de los PC referidas a los sistemas UTM y LANDSAT, uno por cuarto de cinta, y se estableció para cada uno el polinomio de transformación que mejor los ajustaba. En todos los casos se procedió a un examen de la corrección, eliminando e incorporando algunos PC hasta que los errores de localización asociados a los puntos de control

fuesen siempre inferiores a un pixel.

Una vez recibido el segundo juego de cintas magnéticas, correspondiente al otoño, se procedió (etapa 5.3) al establecimiento de los otros diez polinomios de transformación para corregir la geometría de cada cuarto de imagen de otoño respecto a la de su homólogo registrado en primavera. Si bien el proceso se inició con algoritmos de cálculo automático de PC a partir del estudio de la correlación entre imágenes homólogas, por pertenecer las imágenes a épocas muy distintas en las que el estado fenológico de la vegetación era muy diferente, no se obtuvieron resultados aceptables y se decidió utilizar el método manual para la identificación de los PC.

Las aplicaciones de estos nuevos diez polinomios a las imágenes de otoño las transformó a la geometría de sus imágenes homólogas de primavera, y posibilitó la formación de los archivos multitemporales. Posteriormente estos archivos serían corregidos al sistema UTM utilizando los polinomios originados en la primera fase.

Antes de la recepción del segundo juego de imágenes, se inició el estudio de los efectos radiométricos causados por los incendios acaecidos en los primeros meses del año, en relación a la respuesta espectral de la vegetación (etapa 5.2).

Uno de los incendios estudiados en esta fase fue el que ocurrió el día 10 de febrero, en el término municipal de Tordera, y que afectó a más de 1000 ha predominantemente de bosque. En definitiva resultó ser el incendio que destruyó más superficie arbolada de Catalunya en el año 1984. Para su análisis se usó la imagen TM 197/31 registrada el día 3 de junio.

Las conclusiones de este estudio, corroboradas en otros incendios, pueden resumirse en las siguientes:

- a.-La representación en falso color construida con los canales 4,5,7 permite determinar visualmente con toda claridad las extensiones forestales quemadas.
- b.-El efecto radiométrico del incendio consiste en aumentar la respuesta espectral registrada en todos los canales excepto en el canal 4 que la hace disminuir. Este efecto es consecuencia de la eliminación de la clorofila (por lo que se pierde el máximo de

reflectancia en el canal 4, y la absorción en los canales 1 y 3) y del contenido en agua de las hojas (eliminando la absorción en los canales 5 y 7). En la tabla 1 se indica la reflectancia, pixel a pixel, de una subescena situada en la área de Tordera que fue parcialmente afectada por el incendio.

línea 282

columna	3021	3022	3023	3024	3025	3026	3027	3028	3029	3030	3031
CANAL											
1	113	117	115	114	115	116	119	122	123	120	119
2	45	46	46	45	46	46	49	52	50	49	49
3	44	45	45	44	49	51	53	59	56	55	52
4	71	69	68	65	58	57	57	61	59	57	55
5	68	66	68	65	73	80	81	97	103	94	94
6	98	98	98	98	105	105	105	105	110	110	110
7	27	30	29	30	37	42	45	54	59	55	55

línea 283

columna	3021	3022	3023	3024	3025	3026	3027	3028	3029	3030	3031
CANAL											
1	111	112	116	110	116	121	119	125	121	118	119
2	45	46	46	44	48	49	50	53	50	48	49
3	43	43	46	41	49	53	53	61	55	52	52
4	67	67	66	63	59	56	58	63	59	56	57
5	66	68	75	69	67	82	82	99	101	91	86
6	98	98	98	98	104	104	104	104	107	107	107
7	30	31	36	28	35	46	47	58	59	54	54

Tabla 1.- Respuesta espectral de los pixels de la subescena

A. El área quemada empieza aproximadamente a partir de la columna 3025. Obsérvese el cambio en la signatura espectral, tal como se comenta en el apartado b.

c.-Basta usar las combinaciones de canales C3/C4 y C5/C4 como variables en el archivo a clasificar para diferenciar correctamente las áreas quemadas de las no quemadas.

