ESTUDI DE LA DINÀMICA DE REGENERACIÓ FORESTAL A PARTIR DE DADES DEL SATÈL·LIT LANDSAT-5

Maria Pery i Ventosa
Llicenciada en Biologia. Direcció General del Medi Natural

Oriol Viñas i Folch
Llicenciat en Biologia. Institut Cartogràfic de Catalunya

Estat actual i noves perspectives

Ja és sabut que els incendis són un dels principals elements desforestadors que afecten el conjunt de l'àrea mediterrània, cosa que fa que no calgui aprofundir sobre l'impacte que produeixen en molts dels nostres boscos.

Un cop finalitzat l'incendi, el problema que es planteja és com recuperar les àrees desforestades, i s'ha de valorar si la regeneració natural és suficient per garantir la recuperació de la cobertura arbòria o bé si cal efectuar alguns tractaments dirigits a accelerar el procés de reforestació.

Per tot això, és clar que només el coneixement profund de quines són les àrees afectades pels incendis i quina és la seva evolució posterior ens permetrà valorar la magnitud del seu impacte i les accions que posteriorment s'hauran de fer.

Aquestes valoracions, fins enguany, s'han realitzat a partir de dades obtingudes sobre el terreny. En l'actualitat, però, la presència de noves eines que permeten extreure informació de les dades digitals captades pels satèl·lits d'observació de la Terra obre noves possibilitats a l'hora de planificar el sistema d'avaluació d'àrees cremades.

A Catalunya les tècniques de teledetecció han estat utilitzades des de fa més d'una dotzena d'anys. En el camp forestal, concretament, han permès cartografiar i quantificar les superfícies cremades des de 1986 (ARBIOL, 1987). Ja com a conclusió dels primers estudis s'indicà la possibilitat d'usar les dades enregistrades pel sensor TM (*Thematic Mapper*) del satèl·lit LANDSAT per cartografiar intensitats diverses d'afectació dins de les superfícies forestals cremades, car els matisos detectats ho suggerien.

Amb aquests antecedents, l'any 1989 se signà un conveni entre l'Institut Cartogràfic de Catalunya i la Direcció General del Medi Natural destinat a analitzar l'adequació de les dades TM per detectar i cartografiar l'evolució de tres tipus de cobertes forestals molt freqüents a Catalunya (bosquines-matolls, pinedes-alzinars i suredes) afectades per incendis. Concretament, l'estudi s'efectuà sobre les àrees cremades pels incendis de Garraf (05.07.1982), de Talamanca (19.07.1983) i de Tordera (10.02.1984), i es basà en imatges TM ja disponibles a l'ICC.

Capacitat regenerativa dels nostres boscos

Des d'un punt de vista ecològic, l'impacte del foc en els boscos és d'una importància que no cal discutir. Tot incendi produeix greus efectes en el conjunt de l'ecosistema. Alguns d'aquests efectes, encara que són molt importants, no són gens evidents, com per exemple les repercussions en el sòl; d'altres, en canvi, manifesten tota la seva gravetat, com és el cas dels efectes sobre la vegetació.

Després d'un incendi la vegetació queda totalment calcinada i es pot produir una quasi total denudació del terreny. Aparentment, la coberta vegetal ha mort, però, de vegades, la realitat és una altra. Si es crema un bosc d'alta muntanya, una fageda, una pineda de pi negre, etc. les capacitats regeneratives són gairebé nul·les. Altra cosa succeeix si es crema un bosc de característiques mediterrànies; no s'ha d'oblidar que precisament el foc és un dels factors que han condicionat la distribució de moltes comunitats dins les àrees mediterrànies, ja que aquestes comunitats disposen de mitjans suficients per a poder-se recuperar després d'un incendi.

Encara que no es pot generalitzar, perquè són molts els factors que condicionaran els efectes que produirà un incendi, factors tant propis de la comunitat vegetal com circumstancials del moment en què es produeix el foc, la majoria de les comunitats vegetals mediterrànies que han patit un incendi entraran immediatament en un lent procés de recuperació a partir de mecanismes intrínsecs a la pròpia comunitat.

Els mecanismes adaptatius que presenten les espècies vegetals mediterrànies per resistir el foc són, principalment:

- Facultat de rebrotar, ja sigui d'arrels, de soca, etc. Com a exemples tenim l'arboç (*Arbutus unedo*) i l'alzina (*Quercus ilex*).
- Termodehiscència dels fruits, com s'esdevé a la pinya del gènere *Pinus*, que allibera les llavors.
- Capacitat de germinar després del foc pel fet de tenir un important "stock" de llavors en el sòl, com és el cas de les estepes.
- Port monopòdic que pot protegir la capçada de l'arbre si el foc no és gaire intens, tal com fa el pi pinyer.
- Protecció dels teixits vius per la possessió d'escorces gruixudes, com és el cas del suro a l'alzina surera, la qual cosa li permet rebrotar de capçada encara que la defoliació hagi estat total.
- Possessió de tiges subterrànies, bulbs, etc. que permeten a la planta de sobreviure encara que mori la seva part aèria.



Figura 1: Situació de les àrees afectades pels incendis estudiats:

1. Incendi de Tordera: Superfície 1 407 hectàrees. Data 10.02.1984.
2. Incendi de Talamanca: Superfície 1 331 hectàrees. Data 19.07.1983.
3. Incendi de Garraf: Superfície 9 393 hectàrees. Data 05.07.1982.

– Cicles reproductius curts (capacitat de donar flor i fruit en terminis molt breus); un exemple és el matapoll (*Daphne gnidium*).

Ara bé, un punt molt important a tenir en compte és la repetició dels incendis, ja que la capacitat regenerativa disminueix en el cas de focs repetits i això implica el manteniment de graus de maduresa del sistema cada cop més baixos.

Característiques de les zones d'estudi

En qualitat d'estudi pilot es decidí analitzar tres tipus de cobertes. Així, s'ha triat la zona del massís de Garraf afectada per l'incendi de 1982 com a exemple de coberta de matollar; com a exemple de sureda, s'ha escollit l'àrea del terme municipal de Tordera cremada l'any 1984; i la del terme municipal de Talamanca cremada l'any 1983 ha estat triada com a exemple de coberta de pineda-alzinar. A la *figura 1* s'esquematitza la situació dels tres incendis dins de Catalunya.

Incendi de Tordera

– Característiques de l'incendi

Segons les dades del comunicat oficial d'incendi, tingué lloc el 10 de febrer de 1984 i es cremaren 1 042 hectàrees del terme de Tordera (Barcelona), 325 hectàrees del de Maçanet de la Selva (Girona), i 40 hectàrees del de Blanes (Girona).

– Vegetació afectada

La zona que va ser afectada pel foc es troba dins d'una àmplia franja que s'estén paral·lela a la costa i s'uneix amb la petita serralada anomenada Marina de la Selva i, més al nord, amb les Gavarres. Aquesta és una zona de sòls saulonosos i on la vegetació present més abundant és la sureda, sureda que pot trobar-se en diferents graus de maduresa, d'explotació, etc., essent en molts llocs més una brolla silicícola arbrada que una sureda pròpiament dita. Les espècies més representatives en aquesta comunitat són:

- *Estrat arbori:* surera (*Quercus suber*), pi pinyer (*Pinus pinea*), pi pinastre (*Pinus pinaster*), roure martinenc (*Quercus pubescens*); les dues últimes espècies són les menys representades a la comunitat.
- *Estrat arbustiu:* arboç (*Arbutus unedo*), bruc d'escombres (*Erica scoparia*), bruc boal (*Erica arborea*), estepa borrera (*Cistus salviifolius*), estepa negra (*Cistus monspeliensis*).
- *Estrat herbaci:* llistó (*Brachypodium retusum*), roja (*Rubia peregrina*), lligabosc (*Lonicera implexa*).

