

# Desenvolupament d'un sistema d'informació geogràfica per a la lluita contra els incendis forestals. El projecte SIGIF

Joan Nunes Alonso<sup>1</sup>  
Rufí Cerdán Heredia<sup>2</sup>  
Francesc Sánchez Martínez<sup>1</sup>  
Anna Badia Perpinyà<sup>1</sup>  
Ignacio Ferrero Beato<sup>1</sup>

1. Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Geografia.

08193 Bellaterra (Barcelona). Spain

2. Consell Comarcal del Bages. Centre d'Integració de Telecomunicacions Avançades (CITA)

Data de recepció: març 1995

Data d'acceptació: juliol 1995

## Resum

L'objectiu del projecte és el desenvolupament d'un sistema d'informació geogràfica (SIG) per a la lluita contra els incendis forestals, que permeti avaluar el risc d'ignició, simular el procés de propagació i planificar la distribució dels recursos d'extinció en relació, d'una banda, amb els potencials d'ignició i propagació i, d'altra banda, en relació amb la vulnerabilitat dels assentaments humans.

L'elecció d'aquests tres objectius com a prioritaris respon a la identificació del que ha de ser el cos fonamental d'un SIG per a la lluita contra els incendis forestals, ja que el coneixement de les àrees més vulnerables als incendis, com també dels factors desencadenants i sostenidors —per mitjà de l'avaluació del risc d'ignició i la modelització del procés de propagació del foc— constitueix el punt de partida necessari per a qualsevol anàlisi posterior, ja sigui orientada a optimitzar la distribució dels recursos d'extinció o bé destinada a avaluar mesures i polítiques de prevenció.

**Paraules clau:** sistemes d'informació geogràfica, incendis forestals, vulnerabilitat, Bages.

**Resumen.** *Desarrollo de un sistema de información geográfica para la lucha contra los incendios forestales. El proyecto SIGIF*

El objetivo del proyecto es el desarrollo de un sistema de información geográfica (SIG) para la lucha contra los incendios forestales, que permita evaluar el riesgo de ignición, simular el proceso de propagación, planificar la distribución de los recursos de extinción en relación, por una parte, con los potenciales de ignición y de propagación y, por otra parte, en relación con la vulnerabilidad de los asentamientos humanos.

La elección de estos tres objetivos como prioritarios responde a la identificación de lo que debe ser el núcleo fundamental de un SIG para la lucha contra los incendios forestales, ya que el conocimiento de las áreas vulnerables a los incendios, así como de los factores desencadenantes y de sostén —mediante la evaluación del riesgo de ignición y la modelización del proceso de propagación del fuego— constituye el punto de partida nece-

vegetal. Més particularment, en l'estudi de la contribució dels múltiples factors que hi intervenen, bé com a desencadenants, bé com a sostenidors del procés, i que afecten la seva evolució espàcio-temporal (Blackshear, 1974; Pyne, 1984).

### *El procés de combustió en els incendis forestals*

En general, el procés químic de combustió en el cas dels incendis forestals sol descompondre's en tres fases successives: ignició, propagació i extinció. Les causes d'ignició —naturals o antròpiques— són molt nombroses (vegeu Fuguay i altres, 1979) i en la majoria dels casos desconegudes, fortuïtes i impredecibles, tret potser d'aproximacions probabilístiques basades en el registre històric precedent d'ocurrències i la seva correlació amb alguns dels factors hipotèticament causals.

Tanmateix, és sabut que la ignició és afectada decisivament per les condicions d'humitat, tant de l'aire com del combustible vegetal viu (50-300% del pes fresc) i molt especialment del combustible mort (1-30% del pes fresc). Els valors particulars d'humitat dels combustibles viu i mort varien en funció de les diferents espècies i tipus de combustible. En el cas dels combustibles vius, depenen també de l'estat vegetatiu sota condicions estacionals i climàtiques precises. Però, sobretot, depenen de les condicions meteorològiques —temperatura i humitat relativa de l'aire, precipitacions i, en menor grau, del vent— ocorregudes durant períodes relativament llargs previs a un moment particular —responsables del contingut d'humitat disponible, especialment en els combustibles vius—, i de les condicions meteorològiques del moment —responsables del contingut d'humitat efectiu dels combustibles morts en equilibri amb la humitat relativa de l'aire segons la temperatura.