Una vez recibido el segundo juego de cintas y tras construir los archivos multitemporales, se inició la fase de detección y cuantificación de las áreas quemadas (etapa 5.4). En principio era factible diferenciar las diversas coberturas vegetales afectadas pues si bien la información multispectral registrada después de los incendios permitiría separar las extensiones quemadas de las no quemadas, la registrada con anterioridad a los incendios debería posibilitar la diferenciación entre las cubiertas vegetales todavía existentes. Una vez comprobados ambos aspectos se inició una fase de estudio con vistas a minimizar el número de variables necesarias en el archivo multitemporal.

Como ejemplo de este análisis se expone el estudio del incendio que ocurrió el día 15 de septiembre en el término municipal de Vandellós. Este incendio afectó a unas 4250 ha, principalmente de matorrales con pino blanco muy disperso y, finalmente, resultó ser el que afectó a más superficie forestal de Catalunya.

Los datos espectrales que se usaron fueron captados los días 10 de junio y 1 de noviembre y corresponden a la imagen TM 198/32. En la figura 1 se representa el falso color generado con los canales 4,5,7 registrados después del incendio. Claramente puede distinguirse la extensión afectada en contraste con la no afectada que se observa en tonalidades rojizas. Una vez construido el archivo multitemporal, se estudió la respuesta espectral de pixels situados en áreas afectadas y no afectadas por el incendio. En el gráfico 1 se representa esta respuesta para seis pixels, tres de los cuales se localizaron en áreas que resultaron quemadas y los otros tres en áreas que no fueron alcanzadas por las llamas.

A consecuencia del resultado obtenido, se decidió conservar en el archivo multitemporal definitivo, únicamente los canales 4 y 5 de la imagen anterior al incendio, así como las combinaciones de los canales C3/C4 y C5/C4 de la imagen posterior al mismo.

En la figura 2 se representa el archivo multitemporal en el falso color derivado de las combinaciones C3/C4 y C5/C4 de después del incendio y del canal 4 de la imagen obtenida antes de producirse el hecho.

Para poder cuantificar las diversas cubiertas forestales quemadas se procedió a clasificar este archivo con un clasificador basado en la distancia euclídea y se obtuvieron 22 clases espectrales, 9 de las cuales identificaban las áreas afectadas (en marrón y en rojo en la figura 3

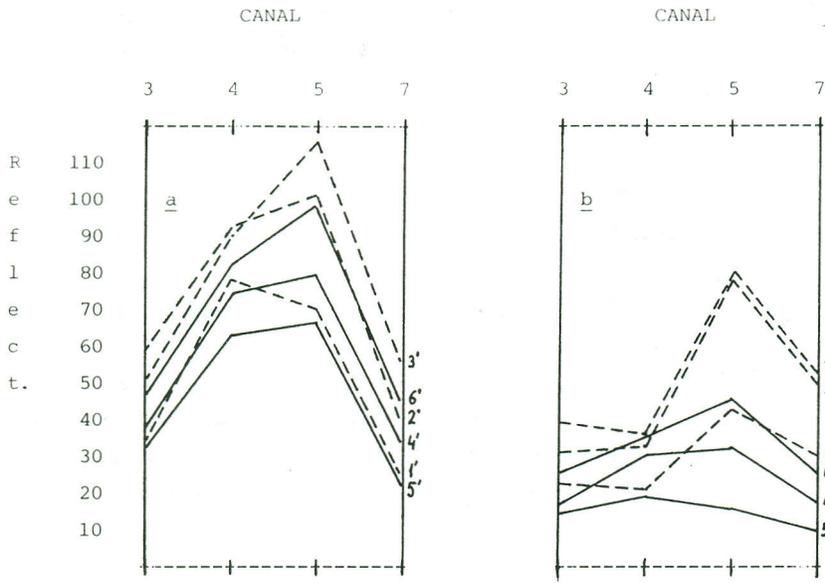


Gráfico 1.-Respuestas espectrales de seis pixels, registrada por los canales TM 3,4,5 y 7. En a corresponden a la imagen de antes del incendio, y en b, a la de después del incendio. Los pixels 4,5 y 6 se situaron fuera del área quemada, y los pixels 1,2 y 3 en su interior.

según correspondan a matorrales o a bosque, respectivamente), y el resto a otras categorías sin interés en el estudio (áreas urbanas, bosque, matorral, agua, etc).