La sureda és una comunitat caracteritzada per una alta heliofília, la qual cosa li confereix un important grau de pirofitisme. La majoria de les espècies que la componen estan adaptades a recuperar-se després del foc, ja sigui per germinació, per capacitat de rebrotar, etc. Ara bé, en aquesta comunitat cal destacar el cas de la surera, espècie perfectament adaptada al foc gràcies a la possessió d'una escorça gruixuda i aïllant, el suro; aquesta adaptació és la que li permet rebrotar de capçada, essent de les poques espècies arbòries presents en els nostres boscos que presenta aquesta característica. Així, després del foc trobem que la comunitat es va reconstruint a partir de les espècies que s'hi trobaven anteriorment, els quals entren en un procés d'autosuccessió. Malgrat això, i a causa del tipus de sòl, aquesta zona és altament erosionable durant les primeres fases després de l'incendi, i els efectes de l'erosió s'observen especialment a les zones culminants, camins, llocs amb forts pendents, etc.

– Accions portades a terme posteriors al foc

S'ha de destacar la repoblació feta a la zona afectada que pertany al terme de Maçanet de la Selva i que se situa al costat oest de la carretera N-II. Aquesta repoblació s'ha fet mitjançant terrasses durant els anys 1987 i 1988, essent les espècies utilitzades *Pinus pinea*, *Pinus pinaster* i *Quercus suber*.

Incendi de Talamanca

– Característiques de l'incendi

Segons el comunicat oficial d'incendi, es produí el 19 de juliol de 1983 i afectà 1 331 hectàrees del terme de Talamanca.

– Vegetació afectada

La zona afectada es trobava coberta per una vegetació de característiques calcícoles i englobada dins del grup de les pinedes secundàries.

Potencialment, aquesta zona agafa part de dues àrees: l'àrea de distribució de l'alzinar continental i l'àrea de la roureda seca de roure martinenc; no obstant això, aquestes comunitats només es troben ben representades en molts pocs punts, ja que secularment s'han vist substituïdes per pinedes de pi blanc en el primer cas, i de pinassa en el segon, donant lloc en moltes ocasions a brolles arbrades.

Així, la comunitat secundària que podem trobar en el lloc de les comunitats climàtiques presenta com a espècies més representatives:

- *Estrat arbori:* pi blanc (*Pinus halepensis*), pinassa (*Pinus nigra*), alzina (*Quercus ilex*), roure martinenc (*Quercus pubescens*).

- *Estrat arbustiu:* garric (*Quercus coccifera*), romaní (*Rosmarinus officinalis*), llentiscle (*Pistacia lentiscus*), roldor (*Coriaria myrtifolia*), càdec (*Juniperus oxycedrus*), ginebre (*Juniperus communis*), gatosa (*Ulex parviflorus*).
- *Estrat herbaci:* llistó (*Brachypodium retusum*), roja (*Rubia peregrina*), heura (*Hedera helix*).

– Accions portades a terme posteriors al foc

Part de la zona estudiada ha estat reforestada durant la primavera dels anys 1988 i 1989, principalment, mitjançant els mètodes d'aterrassament i per sots, utilitzant com a espècies *Pinus nigra*, *Pinus halepensis* i algun *Quercus pubescens* i *Quercus ilex* en bossa.

Incendi del Garraf

– Característiques de l'incendi

Segons les dades del comunicat oficial d'incendi, es produí el 5 de juliol de 1982 i afectà més de 9 000 hectàrees, corresponents a sis municipis: Begues, Olesa de Bonesvalls, Olivella, Sitges, Castelldefels i Sant Climent de Llobregat.

– Vegetació afectada

L'incendi va afectar principalment pinedes secundàries de pi blanc (*Pinus halepensis*) i matollars constituïts bàsicament per garric, romaní, llentiscle, etc.

Ara bé, aquesta zona es troba en un enclavament que correspon als dominis de l'alzinar i del garric i margalló:

- Domini de l'alzinar: s'estén per les muntanyes interiors del massís. Actualment la vegetació potencial es troba substituïda per pinedes secundàries de pi blanc, tot i que es poden trobar, de vegades, restes d'alzinar. La vegetació més abundant és un mosaic de brolles de romaní, bruc d'hivern, màquies i garrigues. És per això que en molts casos, més que de pinedes, s'ha de parlar de brolles arbrades.
- Domini de la màquia de garric i margalló: s'estén per les muntanyes del Garraf més pròximes al mar. En l'actualitat, les màquies de garric i margalló es veuen substituïdes majoritàriament per brolles de romaní i bruc d'hivern, màquies i brolles amb pi blanc, comunitats que en molts casos ocupen antigues feixes fetes en un intent de donar un caire agrícola al massís, i que després es van abandonar.

Així, ens trobem amb una zona que ha estat secularment molt modificada per l'acció de l'home, i cal tenir en compte que els mateixos incendis han desenvolupat un paper molt important en aquesta acció modificadora.

Actualment, en el conjunt del massís, podem trobar immerses en un paisatge càrstic les següents espècies calcícoles més representatives:

- *Estrat arbori:* pi blanc (*Pinus halepensis*), alzina (*Quercus ilex*), ullastre (*Olea europaea*), garrofer (*Ceratonia siliqua*).
- *Estrat arbustiu:* margalló (*Chamaerops humilis*), bruc d'hivern (*Erica multiflora*), càdec (*Juniperus oxycedrus*), garric (*Quercus coccifera*), farigola (*Thymus vulgaris*), estepa blanca (*Cistus albidus*), gatosa (*Ulex parviflorus*), llentiscle (*Pistacia lentiscus*), romaní (*Rosmarinus officinalis*).
- *Estrat herbaci:* carritx (*Ampelodesma mauritanicum*), fenàs de marge (*Brachypodium phoenicoides*), llistó (*Brachypodium retusum*), jonça (*Aphyllantes monspeliensis*), lligabosc (*Lonicera implexa*).

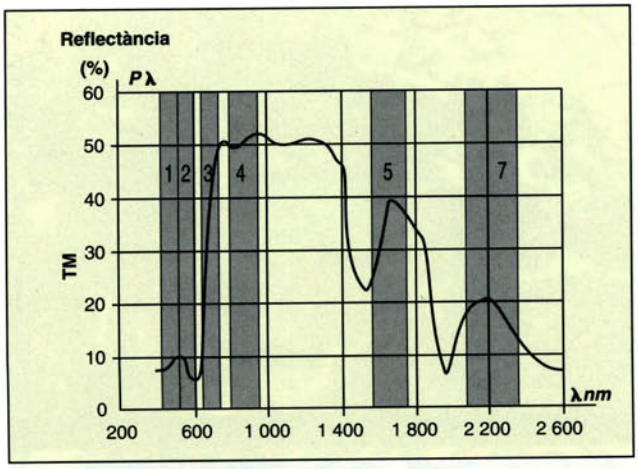


Figura 2: Resposta espectral típica de la vegetació, superposada a les franges de l'espectre electromagnètic corresponents als canals espectrals del sensor TM del satèl·lit LANDSAT

Característiques de les imatges de satèl·lit

La decisió d'utilitzar les imatges captades pel sensor TM del satèl·lit LANDSAT-5 per analitzar l'evolució dels espais forestals cremats, s'ha recolzat en un conjunt de característiques inherents a aquests tipus de dades que les fan molt adequades.

En primer lloc, proporcionen informació sobre la radiació visible i infraroja reflectida per la coberta del sòl. Tal com es representa a la *figura 2*, la vegetació posseeix un màxim de reflectància situat a la franja de l'infraroig i un mínim a la del color vermell, franges on es localitzen els canals espectrals TM4 i TM3, respectivament. L'anàlisi relativa d'aquests dos valors (índex de vegetació) permet deduir la intensitat de l'activitat fotosintètica de la vegetació i caracteritzar el seu estat.

Una segona característica es relaciona amb l'origen d'aquestes dades. Pel fet d'ésser enregistrades per plataformes orbitals, existeix una periodicitat de captura d'informació. Així, el satèl·lit LANDSAT-5 passa cada setze dies sobre les mateixes àrees geogràfiques i enregistra una imatge a la mateixa hora solar. D'aquesta manera són molt útils per a analitzar fenòmens dinàmics.

El detall d'aquesta informació resulta adequat per a estudiar ambients forestals. Malgrat que el satèl·lit se situa a més de 700 km d'altura, la sensibilitat dels intruments de captura permet oferir una resolució (pixel) de 30 m x 30 m en el cas del sensor TM, o sigui, de menys de 0,1 hectàrea.