El sosteniment del foc i el pas a la fase de propagació depenen molt especialment, d'altra banda, del tipus i l'estructura dels combustibles —naturalesa, mida, densitat, compactació—, sobretot dels anomenats combustibles fins, en gran part morts ja que, a més del baix contingut d'humitat, el factor determinant sembla ser la superfície total exposada a l'aportació de calor. Així, l'estructura del combustible condiona la intensitat de la relació o la quantitat d'energia alliberada que indueix la combustió de materials nous, per evaporació del seu contingut d'humitat i alliberament posterior dels combustibles volàtils, responsables de la combustió amb flama. També la inflamabilitat —temps requerit per a l'emissió dels combustibles volàtils sota l'acció d'una font de calor—, que depèn de cada espècie vegetal, és un factor important en cop superada la fase inicial d'ignició. Així mateix, resulten crítics en la fase de propagació, a més de la distribució espacial dels combustibles, la velocitat i la direcció del vent, com també les condicions orogràfiques que afavoreixen la propagació ascendent de les flames i la formació de corrents convectius.

La propagació del foc, des del punt de vista territorial, és també un procés físic extremament complex, en el qual els paràmetres macroscòpics d'interès cabdal relatius a l'expansió de l'incendi —intensitat del front, velocitat i direcció, i subsegüentment forma, superfície, perímetre i longitud del front—, com

també la seva evolució temporal, són la síntesi de multitud de microprocessos en què els diferents mecanismes de transmissió de calor resulten enormement afectats per condicions d'extrema variabilitat local, modificades pel desenvolupament del propi incendi —per exemple, turbulències, núvols de fum i de partícules incandescentes, generació de focus secundaris.

### *Mètodes d'anàlisi per a la prevenció i la lluita contra els incendis*

Si atenem la naturalesa d'aquests processos físico-químics, resulta lògic que els principals esforços d'investigació i d'aplicació de mètodes de prevenció i de suport a la lluita i el control d'incendis s'hagin desenvolupat en tres direccions clarament definides i complementàries, tot i que la seva interrelació o integració no sempre aparegui immediata ni fàcil de fer operativa.

Aquestes tres direccions són, bàsicament: el desenvolupament de models o índex de risc d'incendi associat a les condicions meteorològiques; la tipificació dels combustibles en forma de models estructurals, que serveixen de base a l'elaboració de models o índexs de risc associat a la combustibilitat i alhora constitueixen un dels ingredients fonamentals dels models de simulació del comportament dels incendis i, en tercer lloc, la pròpia formulació de models de simulació del comportament dels incendis forestals, a la qual cal atribuir igualment l'esforç de tipificació de models de combustible.

A més d'aquestes tres àrees de recerca destacades pel seu llarg historial i maduresa de resultats i aproximacions, cal assenyalar també l'elaboració de models predictius associats a la causalitat, especialment la de caire antròpic, i els esforços de síntesi o d'elaboració d'índexs globals de perillositat, encara que aquest darrer terreny és potser el més difícil de precisar.

Sense voler presentar una ressenya exhaustiva, que supera els límits d'aquest treball, cal esmentar alguns dels desenvolupaments més significatius en les àrees de treball indicades, ja que són la base comuna de moltes adaptacions i especialitzacions posteriors, i també perquè han estat adoptats totalment o parcialment en els sistemes creats per les administracions nacionals o regionals per avaluar el perill d'incendi i donar suport a les tasques d'extinció.

### *Índex de risc associat a les condicions meteorològiques*

El desenvolupament de models o índex de risc d'incendi associat a les condicions meteorològiques és un dels focus principals de recerca i pot reconèixer-se com una de les bases de molts dels sistemes de prevenció creats per les administracions de molts dels països afectats pels incendis forestals. Les propostes d'índexs de risc basats exclusivament en els factors meteorològics i climàtics no són potser les més nombroses, si bé n'hi ha diversos casos destacats, sobretot a l'àrea mediterrània (Palmieri e Cozzi, 1983; Bovio i altres, 1984; Palmieri i altres, 1992; Sol, 1989; Roux i Sol, 1991). En molts altres casos (Andrews i Bradshaw, 1991; Vélez, 1991), els factors meteorològics solen emprar-se juntament amb la informació relativa als tipus de combustible per elaborar índexs

de probabilitat d'ignició basats en la formulació dels models de simulació del comportament d'incendis (Rothermel, 1972).

Això no obstant, en tots dos casos les variables meteorològiques emprades són les mateixes i la seva anàlisi té per finalitat avaluar el contingut d'humitat dels combustibles, factor determinant de la ignició quan hi concorre una causa efectiva. La diversitat de propostes deriva, en canvi, de la dificultat d'establir la durada del període previ, les condicions meteorològiques del qual incideixen en l'estat de la vegetació en un moment precís. També són font de diversitat les diferents aproximacions per avaluar aquest estat: mitjançant el càlcul directe del balanç hídric, o bé a través de la relació entre evapotranspiració i precipitacions. Alternativament, l'estudi de l'estat fenològic de la vegetació com a índex de perill en si mateix o, de manera complementària, com a variable addicional en els models de risc climàtico-meteorològic, ha adquirit força difusió, especialment mitjançant l'ús de la teledetecció.