La cuantificación de las extensiones quemadas se realizó a partir del número de pixels afectados y considerando la superficie de un pixel igual a 30m x 30m. En la tabla 2 se muestran las hectáreas obtenidas y se comparan con la evaluación efectuada con la metodología tradicional.

Tras comprobar con otros incendios ocurridos entre las adquisiciones de los dos juegos de cintas que la metodología desarrollada era viable, se inició el estudio sistemático de todos los incendios producidos durante el verano de 1984 en Catalunya.

	Según tratamiento datos LANDSAT-TM	Según datos oficiales
AREA DE BOSQUE	4859 pixels	
QUEMADO	437.3 ha	560.0 ha
AREA DE MATORRAL	37403 pixels	
QUEMADO	3366.2 ha	3690.0 ha

TOTAL	3803.5 ha	4250.0 ha

Tabla 2.- Resumen de las superficies forestales afectadas por el incendio de Vandellós, según el resultado del tratamiento de datos multitemporales del sensor TM, y según los datos oficiales.

Básicamente la línea que se ha seguido para cada incendio comenzaba con la creación, a partir de los datos registrados en otoño, de un archivo que contenía la extensión quemada. Para ello se usaban las referencias geográficas anotadas en los comunicados de la DGMR para situarlo en los mapas y conocer sus coordenadas UTM aproximadas. Con estos datos, y utilizando los polinomios de transformación correspondientes, se obtenían sus coordenadas LANDSAT referentes a las dos imágenes digitales homólogas y se procedía a generar los dos archivos. La visualización del archivo posterior al incendio en el falso color originado con los canales 4,5,7 permitía, seguidamente, concretar el área de interés y conocer las coordenadas LANDSAT que la registraban en las dos imágenes homólogas.

A continuación se procedía a corregir la geometría del archivo de después del incendio respecto a la del de antes del incendio, usando el polinomio de transformación correspondiente. Una vez los dos archivos poseían la misma geometría, se construían dos nuevos archivos con las variables C3/C4 y C5/C4 del de después del incendio, y con los canales 4 y 5 del de antes del incendio, y se unían para constituir el archivo multitemporal que posteriormente era corregido al sistema de coordenadas UTM. Seguidamente, se iniciaba el proceso de clasificación del archivo multitemporal usando un clasificador basado en la distancia euclídea.

Para la formación de los grupos espectrales, esto es, para identificar cada clase como un tipo determinado de uso del suelo, se estudiaba la distribución espacial de sus pixels visualizando su representación, y se analizaban sus características espectrales. Con este

procedimiento se llegaba, finalmente, a agrupar las diversas clases en escasos grupos, principalmente de bosque quemado y de matorrales quemados, y se les asignaba a cada uno de ellos un color característico.

La última etapa se limitaba a calcular las hectáreas correspondientes a las superficies forestales afectadas por los incendios, a partir del número de pixels implicados, y tomando como área de un pixel los 30m x 30m nominales.

A pesar de que la metodología expuesta fue la básica, en algunos casos se tuvo que actuar de manera distinta, principalmente cuando los incendios se habían producido en áreas de montaña con pastos y matorrales. En estos casos, ya que en la segunda fecha de registro de la información multiespectral la vegetación se encontraba seca, se producía una coincidencia espectral entre su respuesta y la de las áreas quemadas.

Cuando se producía esta situación, si la referencia geográfica del incendio resultaba ser lo suficientemente adecuada como para poderlos localizar en los mapas de referencia e identificarlos inequívocamente en las representaciones en falso color, se procedía a una segmentación de la imagen, o formación de una máscara, digitalizando el contorno de la extensión quemada sobre la imagen de después del incendio. De esta forma se construía un archivo con los pixels afectados, independiente del formado por el resto de pixels no afectados, y ambos se clasificaban por separado solucionándose, por lo tanto, el problema de la coincidencia espectral.

A pesar de que originariamente el estudio se refería a los incendios ocurridos durante el verano, a medida que avanzaba el proyecto nos encontramos con que para otros incendios acaecidos en otros meses poseíamos información multiespectral y oficial, y que era interesante incorporarlos en el estudio.