Finalment, com que les dades es poden aconseguir amb format digital, es poden tractar amb els mitjans informàtics i beneficiar-nos, doncs, de les capacitats que aquests ofereixen (operacions algebraiques, elevada velocitat de càlcul, integració a bancs de dades, etc.).

Metodologia

Molt resumidament, el treball ha consistit a segmentar les àrees d'estudi en una sèrie de zones amb un comportament espectral evolutiu similar, donat per l'anàlisi dels índexs de vegetació en les dues dates posteriors als incendis. Posteriorment, la comparació automàtica amb la informació de camp derivada sobre un conjunt de parcel·les visitades ha permès caracteritzar aquestes zones i cartografiar l'estat de tota l'àrea cremada.

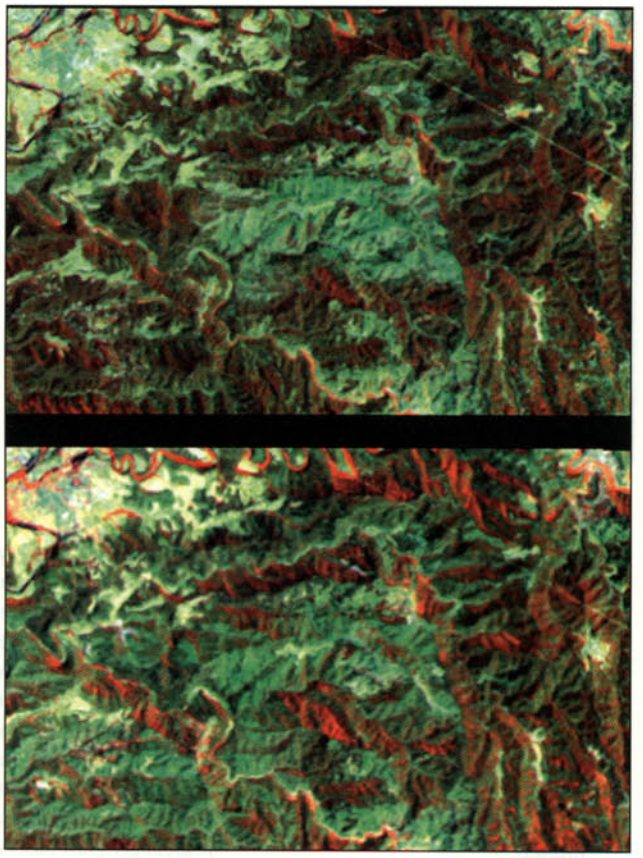


Figura 3: Representació en fals color de l'àrea de Talamanca (incendi ocorregut el 19.07.1983), segons la combinació RGB feta amb els canals TM 4, 5, 3. La coberta vegetal es manifesta en vermells per la seva intensa resposta en el canal infraroig (TM4) assignat al color vermell; els colors blaus i blancs identifiquen espais nus. La imatge superior correspon a l'enregistrada el 28.07.1984 i la inferior, el 19.07.1989

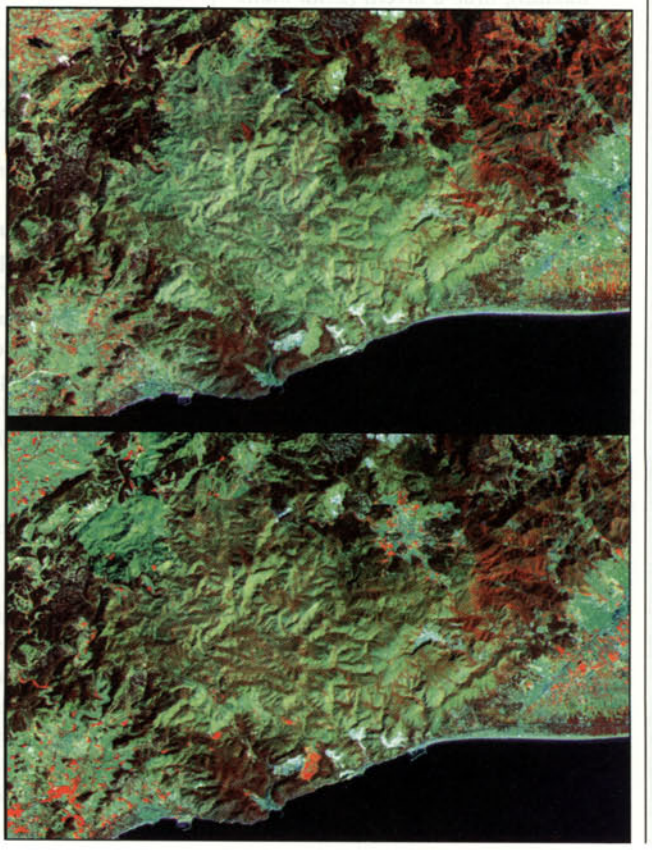


Figura 4: Representació en fals color (TM4, 5, 3) de l'àrea de Garraf (incendi ocorregut el 05.07.1982), segons les dades captades el 28.07.1984 (imatge superior) i el 16.04.1987 (imatge inferior). Observi's l'augment de tonalitats rogenques a la segona imatge, conseqüència de la regeneració existent. Vegi's també la detecció d'un segon incendi en el vèrtex superior esquerre de la segona imatge, incendi ocorregut entre les dues dates analitzades

Preparació de la informació de satèl·lit i tractament

El satèl·lit LANDSAT-5 passa cada setze dies sobre les mateixes àrees geogràfiques i capta una imatge multispectral que comprèn una extensió al terreny de 180 km x 180 km. Per a cada element de resolució (pixel de 30 m x 30 m en el cas del TM) s'enregistra la seva radiància en set franges de l'espectre segons una escala de valors compresa entre el 0 i el 255. Aquesta informació és enviada a les estacions receptores i sotmesa a determinats processos de correcció, i posteriorment és gravada en cintes magnètiques i conservada als centres de distribució que estan repartits pels continents. Pel que fa a Catalunya, les imatges enregistrades són servides sota comanda des de Fucino (Itàlia) mitjançant l'actuació del representant oficial d'EOSAT (*Earth Observation Satellite Company*) a Espanya.

Des de la seva creació, l'ICC ha efectuat nombrosos estudis amb dades TM (cartografia en fals color a escala 1:100 000 i inferior, anàlisi estadística dels principals conreus agrícoles de Catalunya, cartografia temàtica de Catalunya en vint categories, detecció i cartografia dels incendis forestals, principalment), la qual cosa ha determinat, en aquests moments, l'existència d'un fons notable d'imatges disponibles per a qualsevol aplicació.

La primera etapa ha consistit a escollir, d'entre aquestes imatges, les millors d'acord amb la data i la manca de núvols. Per a estudiar l'incendi ocorregut el dia 05.07.1982 sobre el massís de Garraf se seleccionaren les imatges enregistrades pel sensor TM els dies 28.07.1984 i 16.04.1987; l'incendi del 19.07.1983 que afectà el municipi de Talamanca ha estat estudiat amb les imatges dels dies 01.02.1983, 28.07.1984 i 19.07.1989; l'incendi que el dia 10.02.1984 afectà els termes municipals de Tordera i Maçanet de la Selva s'ha analitzat amb les imatges dels dies 03.06.1984 i 16.09.1987.

Seguidament, s'ha extret de les cintes magnètiques seleccionades el conjunt de dades referides als canals TM3 i TM4, que comprenen les àrees d'estudi, i mitjançant uns programes adients han estat corregides geomètricament perquè adoptessin el sistema de coordenades UTM. D'aquesta manera hem construït set arxius, tres corresponents a Talamanca (TAL83, TAL84, TAL89), dos a Garraf (GAR84, GAR87) i dos més a Tordera (TOR84, TOR87), els quals són superposables a mapes editats en aquella projecció. A les

figures 3, 4 i *5* es representen les tres àrees d'estudi a partir de les dades enregistrades pel satèl·lit en les diverses dates.

Tal com s'ha dit anteriorment, la relació entre els valors digitals corresponents a aquests dos canals seleccionats és indicativa de l'activitat fotosintètica de la vegetació. Així doncs, sobre cada un dels set arxius creats s'ha calculat per a cada pixel el denominat Índex Normalitzat de Vegetació C x (TM4–TM3/TM4+TM3). A la *foto 1* es pot veure el resultat d'aplicar aquest índex a les imatges captades el 1984 i el 1987 sobre l'àrea de Garraf.