### *Tipificació dels combustibles*

La tipificació dels combustibles, tal com ja s'ha indicat, s'ha desenvolupat en el si de la recerca per formular models de simulació del comportament del foc, dels quals n'és una peça essencial. En efecte, la calibració d'aquests models exigeix la determinació empírica de nombroses magnituds per a diferents tipus i estructures de combustibles acuradament diferenciats per tal d'obtenir els valors realment característics de cada combustible i de mantenir les condicions d'homogeneïtat requerides per als models. És clàssica, al respecte, la tipificació en 13 models estructurals de combustible —3 de pastures, 4 de matollars, 3 per a formacions de bosc dens i 3 per a formacions de bosc aclarit o restes d'operacions silvícoles—, formulada per Rothermel (1972, 1983; vegeu també Burgan, 1987). Aquesta classificació ha estat adoptada amb lleugers matisos per la majoria d'administracions i és un dels ingredients fonamentals de tots els models de simulació del comportament del foc, encara que també es pot emprar, al marge de la simulació, com a índex en si de perill d'incendi associat a la combustibilitat.

Molt del treball subsegüent en aquest terreny té per objecte l'adaptació dels models estructurals de combustible a les característiques particulars de vegetació i climatologia de cada àrea geogràfica on es volen aplicar els mètodes basats en aquests models (Valette i altres, 1979; Hernando y Elvira, 1989). També s'han desenvolupat mètodes de camp per identificar sobre el terreny els diferents models de combustible (Anderson, 1982; ICONA, 1991) i mètodes per a la captació massiva de dades a fi de cartografiar la distribució de combustible de manera sistemàtica, sovint per mitjà de la teledetecció.

### *Models de simulació del comportament*

La formulació de models de simulació del comportament dels incendis forestals és segurament el camp de recerca més desenvolupat i el que ha proporcionat moltes de les directrius i la inspiració per a la resta d'àmbits de treball,

fins i tot a aquells que no s'orienten a la simulació sinó a l'avaluació del risc. D'altra banda, és el que ofereix resultats o instruments més rellevants en les tasques d'extinció o lluita pròpiament dita. Les formulacions pioneres dels anys setanta (Rothermel, 1972; Albini, 1976) han estat extensament desenvolupades durant els anys vuitanta i implementades en molts programes de simulació del comportament d'incendis forestals (vegeu una àmplia ressenya a André i altres, 1992). El més destacat és, sens dubte, el programa BEHAVE (Andrews, 1983, 1986; Burgan i Rothermel, 1984; Andrews and Bradshaw, 1990), base del sistema nord-americà de lluita contra els incendis forestals NFDRS —National Fire Danger Rating System—, i d'ús generalitzat, amb adaptacions o sense, a tots els països amb alta incidència d'incendis.

Programes com BEHAVE simulen, sota certs supòsits i limitacions, el comportament del foc en termes globals, calculant, per a diferents horitzons temporals, els valors d'una sèrie de paràmetres que informen sobre la intensitat i l'avanç de l'incendi tot donant indicacions sobre el tipus de mitjans d'extinció que cal emprar, el temps estimat per aconseguir el control i la superfície afectada. Malgrat que incorpora alguns principis bàsics sobre la geometria de la propagació i la forma resultant dels incendis —idealment un perímetre delimitat per dues semiel·lipses o cardioide (Anderson, 1983; Pyne, 1984)—, models com BEHAVE no proporcionen una simulació espacial, territorialitzada, de la propagació que permeti obtenir una visió dinàmica de com evoluciona la zona afectada.

Molts esforços s'han realitzat en aquest sentit, pràcticament de manera immediata a l'aparició dels primers models de comportament, encara que la majoria no han superat l'estadi experimental i sovint no han trobat suficient validació empírica, en part per la pròpia dificultat de disposar de dades detallades sobre la progressió de la forma d'incendis reals. Entre les aproximacions seguides per a la simulació espacial destaquen les de tipus cel·lular —mitjançant contagi entre cel·les veïnes, regit per models de comportament com BEHAVE—, un exemple ben conegut de les quals és el programa espanyol CARDIN (Martínez-Millán i altres, 1991) les de tipus ondulatori, que simulen la propagació del front d'incendi seguint principis de la mecànica de fluids, com si es tractés d'un front d'ones; aproximacions mixtes (p.e., Finney, 1994); i, més recentment, aproximacions de tipus fractal (Clarke, Bass i Riggan, 1994), basades en la teoria del caos, que permet simular dinàmicament processos amb causes fortament interrelacionades i que no es poden especificar completament. El desenvolupament i l'aplicació de les tecnologies de la informació geogràfica —teledetecció, SIG, sistemes de posicionament global— reclama i alhora contribueix a fer més viable la simulació espacial, tant per la disponibilitat més gran d'informació territorialitzada com per la disponibilitat de plataformes de base —els SIG— per a la gestió, la integració i el tractament d'aquesta informació.