Como consecuencia de esta ampliación, la metodología desarrollada tampoco resultó ser la más adecuada, y para el análisis de los incendios producidos antes de la captación del primer juego de cintas se usó, exclusivamente, la información digital registrada en una sola fecha, principalmente la correspondiente a la primavera, si bien en algunos casos se utilizó la de otoño para solucionar algunas confusiones espectrales o por la presencia de nubes en la imagen homóloga.

6.- RESULTADOS OBTENIDOS

Antes de presentar un resumen de los resultados, es preciso justificar el umbral de superficie quemada que se ha usado de partida en la detección de los incendios. Con la resolución de 30 m no todos los incendios son detectables, sino sólo los que presentan unas características determinadas. Así, por ejemplo, la mayoría de los que habían afectado a más de 5 ha se podían detectar, pero los que presentaban una superficie aproximada a este límite quedaban, en ocasiones, desdibujados por la existencia de un entorno poco contrastado.

Por otro lado, la simple detección de un incendio no significa que se pueda realizar su cuantificación, pues dependiendo de su superficie o de su contraste, el número de pixels impuros situados sobre sus límites puede resultar muy elevado en relación al de pixels puros. Ya que en el proceso de clasificación los pixels impuros dan lugar a clases espectrales extrañas, tanto si se asignasen estas clases a la categoría de superficies afectadas como si se hiciese lo contrario, se obtendrían unas valoraciones de superficies equivocadas.

Por estos motivos se realizó una evaluación del coste que supondría el intento de detectar los incendios inferiores a 10 ha, respecto a la garantía de poderlos cuantificar, así como respecto a la superficie que representaban sobre el total destruido por las llamas. De aquí se dedujo que el umbral de 10 ha era aceptable ya que, a partir de los datos de la DGMR, se calculó que los incendios que sobrepasaban este límite comprendían el 93.3% de la superficie forestal afectada. Este resultado, junto con las consecuencias derivadas de los estudios efectuados sobre incendios inferiores a 10 ha, nos llevó a considerar, definitivamente, sólo aquellos incendios que en los datos oficiales poseían una superficie superior o igual a 10 ha.

En la tabla 3 se han resumido los resultados globales por provincias, agrupando los incendios en cuatro categorías según su extensión anotada en los partes oficiales. Para cada categoría se indica el número de incendios producidos y detectados, y la superficie global que representan tanto a partir de la valoración oficial como de la obtenida en el tratamiento de los datos TM.

	n-INCENDIOS		EXTENSION GLOBAL	
	Existentes	Detectados	Según DGMR	Según TM
BARCELONA				
más de 1000 ha	1	1	1407.0 ha	1188.00 ha
de 100 a 1000 ha	1	1	229.0	210.06
de 50 a 100 ha	1	1	80.0	68.04
de 10 a 50 ha	11	10	242.0	212.25
TOTAL	14	13	1958.0 ha	1678.35 ha
GIRONA				
más de 1000 ha	0	0	0.0 ha	0.0 ha
de 100 a 1000 ha	2	2	167.0	181.26
de 50 a 100 ha	0	0	0.0	0.0
de 10 a 50 ha	7	5	129.5	103.14
TOTAL	9	7	296.5 ha	284.40 ha
LLEIDA				
más de 1000 ha	0	0	0.0 ha	0.0 ha
de 100 a 1000 ha	1	1	100.0	52.65
de 50 a 100 ha	2	1	129.0	63.90
de 10 a 50 ha	10	6	214.0	122.85
TOTAL	13	8	443.0 ha	239.40 ha
TARRAGONA				
más de 1000 ha	1	1	4250.0 ha	3803.58 ha
de 100 a 1000 ha	5	5	1300.0	1146.51
de 50 a 100 ha	10	10	563.0	611.19
de 10 a 50 ha	16	15	296.0	273.60
TOTAL	32	31	6409.0 ha	5834.88 ha
TOTAL CATALUNYA	68	59	9106.5 ha	8037.03 ha

Tabla 3.- Resumen de las superficies forestales quemadas en 1984 en Catalunya. Se indican las extensiones globales que comprenden las cuatro categorías, según los datos de la DGMR y los resultados obtenidos del tratamiento informático efectuado.