A continuació s'han reunit aquests arxius per construir els arxius multitemporals de cada àrea i se'ls ha sotmès a un procés de classificació. Amb aquest procés, un cop establerta una condició de similitud, s'analitzen els valors associats a cada pixel i es constitueixen classes de pixels semblants; el resultat és una imatge segmentada en àrees de comportament espectral semblant.

En aquesta primera fase s'ha emprat una condició de similitud no gaire estricta per obtenir un nombre reduït de classes: quatre per a Tordera (ABCD), i cinc per a Garraf (LUXGE) i Talamanca (XULCG).

Per tal de poder contrastar els resultats obtinguts amb la realitat, sobre cada una d'aquestes particions s'han seleccionat diverses parcel·les amb criteris d'accessibilitat (properes a camins i a pistes) per facilitar el treball de camp. Posteriorment, les parcel·les han estat identificades i dibuixades sobre fulls de l'Ortofotomapa de Catalunya 1:5 000, o, en el seu defecte, sobre ampliacions de fotografies aèries, constituint el material de base de la campanya de camp.

En una segona fase de classificació s'ha usat una condició de similitud molt més estricta amb la finalitat d'analitzar amb molt més detall aquesta metodologia. El resultat ha donat un conjunt molt més nombrós de classes: 20 per a Tordera, 42 per a Garraf i 34 per a Talamanca. A la *taula 1* es representen les característiques de les classes espectrals obtingudes sobre l'incendi de Talamanca.

També podem caracteritzar aquestes classes mitjançant un diagrama com el mostrat a la *figura 6*, on són representades per les corbes espectrals, en aquest cas de l'incendi de Talamanca. Observi's que, malgrat la segmentació de la imatge en 34 classes espectrals, les corbes poden agrupar-se en diversos grups o famílies per la forma que adopten.



Figura 5: L'àrea de Tordera (incendi ocorregut el 10.02.1984) segons les dades TM (4, 5, 3) enregistrades el 03.06.1984 (imatge superior) i el 16.09.1987 (imatge inferior). S'hi observa clarament la recuperació de l'àrea cremada ocupada per sureres, les quals posseeixen una protecció aïllant (el suro) que els permet rebrotar amb facilitat

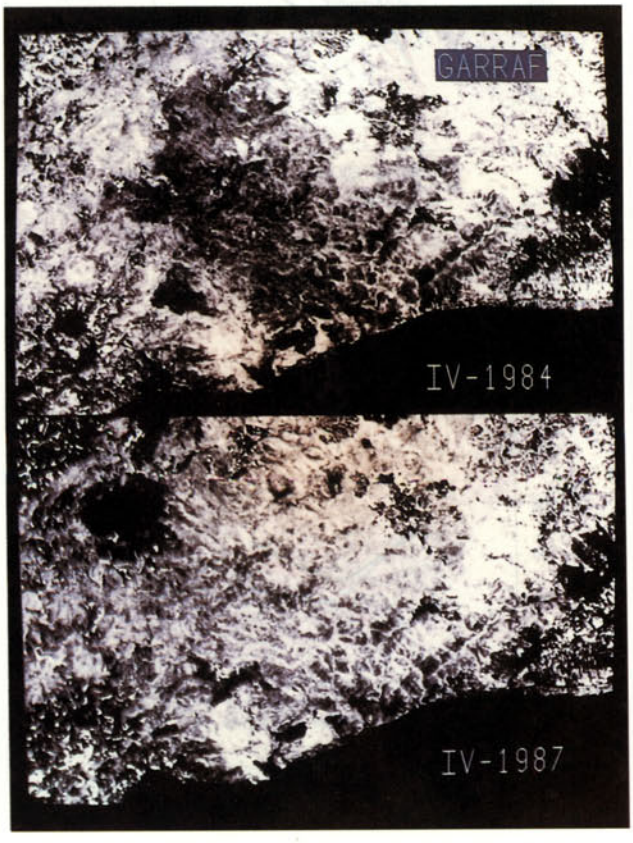


Foto 1: Índex de vegetació sobre Garraf, segons dades TM captades el 28.07.1984 i el 16.04.1987.
La gradació de negre a blanc es relaciona amb la millor activitat fotosintètica i, per tant, és explicativa de la regeneració de la coberta després de l'incendi. Observi's la detecció d'un nou incendi a l'extrem superior esquerre de la imatge de 1987
(Foto: *ICC*)

Codi	IV83	IV84	IV89	Desviació			Codi	IV83	IV84	IV89	Desviació		
1 X	000.0	000.0	000.0	0.0	0.0	0.0	18 F	142.9	157.6	151.7	3.6	3.5	3.1
2 N	145.7	167.2	170.3	3.2	3.3	3.4	19 N	132.0	167.4	138.9	4.8	5.5	6.5
3 N	152.0	160.0	157.3	2.8	3.0	3.1	20 M	163.9	184.0	182.2	4.3	3.4	4.4
4 D	146.7	147.8	152.2	3.0	3.1	2.8	21 N	136.9	184.9	183.7	4.8	3.7	3.1
5 M	148.7	176.3	175.5	3.5	3.6	3.5	22 N	137.1	176.5	176.8	3.9	3.6	3.5
6 M	131.5	169.7	169.7	4.7	4.1	4.3	23 N	133.9	153.9	158.2	3.8	4.1	3.8
7 F	155.9	153.8	151.3	3.2	3.2	3.0	24 A	155.0	154.9	164.7	3.6	3.4	2.8
8 E	147.9	135.6	140.9	4.9	3.7	3.7	25 B	160.5	148.1	157.2	4.2	3.4	3.2
9 A	145.8	149.6	160.8	3.6	3.8	3.1	26 N	255.0	173.0	174.0	0.0	2.9	1.6
10 N	141.5	161.6	161.6	3.7	3.1	3.0	27 A	137.0	157.2	171.6	4.1	4.2	4.4
11 N	156.5	166.5	168.7	3.6	3.1	3.7	28 N	147.0	172.1	133.5	6.9	5.3	4.1
12 M	150.6	184.9	184.4	3.6	4.5	4.4	29 N	158.4	168.1	155.7	3.8	3.3	4.0
13 M	161.5	175.6	175.4	4.3	4.0	3.4	30 E	162.5	144.2	147.1	3.3	4.2	3.9
14 F	138.7	142.3	147.0	3.7	4.2	4.3	31 F	148.7	151.8	141.1	4.7	4.2	4.0
15 D	163.5	161.4	159.3	3.2	3.8	3.9	32 N	160.6	174.6	166.7	4.6	3.3	3.0
16 N	145.5	170.9	161.6	4.0	3.5	3.7	33 A	150.4	153.3	174.5	4.0	5.4	4.1
17 E	152.7	141.8	149.0	2.9	3.1	3.4	34 B	129.7	146.0	154.8	4.4	4.1	4.8

Taula 1: Llistat de l'arxiu d'estadístiques derivat de la classificació realitzada sobre l'incendi de Talamanca. Les columnes indiquen la resposta espectral segons l'índex de vegetació calculat a les diverses dates i la seva desviació; el codi fa referència a l'usat en la fase d'etiquetat o agrupació de les classes