### **Les tecnologies de la informació en la lluita contra els incendis forestals**

Les aplicacions de les tecnologies de la informació geogràfica a l'estudi dels incendis forestals o al suport de les accions de prevenció i d'extinció han con-

sistit en gran part en implementacions dels mètodes descrits, si bé han generat un cert nombre de desenvolupaments propis. Globalment, l'efecte d'aquestes tecnologies ha estat la territorialització i l'operativització de molts dels mètodes d'anàlisi per tal de cobrir extensions significatives de territori, gràcies, com s'ha indicat, a la disponibilitat més gran d'informació més gran georeferenciada i a la capacitat més gran d'integració i de manipulació.

### *Aplicacions de la teledetecció*

Com en moltes altres àrees de treball, la teledetecció apareix com una font d'informació avantatjosa quan cal disposar d'informació territorial per àrees relativament extenses amb rapidesa, homogeneïtat de captació, enregistrament digital directe i, molt especialment en el cas dels incendis forestals, d'alta freqüència d'actualització. A més, com és ben sabut, la naturalesa espectral de la informació captada mitjançant teledetecció fa que sigui especialment rellevant per estudiar la vegetació i les emissions de caràcter tèrmic.

Les aplicacions principals de la teledetecció i la lluita contra incendis forestals (vegeu, per exemple, Chuvieco i Martín, 1994; Vega i altres, 1994) es poden agrupar segons si s'orienten a obtenir informació necessària per aplicar els models de risc o de simulació d'incendis adés exposats, o si constitueixen aportacions específiques de les tècniques de teledetecció.

Entre les aplicacions orientades a obtenir informació per a índexs de risc o models de comportament, cal assenyalar les següents:

- *Cartografia de combustibles*, tant per a índexs generals de perill d'incendi, com de forma específica i explícita per a aproximar la distribució territorial dels models estructurals de combustible emprats en els models de simulació com BEHAVE. Els exemples en aquest sentit són in comptables, des de principi dels anys vuitanta (p.e. Cosentino i altres, 1981; Cosentino i Estes, 1981; Burgan i Shasby, 1984) fins ara (p.e., Salas, 1994).
- *Avaluació continuada de l'estat fenològic de la vegetació* mitjançant l'anàlisi multitemporal d'índexs de vegetació, bé com a índex del potencial d'incendis en si mateix, bé com aproximació al contingut d'humitat a través de la correlació amb el balanç hídric (Tucker i Sellers, 1986; Seguin i altres, 1989; Cohen, 1991; López i altres, 1991).

Com a aportacions pròpies de la teledetecció, si bé es poden usar també per a calibrar models, tant de risc com de comportament, destaquen les aplicacions següents, algunes de les quals figuren entre les més antigues.

- *Detecció de focus d'incendi* (Hirsch i altres 1971; Malingreau i altres, 1985; Matson i Holben, 1987; Langaas, 1992).
- *Seguiment de l'evolució dels incendis en temps real* (Flannigan i Vonder Haar, 1986).
- *Cartografia d'àrees cremades i avaluació d'efectes sobre la vegetació* (Benson i Briggs, 1978; Arbiol i altres, 1987; Chuvieco i Congalton, 1988; ICC, 1992; Jakubauskas i altres, 1990).

Les dificultats o limitacions principals d'utilització de la teledetecció en aquestes aplicacions provenen alternativament de la baixa resolució temporal (imatges LANDSAT TM o SPOT) o de la baixa resolució espacial (imatges NOAA-AVHRR). Així, moltes de les aplicacions que impliquen una alta freqüència d'actualització només es poden dur a terme per a grans extensions, a escales mitjanes, a causa de la baixa resolució (1,21 km<sup>2</sup> en el nadir, superior als 4 km<sup>2</sup> a les vores) de les imatges dels satèl·lits de més freqüència de pas (NOAA-AVHRR, cada 4 hores), fet que dificulta seriosament les aplicacions en temps real (detecció de focus, evolució d'incendis) o de forta periodicitat (estat de la vegetació) amb el detall suficient per ser útils en àrees de gran variabilitat del paisatge. En aquest sentit, la gran quantitat d'experiències efectuades en base a l'enorme potencial de sensors com l'AVHRR han trobat més aplicació en zones tropicals i extensions que van des del nivell subcontinental al global, si bé no faltan els esforços d'aplicació a les extensions típiques de les regions mediterrànies (Chuvieco i altres, 1993; Peroni i altres, 1992).