7.- DISCUSION DE LOS RESULTADOS

De los 68 incendios producidos en Catalunya que cumplían las condiciones o limitaciones expuestas en el apartado anterior, se pudieron estudiar 59. Los restantes no se pudieron detectar a causa de las situaciones siguientes:

- a.-Referencias UTM o geográficas de los comunicados oficiales, incompletas o inexactas.
- b.-Coincidencias espectrales entre las áreas quemadas y las áreas agrícolas sin vegetación, o con áreas de pastizales o matorrales secos, así como enmascaramiento de los incendios por las sombras existentes en las imágenes de invierno.
- c.-Presencia de nubes sobre las áreas afectadas.

De estas situaciones, las dos últimas están directamente relacionadas con las fechas del registro de las imágenes multiespectrales. En este estudio concreto, por el hecho de tener que utilizar, en algunos casos, imágenes de invierno, era de esperar que la segunda situación actuase de una manera importante, perturbando el proceso de clasificación. Con todo, esto no es realmente un problema de la técnica o metodología usada, sino que incluso con el mismo procedimiento se podría solucionar trabajando con imágenes obtenidas en otras épocas del año. Concretamente, una vez conseguidas las imágenes correspondientes a la primavera de 1984, sería factible repetir en los años venideros el mismo estudio, usando nuevas imágenes registradas también en la primavera y compararlas con las primeras.

En cuanto al primer factor, es claro que con una referencia geográfica completa y con unas referencias UTM correctas, se habrían ahorrado muchas pérdidas de tiempo de localización de los incendios en las imágenes multiespectrales, e incluso los incendios no detectados por los problemas de las confusiones espectrales se habrían podido detectar mediante el procedimiento de formación de máscaras.

El uso de estas referencias contenidas en los "Partes de Incendios" está justificado porque si bien la detección se podría realizar a partir de un estudio sistemático de todo el territorio, este proceso requeriría unas disponibilidades de tiempo y de memoria de ordenador muy notables,

que por otra parte serían injustificadas de dedicar ya que esta información realmente existe para todos los incendios.

Con los incendios localizados, se han dado situaciones diversas. Algunos de ellos, por afectar a provincias, términos municipales o incluso a propietarios distintos, poseían dos o más comunicados oficiales diferentes, aunque realmente sólo existiese una área quemada. También se dió el caso de incendios reproducidos de otro anterior que en la detección espectral aparecían como uno sólo. Un caso semejante se presentaba cuando existían dos comunicados referentes a un mismo lugar y a una misma causa que se repetía, como la combustión incontrolada de basuras, aún cuando se producían en días distintos. En estos casos es evidente que si no se posee una imagen digital registrada entre los dos acontecimientos, la detección corresponde a la unión de las superficies afectadas por los dos incendios.

Referente al estudio de discriminación entre los tipos de vegetación afectada por los incendios, han intervenido varios factores que han condicionado los resultados obtenidos. En principio, esta identificación se basaba en la información multiespectral registrada con anterioridad a los incendios, información que se conservaba en dos de las cuatro variables de los archivos multitemporales. Es evidente que para los incendios que tuvieron lugar antes del primer registro, en principio esta discriminación no se podía efectuar usando la metodología básica.

En cuanto a los incendios producidos entre las dos fechas de registro, si afectaban a una sola categoría, según los partes oficiales de la DGMR, el grupo espectral correspondiente era identificado por la misma. Normalmente, si afectaban a la vez a bosque y a matorral, se podían identificar las dos cubiertas por su respuesta espectral, siendo más elevada en la correspondiente a las zonas de matorrales.

Sin embargo no siempre ha sido posible diferenciar estas dos cubiertas pues, en determinados casos, a causa de que las imágenes de la segunda época correspondían a invierno, presentaban muchas sombras y era muy difícil detectar, con exactitud, el perímetro de la área afectada y, más aún, diferenciar las dos cubiertas. En otros casos, por el hecho de que una de las dos superficies afectaba a poca extensión, no se la ha intentado cuantificar a causa de las inexactitudes asociadas a los pixels impuros.

Un último punto que queda por comentar sobre los resultados obtenidos

está en relación con la cuantificación de las superficies quemadas. Es preciso exponer que las valoraciones en hectáreas se han deducido directamente a partir del número de pixels implicados, y teniendo presente la dimensión nominal de un pixel como 30m x 30m. Los resultados son, pues, una aproximación a la realidad, ya que no se ha tenido en cuenta el relieve. Sin embargo, esta incorrección podrá solucionarse en un cercano futuro pues el mismo ICC está estudiando la incorporación del DTM a los datos multiespectrales.