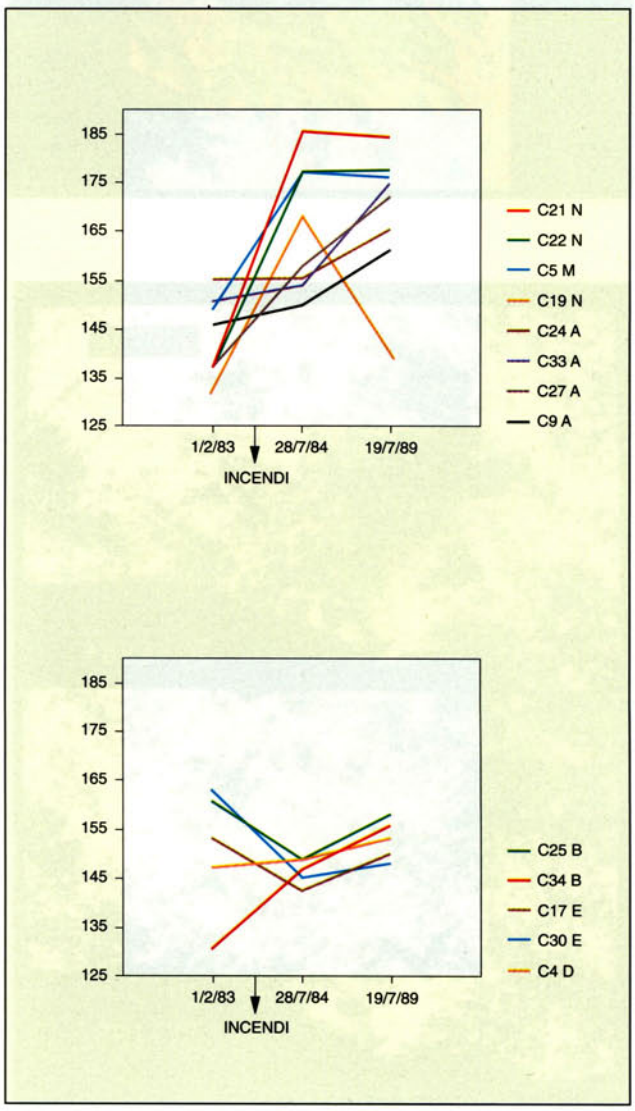


Figura 6: Corbes espectrals de Talamanca. M i N corresponen a àrees no cremades, A a les d'alta regeneració, B a les de moderada, E i D a matolls esclarissats sense regeneració. La C19 és d'una àrea cremada entre les dues darreres dates (baix IV89), i les C27 i C34 es refereixen a àrees afectades per ombres a la primera data (baix IV83), però cremades

A la fase següent s'ha procedit a etiquetar, o dotar de significat, les classes obtingudes i a reunir les semblants en grups a partir de la seva similitud espectral (corbes espectrals similars), i s'ha analitzat també la distribució espacial dels seus pixels amb el monitor de visualització. Mai, però, no s'ha usat informació de la campanya de camp, per la qual cosa la gradació usada quant a la regeneració està relacionada amb el pendent de les corbes espectrals. Aquesta reunió ha donat lloc a 8-10 grups, als quals s'ha assignat un codi alfanumèric i una etiqueta o explicació de les característiques de la coberta corresponent. Finalment, totes les classes corresponents a zones no cremades (bosc no afectat, àrees agrícoles, àrees urbanes, aigua) s'han reunit en un sol grup (codi 1). Com a conseqüència d'aquest procés, cada pixel ha quedat, finalment, associat al codi del grup, constituint-se el denominat arxiu d'agrupació. Vegi's a les *figures 7* i *8* els arxius d'agrupació obtinguts en dues de les tres àrees d'estudi.

Seguiment de camp

La campanya de camp s'ha efectuat entre 1988 i 1989, i la seva finalitat bàsica ha estat informar de l'estat en què havien quedat els estrats arbori, arbustiu i herbaci i de les possibles situacions en què es trobaven dins de cada parcel·la seleccionada. El material de camp ha consistit en els fulls de l'Ortofotomapa de Catalunya o ampliacions fotogràfiques sobre les quals s'havien dibuixat les parcel·les (72 a Garraf, 21 a

Talamanca i 18 a Tordera). A cada parcel·la se li havia associat un codi alfanumèric per indicar la classe espectral de la qual provenia i un número d'ordre. A més a més, es dissenyà un model de fitxa, per tal d'anotar-hi totes les observacions corresponents als següents paràmetres considerats:

- Situació (fons de vall, vessant, pla, zona culminant)
- Pendent
- Altitud mitjana
- Orientació
- Exposició
- Erosió observada (inexistent, moderada, alta)
- Grau de recobriment en sis grups: 1%, 5%, 15%, 35%, 65%, 85% o més
- Vegetació present (espècies més abundants, altura mitjana per estrats)

Encreuament entre l'estudi de camp i el resultat del tractament

Totes les parcel·les seleccionades per a dur a terme la campanya de camp han estat digitalitzades per a constituir un banc de dades. Seguidament, s'han extret en un format comparable al de les imatges de satèl·lit per tal de poder-les encreuar amb els arxius de classificació.

Una primera anàlisi s'ha fet entre el nivell assignat a les parcel·les (resultat de la primera fase de classificació) i les seves característiques derivades de l'estudi de camp, anàlisi que ha permès confeccionar la *taula 2*.

La segona anàlisi, efectuada amb el resultat de la segona classificació, ha permès quantificar les diverses categories detectades a l'interior de les parcel·les i ha donat la *taula 3*.

Discussió

L'anàlisi de les taules obtingudes i de les fitxes de camp permet establir uns lligams entre els estats i tipus de coberta real i el seu comportament espectral. En determinats casos les excepcions poden raonar-se considerant alguns factors, tals com la diferència d'època d'enregistrament d'alguna de les imatges de satèl·lit tractades en relació a la seva homòloga, o l'existència de fets pertorbadors, com per exemple les actuacions de reforestació dutes a terme o la presència d'incendis amb posterioritat a la segona imatge; altres vegades aquest fet s'ha de relacionar amb problemes de localització exacta de les parcel·les al damunt del material de camp (fotografies aèries ampliades) o de situació al camp.

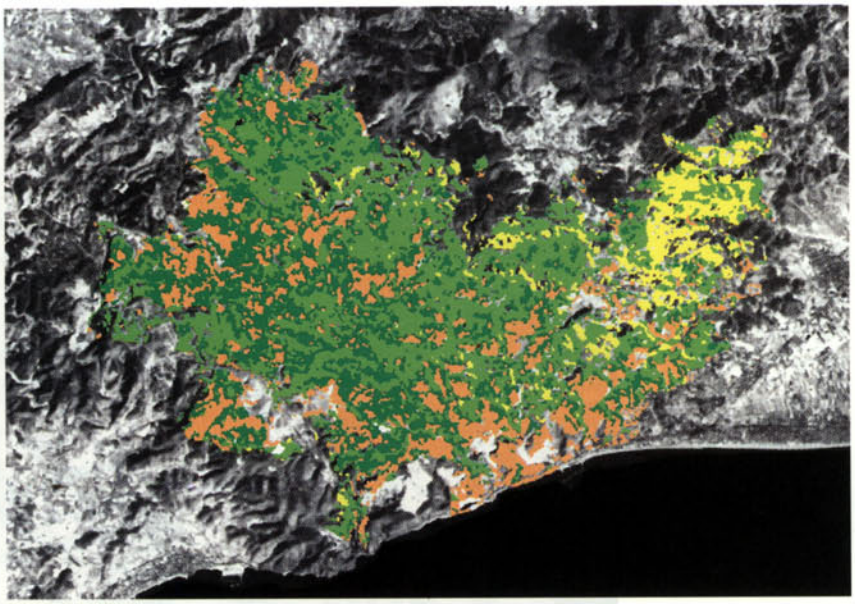


Figura 7: Cartografia dels estats de regeneració de la coberta forestal de Garraf afectada per l'incendi de 05.07.1982, segons el tractament de dades TM. Els colors groc, verd clar i verd fosc identifiquen les àrees amb elevada, moderada i escassa regeneració, respectivament, i el color marró clar, les àrees denudades

Incendi de Garraf

Com s'indica a la *taula 2a*, el resultat de la primera classificació donà lloc a uns nivells clarament relacionables amb característiques globals de les parcel·les: el nivell L identifica les parcel·les amb poc recobriment de matoll baix; el nivell E, les de recobriment superior al 85% de matoll alt; els nivells X i U corresponen a recobriments intermedis, però mentre que les parcel·les U identifiquen clarament les àrees de recobriment herbaci, les X corresponen a àrees amb vegetació arbustiva; el nivell G recull parcel·les heterogènies que tot i posseir un recobriment notable inclouen espais oberts originats per camins i bancals.