Contràriament, les aplicacions que exigeixen menys dinamisme, com la cartografia de combustibles o d'àrees cremades, troben en el sensor TM dels satèl·lits LANDSAT una solució generalment acceptable, quant a resolució espacial, per a extensions mitjanes. Tot i així, en el cas de la cartografia de combustibles, la identificació suficientment precisa dels diferents models estructurals és molt lluny de ser resolta, car aquests responen abans que res a l'estructura del combustible fi existent a nivell de jaç, difícilment inferible a partir de la coberta apreciable pels sensors.

El desenvolupament de nous sensors i, sobretot, l'ús de noves plataformes (avions, minisatèl·lits) que permeten millorar alhora la resolució espacial i augmentar la freqüència temporal, són, en aquest sentit, les perspectives més prometedores a curt o mitjà termini, per fer realment operatiu tot el potencial d'observació i seguiment permanent inherents a la teledetecció.

### *Aplicacions dels SIG*

El paper dels SIG en la lluita contra els incendis forestals sembla ser principalment el d'instrument gestor i integrador d'informació per fer operatius els mètodes des d'anàlisi i modelització, com també les tasques associades a la planificació i a la intervenció en les situacions d'emergència.

Entre les aplicacions fins ara realitzades, moltes s'han limitat a operativitzar aspectes parcials, concentrant-se notablement en l'elaboració de cartografia de risc d'incendis forestals. Dins d'aquestes aplicacions cal distingir-ne dos tipus. Aquelles que es basen sobretot en la metodologia de modelització cartogràfica, clàssica dels SIG, amb més o menys inspiració en els models físics de risc o de comportament d'incendis pel que fa a l'elecció de variables, però sense implementar pròpiament la formulació corresponent, sinó criteris raonats de ponderació i valoració de les variables (p.e., Chuvieco i Congalton, 1989; Salas i Chuvieco, 1992; de Fusco i altres, 1992). I, d'altra banda, tot i que molt menys freqüents, aquelles que apliquen pròpiament models físics emprant

alguna de les magnituds com a expressió del potencial d'incendi (p.e., la intensitat de reacció en el cas de Burgan i Shasby, 1984, ja citat), o bé models amb un marcat component meteorològic (SIG del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya).

Més enllà de l'ús dels SIG com a eina, la constitució de veritables sistemes d'informació amb una funcionalitat àmplia que tendeixi a cobrir els múltiples aspectes de la prevenció i la lluita contra incendis forestals, és relativament recent. En són exemples el sistema proposat a Itàlia (de Fusco i altres, 1992), que comprèn bàsicament diversos índexs de perillositat i una adaptació del model BEHAVE per a la simulació de la propagació; el ja esmentat SIG del DARP de la Generalitat de Catalunya, que té per finalitat principal la producció del mapa diari de risc d'incendi, encara que també conté informació sobre la localització dels recursos d'extinció, i el sistema experimentat al Payette National Forest, d'Idaho (Greer, 1994), directament emprat per al suport de l'extinció.

Aquesta evolució reflecteix la pròpia maduració dels SIG a l'establiment de sistemes d'informació, entesos com a recurs corporatiu en què recolzen totalment o parcialment les activitats d'una organització. Tanmateix, àdhuc els casos indicats són lluny d'haver aconseguit la integració dels diferents components i la diversitat de funcions requerida per cobrir el conjunt de necessitats operatives de la planificació i de l'emergència.

### *Els sistemes de posicionament global*

Tot i que hi ha poques experiències documentades, no hi ha dubte que la utilització dels sistemes de posicionament global, GPS, té un gran paper en el futur per subministrar informació sobre la localització dels efectius d'extinció, per tal d'integrar-les en SIG que implementin la funcionalitat necessària per servir d'ajut a la intervenció en les emergències. Actualment, amb pocs casos plenament operatius, és una àrea d'intensa experimentació.

### **El projecte SIGIF del Consell Comarcal del Bages**

El projecte de sistema d'informació geogràfica per a la lluita contra els Incendis Forestals (SIGIF) és una iniciativa del Consell Comarcal del Bages, desenvolupada conjuntament pel Centre d'Integració de Telecomunicacions Avançades (CITA) del Bages, depenent del Consell Comarcal, i el Laboratori d'Informació Geogràfica i Teledetecció (LIGIT) de la Universitat Autònoma de Barcelona.