8.- CONCLUSIONES

La información multiespectral registrada por el sensor TM del satélite LANDSAT-5 resulta adecuada para detectar y cuantificar las extensiones forestales afectadas por los incendios.

El efecto radiométrico de los incendios se puede resumir como un aumento de la reflectancia en todos los canales espectrales del sensor TM, excepto en el canal 4, en el cual se produce una disminución provocada por la desaparición de la clorofila. Los mejores canales para registrar los incendios son los canales 3,4,5 y 7.

Las combinaciones de canales C3/C4 y C5/C4 detectan con toda claridad las áreas forestales quemadas, en contraste con su entorno no afectado. La combinación en el falso color originado por los canales 4,5 y 7 representados en rojo, verde y azul, respectivamente, pone de manifiesto el perímetro y la extensión de los incendios.

La diferenciación entre las superficies de bosque y de matorral, afectadas por los incendios, se puede establecer con un proceso de clasificación a partir de un archivo multitemporal construido con las cuatro variables siguientes: C3/C4 y C5/C4 de una imagen posterior al incendio, y C4, C5 de otra imagen anterior a él.

El uso de imágenes de finales de otoño o de invierno no resulta demasiado adecuado por aparecer, precisamente en las áreas montañosas, extensas superficies enmascaradas por las sombras originadas por el relieve y por la reducida altura del sol sobre el horizonte. Además, muchos espacios cubiertos de vegetación natural y muchos campos agrícolas se encuentran secos en estas fechas del año, ocasionando una respuesta espectral similar a la de las áreas forestales devastadas por los

incendios. Es preferible, pues, usar imágenes registradas en sucesivas primaveras para efectuar este tipo de estudios con una secuencia anual.

La detección de varias clases espectrales dentro de una misma área homogénea quemada hace suponer la existencia de correlaciones entre el grado de afectación producida por el incendio y su consecuencia espectral, correlación que no ha sido posible analizar en este estudio.

Los requerimientos indicados anteriormente acerca de la exactitud, en los comunicados oficiales, de la referencia geográfica de los lugares donde se producen los incendios, no invalidan en modo alguno este estudio. En una nación como Catalunya donde, por su extensión y por su ordenación territorial, no existen lugares extremadamente difíciles de alcanzar, las técnicas de percepción remota no han de usarse para descubrir las áreas quemadas sino para ayudar a cartografiar y a cuantificar los espacios afectados, sin precisar del enorme esfuerzo en cuanto a personal y a dedicación que requiere la metodología tradicional. Además, una vez efectuado el estudio para 1984, han quedado establecidas una serie de bases que facilitarán su repetición en años consecutivos y, a la vez, será factible estudiar la dinámica de los espacios forestales quemados en relación a su regeneración o erosión, información que podrá usarse como orientación de las actuaciones de repoblación forestal o de planificación territorial.

9.- EDICION DE LOS RESULTADOS

Si bien un resumen de los resultados obtenidos ha sido expuesto en la tabla 3, se ha decidido editarlos en tres formatos distintos, de acuerdo con sus diversas posibilidades de utilización:

a.-Esquema de Catalunya a escala 1:1000000 con la limitación comarcal y la situación geográfica de los incendios mayores de 10 ha producidos en el año 1984. En este mapa se han diferenciado cuatro categorías de incendios, de acuerdo con su superficie detectada:

- Incendios superiores a 1000 ha
- Afectando entre 100 y 1000 ha
- Afectando entre 50 y 100 ha
- Afectando entre 10 y 50 ha