La *taula 3a* permet analitzar amb més de detall cada una de les parcel·les de camp. Altre cop es posen de manifest les relacions abans esmentades: per exemple, les parcel·les del nivell L posseeixen valors superiors al 81% del codi 45 que correspon a

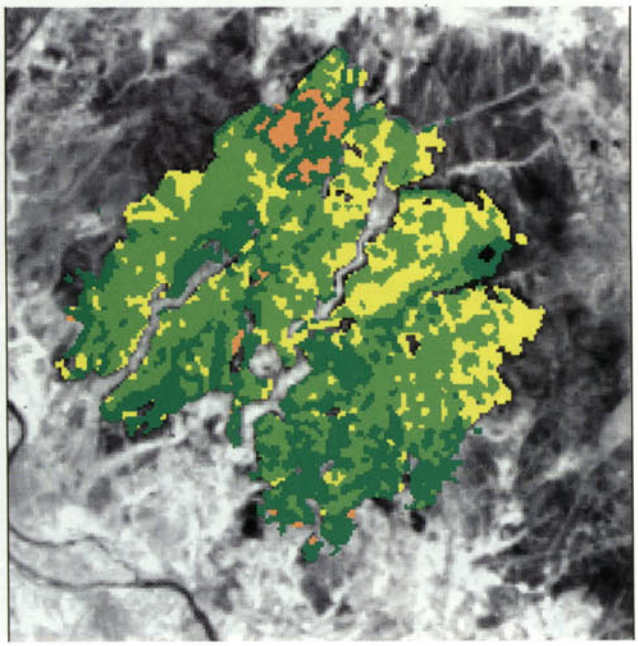


Figura 8: Cartografia dels estats de regeneració de la coberta forestal de Tordera afectada per l'incendi de 10.02.1984, segons el tractament de dades TM. Els colors groc, verd clar i verd fosc identifiquen les àrees amb elevada, moderada i escassa regeneració, respectivament, i el color marró clar, les àrees denudades



Foto 2: Visió general de la parcel·la 64, corresponent al nivell L de Garraf. El tractament digital ha donat un 94% de sòl reflectiu
(Foto: *M. Pery*)



Foto 3: Visió general de la parcel·la 43, corresponent al nivell E de Garraf, que ha donat un 100% de recobriment i un 56% de moderada regeneració; s'hi detectà un 32% d'àrea no cremada, que es confirmà al treball de camp
(Foto: *M. Pery*)

sòls reflectius (*foto 2*), mentre que les del nivell E (*foto 3*) tenen sempre un 0% de pixels d'aquest codi, amb valors notables de pixels dels codis 40 i 13 (elevada i moderada regeneració, respectivament), a la vegada que manifesten la presència d'àrees no cremades amb l'aparició de pixels del codi 1 (altres cobertes).

Si comparem els codis que apareixen en les parcel·les dels nivells X i U, s'observa que, en general, si bé s'hi troben els corresponents a àrees amb moderada i baixa regeneració (codis 13 i 15, respectivament), el primer predomina en les parcel·les del nivell U mentre que el segon ho fa en les del nivell X. Aquest fet, tenint ambdós tipus de parcel·les un recobriment similar, es pot explicar pel tipus de vegetació, car les del nivell U presenten una coberta herbàcia (*foto 4*), i per la data d'enregistrament de la segona imatge de satèl·lit (16.04.1987) posseirien major activitat fotosintètica que les del nivell X, que tenen coberta arbustiva (*foto 5*).

La presència de camins i bancals en les parcel·les G es reflecteix també amb el codi 45, i a totes es detecten intensitats de baixa a moderada regeneració.

A la *figura 7* es representa el resultat de la classificació sobre l'àrea de Garraf.

Incendi de Tordera

De la *taula 2b* es dedueix que també es detecta una correlació entre els nivells i les



Foto 4: Parcel·la 48, corresponent al nivell U de Garraf. Si es compara amb la N.62 de la foto 5, amb recobriments similars, la detecció d'una més alta regeneració a la primera reflecteix el predomini de vegetació herbàcia (Foto: *M. Pery*)

Nivell	Situació	Exposició	Vegetació	Recobriment	Excepcions destacables	Observacions
L	85% Vessant 15% Culminant	85% Solell 15% Tàlveg	90% Matoll molt baix 10% Presència tarteres	33% R=15% 59% R=35% 8% R=65%		
X	83% Vessant 11% Pla 6% Culminant	78% Solell 22% Obaga	72% Catifa matoll baix entre roques 16% Molt pi blanc de regeneració natural i vegetació més alta 12% Zona no cremada	11% R=35% 22% R=65% 67% R=85%	N.21 Cremada anteriorment matollar baix amb pins i càdecs esparços N.33 Abundant aflorament rocós	N.40 Bosc no cremat creuat per tallafocs N.45 Bastant aflorament rocós N.63 Molt aflorament rocós
E	50% Vessant 10% Pla 40% Tàlveg	20% Solell 80% Obaga	80% Matollar alt (h>1 m) de vegades algun pi no cremat 20% Bosc no cremat	100% R=85%	N.22 Cremada anteriorment N.41 Bosc no cremat N.42 Bosc no cremat N.43 Poc afectada pel foc, pins adults no cremats	N.49 Alguns pins no cremats N.50 Alguns pins no cremats N.55 Alguns pins no cremats
U	78% Vessant 22% Pla	44% Solell 56% Obaga	89% Predomini d'Ampelodesma m. 11% Predomini de Brachypodium sp.	22% R=65% 78% R=85%	N.53 Creuada per carretera	
G	50% Tàlveg 25% Vessant 25% Culminant	25% Solell 75% Obaga	75% Matollar alt 25% Predomini d'Ampelodesma m.	R=65%	N.9 Presència de bancals abandonats i camí N.20 Recremada al 1988 N.30 Recobriment baix amb aflorament rocós	Sovint ocupen àrees de conreus abandonats

Taula 2a: Característiques generals de l'incendi de Garraf

Nivell	Situació	Exposició	Vegetació	Recobriment Arbres/Arbustos		Excepcions destacables	Observacions
A	A dos vertents amb zones culminants	Solell	Vegetació arbustiva poc desenvolupada Pocs peus de suros	1%	<35%	Dues parcel·les cauen en zona repoblada	Presència de camins i sòls denudats
B	Tàlveg	Solell	Molt arbust, més alt als fondals. Capçades dels suros estretes i altes, sense arribar-hi els arbustos	20-35%	80%	N.15 Conté una zona amb poc recobriment i una altra no cremada	Pocs camins i àrees no cremades
C	Tàlveg capçades dels suros	Solell	Alta, arribant a les	85%	>85%	N.2 Té zona no cremada	Diversitat notable. A llocs secs i culminants menys vegetació
D	Variada tàlveg, turons, culminals	Solell	Capçades tupides dels suros, vegetació arbustiva poc desenvolupada	25%	11-35%		Molts camins i zones del tot denudades

Taula 2b: Característiques generals de l'incendi de Tordera



Foto 5: Parcel·la 62, del nivell X de Garraf. S'hi ha detectat un 7% de sòls reflectius i un tant per cent de regeneració inferior al detectat a la parcel·la 48 per la presència d'arbusts no totalment regenerats (Foto: *M. Pery*)

característiques globals de les parcel·les. Així, les parcel·les amb molt baixos recobriments i amb vegetació arbustiva poc desenvolupada, pràcticament mancades d'arbres, són detectades dins del nivell A; amb un segon grau de recobriment, motivat en part per la presència d'enclavaments arboris, tot i l'existència important de camins i d'àrees denudades, la relació s'estableix amb el nivell D. Els dos nivells restants corresponen a parcel·les que presenten un bon recobriment arbustiu, però que es diferencien en el distint recobriment arbori, més important en les del nivell C que en les del nivell B.

La *taula 3b* recull amb més de detall aquestes relacions. Així, les parcel·les A presenten més del 90% de pixels del codi 45 (sòls reflectius), i les màximes regeneracions (codi 40) es donen en parcel·les del nivell C, parcel·les que respecte les del nivell B tenen millor regeneració de capçada amb més alt recobriment (*fotos 6* i *7*). El millor estat de l'estrat arbori en les parcel·les C, comparat amb el de les B, que posseeixen un estrat arbustiu similar, explica la predominància del codi 40 sobre el codi 13 en les primeres.

Dins les parcel·les D es troben, bàsicament, valors elevats de pixels del codi 13 (moderada regeneració) amb presència de pixels del codi 45 (sòls reflectius), cosa que està en correspondència amb la presència d'enclavaments d'arbres i l'existència de camins i de sòls denudats, respectivament.