El projecte SIGIF va néixer el mes de juliol de 1994, després de la devastadora onada d'incendis forestals que va tenir lloc durant la primera setmana d'aquell mes, i pretén desenvolupar un sistema integral que abasti el conjunt de necessitats d'informació i d'anàlisi associades a la prevenció i l'extinció d'incendis forestals. El seu àmbit d'aplicació, la comarca, en sentit ampli, respon a la voluntat de crear un instrument útil per a les diferents administracions i organismes que intervenen en la prevenció i l'extinció dels incendis forestals, en el



nivell territorial en què tenen lloc les actuacions. Així, ha de cobrir tot l'àmbit geogràfic susceptible de ser tractat com una unitat operativa, per l'homogeneïtat i la continuïtat de condicions territorials, i ha de contenir la riquesa i el detall d'informació necessari per efectuar tasques de planificació i donar suport al desplegament sobre el terreny en les situacions d'emergència.

El projecte SIGIF recull, d'altra banda, la llarga experiència de lluita contra incendis desenvolupada a la comarca del Bages a través de les agrupacions de defensa forestal, i pretén establir mecanismes d'actualització permanent de la informació sobre la base, entre altres, de les ADF, a causa del seu coneixement directe i quotidià del terreny.

A principi de 1995, després d'una primera etapa d'anàlisi de requeriments i de disseny de la base de dades, com també del desenvolupament posterior d'un projecte pilot limitat al municipi de Calders, per tal d'experimentar el procés de treball per a la creació de la base de dades i crear les funcions i la interfase de consulta i explotació, es treballa en la implementació dels diferents mòduls de funcions d'anàlisi del prototipus del sistema.

Pel que fa als mitjans materials, el projecte es basa en el programari ARC/INFO sobre estacions de treball UNIX, per al desenvolupament de les aplicacions i l'operació del sistema d'informació. Addicionalment es preveu l'accés distribuït al sistema d'informació mitjançant el programari d'explotació ARCVIEW sobre PC i les solucions telemàtiques corresponents, de manera que per menys cost i més simplicitat d'ús pugui estar a l'abast dels centres de comandament locals.

### Definició funcional del sistema SIGIF

La concepció d'un SIG per a la lluita contra els incendis forestals ha de contemplar un conjunt molt ampli de funcions d'inventari, recuperació i anàlisi d'informació territorialitzada. En aquest sentit és obligat i avantatjós adoptar una estratègia de desenvolupament modular i integrat, que permeti cobrir inicialment un cert nombre de tasques específiques prioritàries, i que posteriorment, de manera progressiva, permeti donar resposta a la resta de necessitats, gràcies a la integració tant de la informació de base com dels resultats particulars dels diferents mòduls d'aplicació per alimentat subsegüentment uns altres mòduls (gràfic 1), i gràcies a la reutilització de les funcions d'anàlisi ja implementades, minimitzant el desenvolupament addicional.

Si atenem aquestes característiques generals i l'anàlisi de requeriments, el sistema SIGIF es defineix per les funcions expressades en la taula 1.

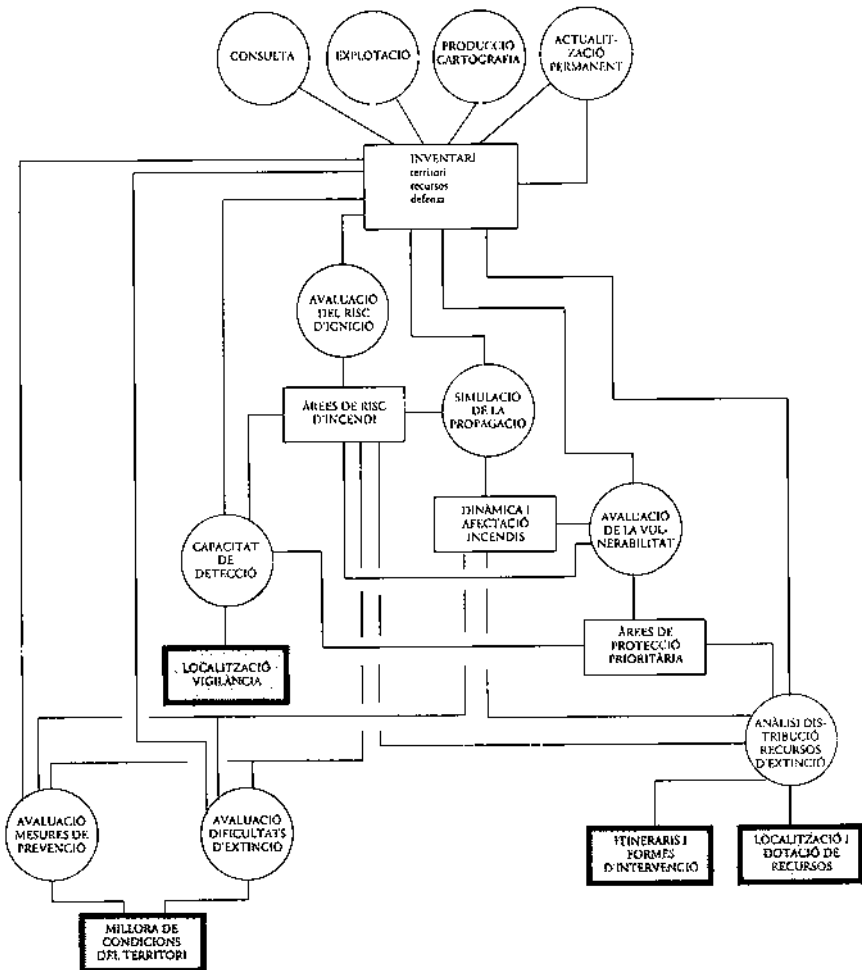
L'elecció com a objectius prioritaris dels models de risc d'ignició, els de simulació de la propagació i els d'anàlisi de la localització dels recursos d'extinció, com també de la integració de tots tres mitjançant l'encadenament o la seqüència d'alimentació successiva dels uns pels altres, respon a la identificació d'aquests tres blocs de funcions com el cos fonamental d'un SIG per a la lluita contra els incendis forestals, ja que el coneixement de les àrees més vulnerables als incendis constitueix el punt de partida necessari per a qualsevol anàlisi