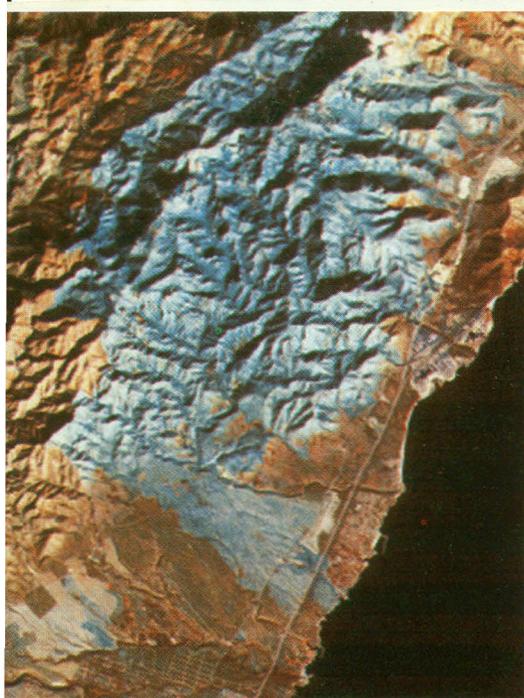
b.-Cartografía 1:50000 de los principales incendios. Se ha desarrollado la metodología para representar los incendios sobre la cartografía convencional a esta escala. Como ejemplo se incluye el incendio de Tordera (figura 4). A partir de una imagen impresa en blanco y negro sobre papel a escala 1:50000, correspondiente al resultado de la clasificación radiométrica, se ha construido una transparencia tramando en gris los pixels identificados como superficies forestales quemadas, y se ha superpuesto al mapa MTN adecuado.

c.-Tabla resumen de las superficies quemadas por comarca. Se indican las extensiones globales detectadas sobre los incendios mayores de 10 ha, por lo que no se refiere a la totalidad de los incendios producidos. La edición de esta tabla ha supuesto la digitalización de los contornos comarcales, y su superposición a los archivos de clasificación, con posterior identificación de todos los pixels pertenecientes a las clases espectrales etiquetadas como espacios quemados dentro de cada comarca.

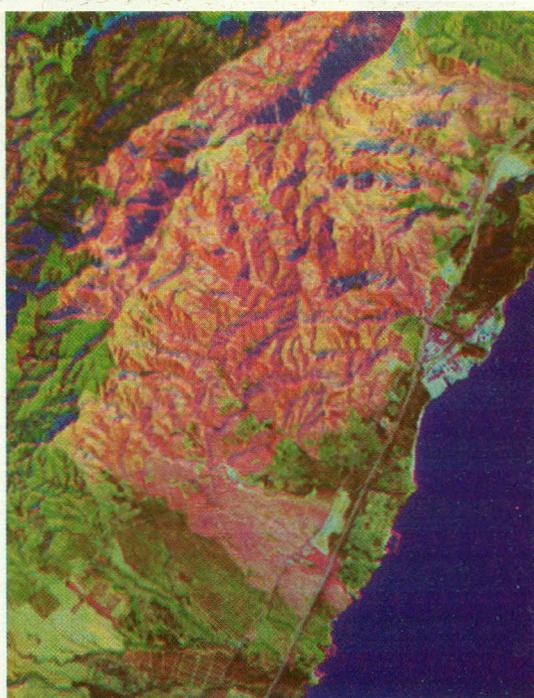
10.- COLABORACIONES

Es preciso reconocer las colaboraciones prestadas por la Dirección General del Medio Rural y por la Dirección General de Prevención y Extinción de Incendios y Salvamentos que nos han facilitado la información de sus "Partes de Incendios" correspondientes al año estudiado, así como otras informaciones altamente provechosas para la ejecución del trabajo. También hemos de reconocer las ayudas prestadas por diversos negociados del mismo ICC que finalmente posibilitaron la edición de los resultados.