A la *figura 8* es representa l'àrea de Tordera amb el resultat de la classificació.

Incendi de Talamanca

Hi ha hagut molts problemes a l'hora d'estudiar el comportament espectral en relació amb les parcel·les seleccionades, motivats per les intenses operacions de reforestació efectuades amb posterioritat a l'enregistrament de les imatges de satèl·lit.

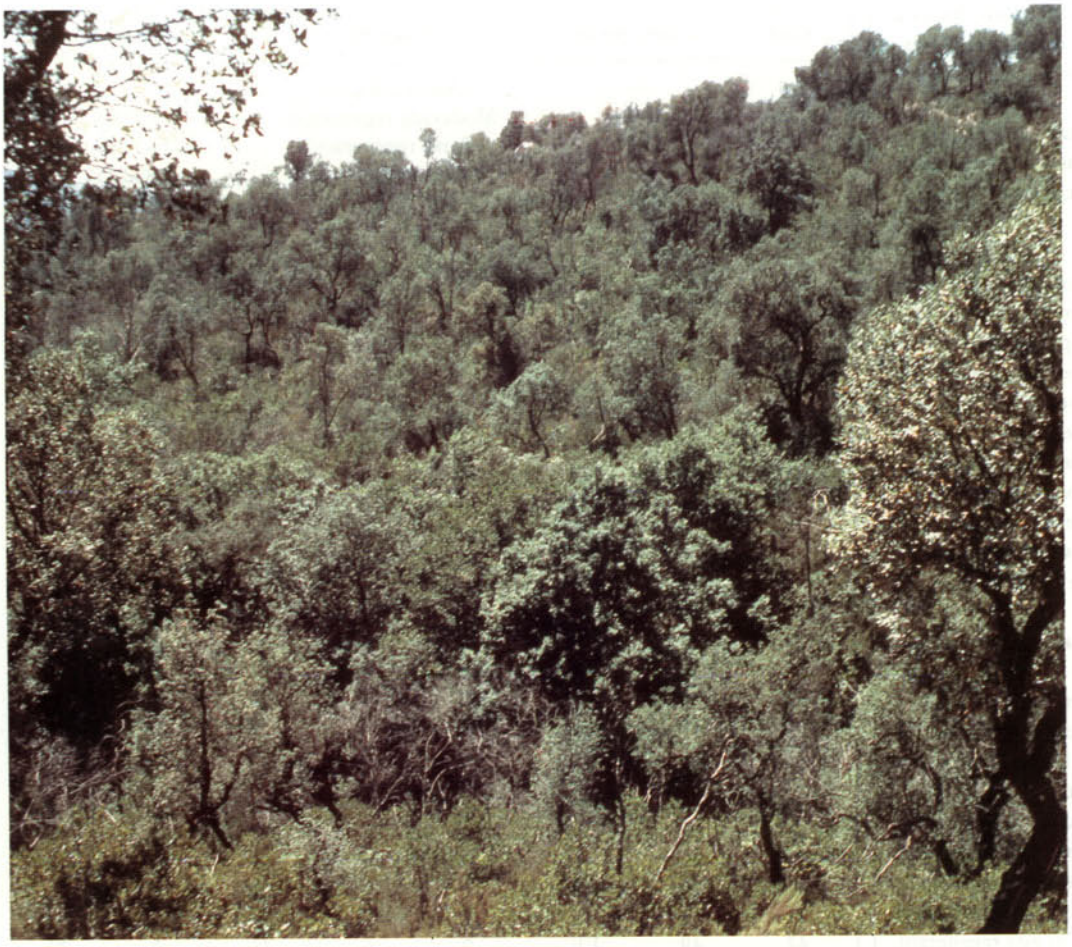


Foto 6: Parcel·la 12, del nivell C de Tordera. En comparació amb la parcel·la 7 de la foto 7, s'hi ha detectat un 48% de màxima regeneració, enfront d'un 19%. L'anàlisi de camp ha confirmat que la parcel·la 12 presenta millor regeneració i recobriment arbrat
(Foto: *M. Pery*)



Foto 7: Parcel·la 7, del nivell B de Tordera. El treball de camp confirma un 100% de recobriment, però amb una regeneració de la coberta arbrada inferior a la de la fotografia anterior
(Foto: *M. Pery*)

De les 21 parcel·les d'estudi, ha estat necessari rebutjar-ne vuit, fet que, a més a més, ha determinat que els nivells C i U resultessin fortament perjudicats fins a l'extrem de no resultar representatius. Aquestes incidències han fet que aquesta zona fos finalment descartada.

Conclusions

Els resultats obtinguts d'aquest estudi permeten deduir les conclusions següents:

La metodologia emprada detecta amb molta exactitud les àrees denudades. Així, doncs, les àrees reflectives com a resultat de la pèrdua total de la vegetació a causa de l'incendi són detectades i cartografiades amb molta fiabilitat, cosa que pot resultar molt útil a l'hora de determinar les zones més potencialment erosionables i orientar així les actuacions de reforestació més urgent.

També els espais no afectats pel foc són diferenciables amb tota claredat i, per consegüent, tant el perímetre de la zona cremada com la identificació d'illots que han quedat resguardats de l'incendi es poden cartografiar amb exactitud.

Quant als espais afectats pels incendis, però que presenten regeneració, es detecten amb certa exactitud les seves intensitats, encara que no es pot determinar quin tipus de vegetació és el que s'hi està regenerant, és a dir, si es tracta exclusivament de l'estrat herbaci, arbustiu o arbrat; així, una zona on s'ha regenerat l'estrat herbaci pot ésser detectada com a àrea amb elevada regeneració tot i que no n'hi hagi a l'estrat arbori. En qualsevol cas, sí que s'ha trobat una bona correlació entre la densitat de cobertura i la resposta espectral.

Tal com s'ha exposat anteriorment, els principals problemes han ocorregut a l'àrea de Talamanca, on diversos processos de reforestació portats a terme entre l'enregistrament de les dues imatges de satèl·lit han pertorbat l'anàlisi del comportament espectral. Amb tot, d'acord amb la metodologia exposada i verificada, sembla factible aplicar-la al seguiment en el temps de les actuacions de reforestació per detectar la seva efectivitat i, si es dóna el cas, per ana-

Codi	Núm. pixels	Etiqueta	Hectàrees
1	—	Altres cobertes	—
13	43 634	Moderada regeneració	3 927,06
15	29 301	Baixa regeneració	2 637,09
40	9 135	Màxima regeneració	822,15
45	22 186	Sòls reflectius	1 996,74

N	P	L	45	40	13	15	1
1	5	LL	94	0	0	5	0
2	46	UU	2	0	82	15	0
8	99	XX	24	0	2	73	0
9	55	GG	30	0	0	69	0
10	60	XX	0	0	36	63	0
11	50	XX	0	0	12	88	0
13	40	XX	0	0	42	57	0
15	42	GG	14	0	21	64	0
16	58	LL	98	0	0	1	0
18	43	LL	100	0	0	0	0
20	56	GG	23	0	44	30	1
21	87	XX	4	4	41	18	31
22	32	EE	0	6	78	0	15
29	69	LL	89	0	0	10	0
30	40	GG	10	0	0	90	0
33	52	XX	21	0	5	73	0
34	57	LL	96	0	0	3	0
35	55	UU	0	0	100	0	0
36	27	UU	0	0	77	22	0
37	49	XX	0	0	63	18	18
40	29	XX	0	0	62	34	3
41	61	EE	0	50	32	0	15
42	49	EE	0	6	71	0	22
43	50	EE	0	12	56	0	32
44	72	EE	0	12	66	0	20
45	53	XX	5	0	15	73	5
47	65	LL	100	0	0	0	0
48	46	UU	0	0	100	0	0
49	52	EE	0	5	78	0	15
50	53	EE	0	37	60	0	1
51	41	UU	0	0	73	26	0
52	48	XX	0	0	6	93	0
53	46	UU	6	0	41	52	0
54	63	UU	0	0	79	20	0
55	38	EE	0	0	94	0	5
56	91	LL	81	0	2	16	0
59	70	UU	1	0	52	45	0
60	52	XX	5	0	51	42	0
61	70	LL	100	0	0	0	0
62	89	XX	7	0	20	71	0
63	79	XX	0	0	65	29	4
64	37	LL	94	0	0	5	0
65	75	LL	98	0	0	1	0
66	58	EE	0	74	15	0	10
67	38	EE	0	0	92	7	0
68	63	XX	7	0	47	44	0
69	82	XX	0	0	56	43	0
70	60	XX	0	0	60	35	5
71	33	LL	100	0	0	0	0
72	63	XX	4	0	42	52	0