## Taula 1.

1. Inventari territorial de condicions i recursos per a la prevenció i l'extinció d'incendis forestals
  - 1.1. Funcions de creació de la base de dades d'inventari i suport dels models d'anàlisi
  - 1.2. Funcions d'actualització permanent de l'inventari
  - 1.3. Funcions de consulta i explotació de l'inventari
  - 1.4. Funcions de producció de cartografia bàsica per a l'extinció
2. Models d'anàlisi i planificació
  - 2.1. Models d'avaluació del risc d'ignició
    - Models de risc associat a les condicions meteorològiques
    - Models basats en la combustibilitat (intensitat calòrica)
    - Anàlisi retrospectiva per determinar el risc antròpic
  - 2.2. Models de simulació de la propagació
    - Simulació global de paràmetres de comportament (BEHAVE)
    - Simulació territorialitzada de la propagació
      - Models de contagi/proximitat (CARDIN)
      - Models estocàstics/fractals (DLA)
  - 2.3. Model de vulnerabilitat dels assentaments humans
    - Models cartogràfic/multicriteri
  - 2.4. Model d'avaluació/millora de la capacitat de detecció (vigilància)
    - Anàlisi de la cobertura visual d'observadors fixos (guaites)
      - Anàlisi de la cobertura visual actual
      - Optimització de la cobertura visual/localització de guaites
    - Anàlisi de la cobertura territorial d'observadors mòbils
  - 2.5. Models d'anàlisi i planificació de la distribució i dotació de recursos d'extinció
    - Distància a què es troben els recursos (per tipus) respecte de:
      - Focus d'incendi/llocs d'intervenció (interactiva)
      - Àrees de protecció prioritària (global/interactiva)
    - Recorregut òptim en temps de desplaçament per tipus de vehicles
    - Recorreguts alternatius en funció de les dificultats d'accés
    - Cobertura de cada recurs en temps de desplaçament acceptable per a intervenció efectiva
    - Cobertura territorial de cada recurs, distància de qualsevol punt del territori a:
      - Xarxa de camins
      - Recurs més pròxim de cada tipus
    - Identificació d'àrees de cobertura insuficient dels diferents recursos
    - Localització òptima dels recursos i dotació necessària
  - 2.6. Models d'anàlisi de factors territorials de dificultat d'extinció
    - Continuitat de masses forestals
    - Dificultat d'accés
      - Distància a camins
      - Densitat de la xarxa de camins
      - Transitabilitat dels camins
    - Dificultat d'operació
      - Pendent
      - Situació dels camins en relació amb els pendents
  - 2.7. Models d'avaluació de mesures i polítiques de prevenció
    - Canvis de combustibilitat
      - Gestió forestal
        - Neteja de boscos
        - Homogeneïtzació
        - Substitució d'espècies forestals
    - Reducció de factors de risc
      - Aïllament d'usos/activitats perilloses
      - Limitacions/control de la freqüentació dels boscos

Taula 1. (continuació)

- Discontinuitat de les masses forestals
  - Alternància amb usos no forestals
  - Tallafocs
  - Millora de les condicions d'accés
3. Aplicacions de suport a la presa de decisions i d'entrenament
- 3.1. Adaptació de funcions d'anàlisi i interfases d'usuari a tasques i escenaris concrets de presa de decisions
- 3.2. Adaptació de funcions d'anàlisi i interfases d'usuari per tal de crear aplicacions d'aprenentatge