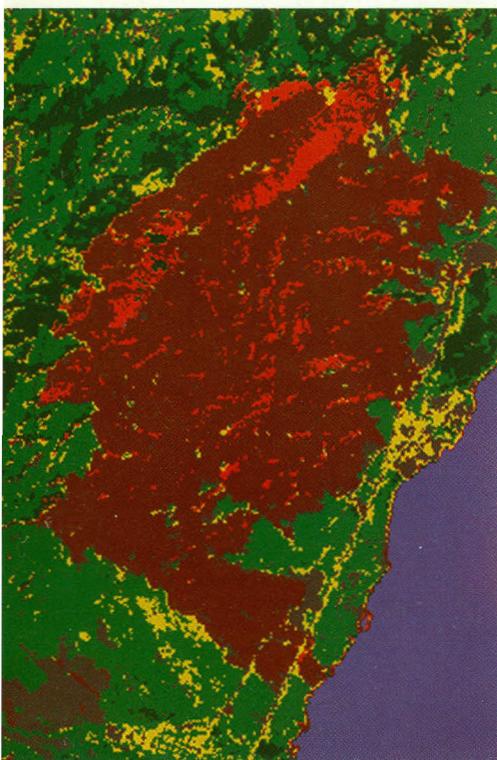




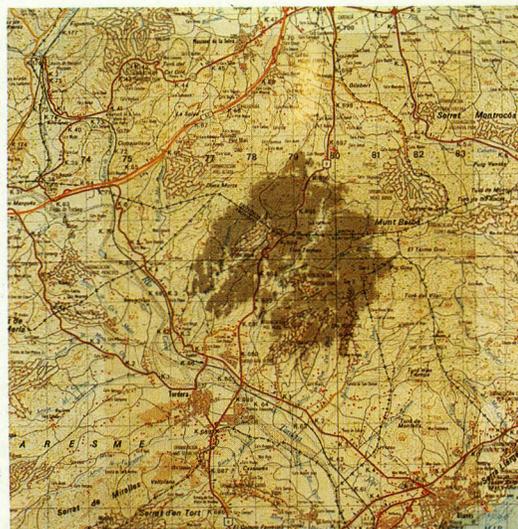
Fotografía 1. Imagen correspondiente a la zona de Vandellòs, según la combinación de los canales 4, 5, 7 del sensor TM registrados el 1-11-84. En tonalidades azules se detecta claramente el área afectada por el incendio del 15-9-84.



Fotografía 2. Imagen en falso color de la misma zona anterior, generada a partir de las combinaciones C3/C4, C5/C4 de la escena TM del 1-11-84 y del canal 4 de la escena del 10-6-84.



Fotografía 3. Resultado del proceso de clasificación del archivo multitemporal de la zona de Vandellòs. Las extensiones quemadas se identifican en marrón y en rojo, según correspondan a matorrales y a bosque, respectivamente.



Fotografía 4. Cartografía del área afectada por el incendio del 10-2-84, producido en el término municipal de Tordera. La extensión detectada en el proceso de quemada ha sido superpuesta al mapa n-365 de la serie L del Servicio Geográfico del Ejército. Reducción fotográfica.



BIBLIOGRAFIA

Hitchcock H.C., Hoffer R.M., 1974, Mapping a recent forest fire with ERTS-1 MSS data, LARS Information Note 032674, Purdue University West Lafayette, Indiana.

1980, La télédétection des forêts, Les cahiers de l'OP i T 3er trimestre. ISSN 01 81-533 Paris.

Minick G.R., Shain W.A., 1981, Comparison of satellite imagery and conventional aerial photography in evaluating a large forest fire, Proceedings, Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium, pag. 544-546, Purdue University, West Lafayette, Indiana.

Dougedroit A., Cartographie et incendies de forets en region Provence-Alpes-Cote d'Azur, 1981, Mediterranée, Revue géographique des pays méditerranéens, Tome 42,2.3, 1981. Pg. 93-94, CNRS.

Tanaka S., Kimura H., 1983, Preparation of a 1:25.000 Landsat map for assessment of burnt area on Etajima Island, International Journal of Remote Sensing, Vol.4, n° 1, pag. 17-31.

Richards J.A., Thematic mapping from multitemporal image data using the principal components transformation, Remote Sensing of Environment, 16:35-46.

Husson A., Télédétection des incendies de forêt en Corse entre 1973 et 1980, 1983, Mediterranée, Revue géographique des pays méditerranéens, 1.2. 1985 pag. 53-59.

Canavesse A., Dagorne A., 1985, Evaluation des zones forestiers incendiées par IR couleur aéroportée, Photointerpretation 1985-5, set-oct. 5/3.

Horler D.N.H., Ahern F.J., 1986, Forestry information content of Thematic Mapper data, International Journal of Remote Sensing, Vol. 7, n° 3, pg. 405-428.

Digital fire mapping in Australia by NSCA, Daedalus International Newsletter, Vol. 7, n° 1, April 1986.

Arbiol R., Romeu J., Viñas O., Detecció i avaluació de les superfícies forestals cremades durant l'any 1984 a Catalunya, mitjançant tècniques de teledetecció, 1987, Revista Catalana de Geografia, n-4, març 1987, Vol. II, pag. 21-45.