Taula 3a: Resultats del tractament sobre Garraf

Taula 3: Quantificació dels diversos grups espectrals dins de cada parcel·la de camp. La segona columna (P) indica el nombre de pixels de les parcel·les i la tercera (L) el nivell del qual és representativa. Els números representen en tants per cent el nombre de pixels dels diversos grups que hi ha dins de cada parcel·la; així, per exemple, la parcel·la N-9 de Garraf, que té 55 pixels i que correspon al nivell G, posseeix un 30% de pixels del grup 45 (sòls reflectius) i un 69% de pixels del grup 15 (baixa regeneració)

Codi	Núm. pixels	Etiqueta	Hectàrees
1	—	Altres cobertes	—
13	6 613	Moderada regeneració	595,17
15	4 514	Baixa regeneració	406,28
40	3 030	Màxima regeneració	272,70
45	390	Sòls reflectius	35,10

N	P	L	1	13	45	40	15
1	72	DD	0	95	1	2	0
2	55	CC	3	5	0	90	0
3	104	AA	0	0	92	0	0
4	44	AA	0	0	100	0	0
5	68	DD	0	83	16	0	0
7	86	BB	0	80	0	19	0
8	74	DD	0	67	31	1	0
9	52	AA	0	5	94	0	0
11	55	CC	0	69	0	30	0
12	41	CC	0	51	0	48	0
13	55	BB	0	74	3	18	3
14	65	DD	0	83	4	4	7
15	79	BB	40	11	0	48	0
16	65	DD	0	52	0	47	0
17	74	BB	0	52	0	47	0
18	48	CC	0	47	0	52	0

Taula 3b: Resultats del tractament sobre Tordera

litzar aquesta efectivitat en relació als mètodes i a les espècies emprades.

Així doncs, el procediment exposat permet cartografiar amb exactitud diversos estats del comportament dinàmic de les cobertes forestals sotmeses als incendis i, en general, a d'altres fenòmens, com les reforestacions. Pel fet que aquesta metodologia es recolza en les imatges de satèl·lit, imatges que són enregistrades d'una manera periòdica i que permeten expressar els resultats en forma cartogràfica i calcular les superfícies cremades, resulta recomanable fer-ne ús i fins i tot proposar la seva utilització com una altra font d'informació de recolzament de la planificació i seguiment dels processos que ocasionen canvis en la coberta vegetal.

Data de recepció de l'original: 09.91

BIBLIOGRAFIA

AHERN, F.J. i LECKIE, D.G.: "Digital Remote Sensing for Forestry: Requirements and Capabilities, Today and Tomorrow", a *Geocarto International*, volum 2, núm. 3. 1987.

ARBIOL, R., ROMEU, J. i VIÑAS, O.: "Detecció i avaluació de les superfícies forestals cremades durant l'any 1984 a Catalunya, mitjançant tècniques de teledetecció", a *Revista Catalana de Geografia*, volum II, núm. 4, pàgs. 21-45. Març, 1987.

CHUVIECO, E. i CONGALTON, R.G.: "Mapping and Inventory of Forest Fires from TM Data", a *Geocarto International*, volum 3, núm. 4. 1988.

HORLER, D.N.H. i AHERN, F.J.: "Forestry Information Content of TM Data", a *International Journal of Remote Sensing*, volum 7, núm. 3. 1986.

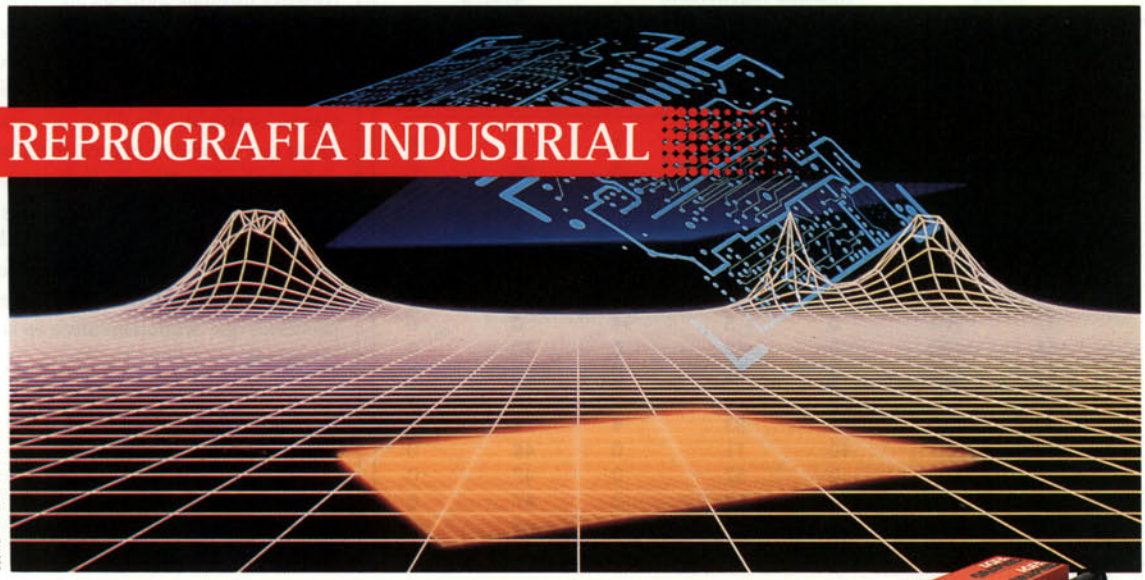
LÓPEZ, M.J., CASELLES, V. i MELIÁ, J.: *Microclimatic Alterations Produced by Forest by Means of the TM Sensor*. Congrés: Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection. Les Arcs (França). 16–20 desembre 1985.

RICHARDS, J.A.: "Thematic Mapping from Multitemporal Image Data Using Principal Components Transformation", a *Remote Sensing of Environment*, núm. 16. 1984.

TANAKA, S. i KIMURA, H.: "Preparation of a 1:25 000 LANDSAT Map for Assessment of Burnt Area on Etajima", a *International Journal of Remote Sensing*, volum 4, núm. 1. 1983.

LA LUZ. EL PRINCIPIO DE LA CREACION

REPROGRAFIA INDUSTRIAL



COUNTERPORT & ASOCIADOS

Fotolitos a la velocidad de la luz para la electrónica, dibujo técnico, sismografía, fotografía aérea y cartografía.

Materiales fotográficos adecuados para fotoplotters y producción de circuitos impresos en el sector de la electrónica.

Sistemas fotográficos completos para despachos de ingenieros, industria de construcción naval y de aviación, empresas de servicios públicos, para dibujo sobre película fotográfica, copias intermedias, renovación de originales y archivo.



Películas para fotografía aérea y fotolitos con elevada estabilidad dimensional para la confección de mapas geográficos.



Tarjetas de identificación sistema Secucard, prácticamente imposibles de falsificar.

Sistemas completos que desde la pre-impresión ofrecen una garantía de calidad y seguridad en la comunicación industrial.

AGFA. LA CREACIÓN POR PRINCIPIO

SECTOR DE SISTEMAS GRAFICOS

- COPIADORAS
- SISTEMAS DE PRE-IMPRESION ELECTRONICA (EPS)
  - PUBLICACION COLOR
  - EDICION ELECTRONICA
  - PRESENTACIONES GRAFICAS
- SISTEMAS DE PRE-IMPRESION FOTOGRAFICA (PPS)
  - SISTEMAS DE PRUEBAS
  - COPYPROOF-CAMARAS
  - PLANCHAS OFFSET
  - PELICULA GRAFICA
  - REPROGRAFIA INDUSTRIAL
  - MATERIALES DE FOTOCOMPOSICION Y SCANNER

AGFA Agfa