Gràfic 1. Interrelacions entre les funcions del sistema SIGIF.

posterior, ja sigui orientada a optimitzar la distribució dels recursos d'extinció, a coordinar les intervencions i el desplegament d'aquests recursos en emergències reals o en exercicis de simulació d'escenaris possibles per a l'entrenament, o bé sigui en el cas d'anàlisis orientades a simular i avaluar l'efecte de mesures i polítiques de prevenció basades en la modificació de les condicions territorials de combustibilitat o de propagació, o en la modificació de les dificultats i els condicionaments que afecten els treballs d'extinció, o simplement en el cas d'anàlisis per optimitzar la distribució dels efectius de vigilància. És en aquest sentit que, tal com s'apuntava abans, es pot assegurar una estratègia de desenvolupament progressiu del sistema en el futur, basada en la integració i la reutilització successiva de funcions i resultats del tractament de la informació, tal com recull el diagrama.

D'altra banda, la prioritització de l'anàlisi de la localització dels recursos d'extinció per davant de tot bloc d'anàlisi relacionat amb la prevenció d'incendis —sens dubte més efectiu però en un termini molt més llarg— respon a la voluntat de contribuir a crear instruments que puguin ser d'utilitat efectiva davant el fet més immediat que són els focs que es produeixen en cada període estival, i que puguin ser operatius en un termini raonablement breu.

### Contingut i estructura de la base de dades INVENTARI

El contingut i l'estructura de la base de dades que suporta l'inventari de condicions territorials i recursos d'extinció respon a les necessitats d'informació derivades de la funcionalitat descrita, com també a la forma de representació i estructuració necessària per poder aplicar els diferents models d'anàlisi. El contingut s'organitza en tres grans blocs, tal com es resumeix en la taula 2.

L'estructura de la base de dades es basa principalment en la doble estructuració de la informació: zonal, a efectes de modelització de les superfícies, i en graf, a efectes de l'anàlisi de localització/distribució. D'aquí que molta de la informació significativa aparegui doblement representada: com àrees o nodes (p.e., assentaments humans), o àrees o línies (p.e., viari). Paral·lelament, per a les informacions amb variabilitat contínua al llarg del territori (relleu, condicions meteorològiques) s'ha adoptat majoritàriament una representació de caràcter discret per mitjà d'estructures *raster*.

### Projecte pilot CALDERS

El projecte pilot ha consistit en el desenvolupament d'un prototipus de base de dades d'inventari territorial i de recursos, més el mòdul i la interfase de consulta i explotació de la base de dades, prenent com a àrea pilot el municipi de Calders. Les finalitats del projecte pilot han estat l'assaig de la metodologia de treball per crear la base de dades d'inventari; l'avaluació de fonts d'informació, majoritàriament digitals, i la implementació inicial d'algunes de les funcions d'anàlisi de xarxes per al desplegament dels recursos d'extinció i per avaluar la seva cobertura.

---

**Taula 2****1. Territori**

- Relleu (altimetria i derivats: pendent, orientació, insolació)
- Hidrografia
- Divisions administratives (municipal, comarcal, provincial)
- Usos del sòl
  - Coberta vegetal (per tipus de combustibles)
  - Assentaments humans
    - Cascs urbans
    - Urbanitzacions
    - Masies ocupades
    - Masies deshabitades
    - Indústries (classificades segons perillositat)
    - Zones de lleure
  - Viari
- Superfícies cremades (retrospectiu)
- Xarxa viària
  - Carreteres i camins segons condicions de transitabilitat
- Línies elèctriques
- Informacions complementàries
  - Edificació (detall)
  - Toponímia
- Condicions meteorològiques
  - Temperatura (mitjana horària) [sèries retrospectives]
  - Humitat relativa (en %)
  - Precipitacions (total diari) [sèries retrospectives]
  - Vent (dades horàries: direcció i velocitat en km/h)

**2. Recursos d'extinció**

- Parcs de bombers
- Mitjans aeris
- Cubes (per tipus)
- Punts d'aigua (per tipus)
- Tractors
- Vehicles tot terreny
- Voluntaris

**3. Defensa**

- Assentaments humans
    - Nuclis
    - Masies habitades
    - Indústries aïllades
    - Zones de lleure
  - Activitats especials
    - Activitats industrials perilloses
    - Abocadors
-

La base de dades d'inventari en aquesta fase de projecte pilot ha omès les informacions relatives a condicions meteorològiques, ja que els models de risc i de simulació del comportament no s'han abordat més que a nivell d'exploració i discussió metodològica. En aquest sentit, doncs, no s'han avaluat les fonts d'informació corresponents.

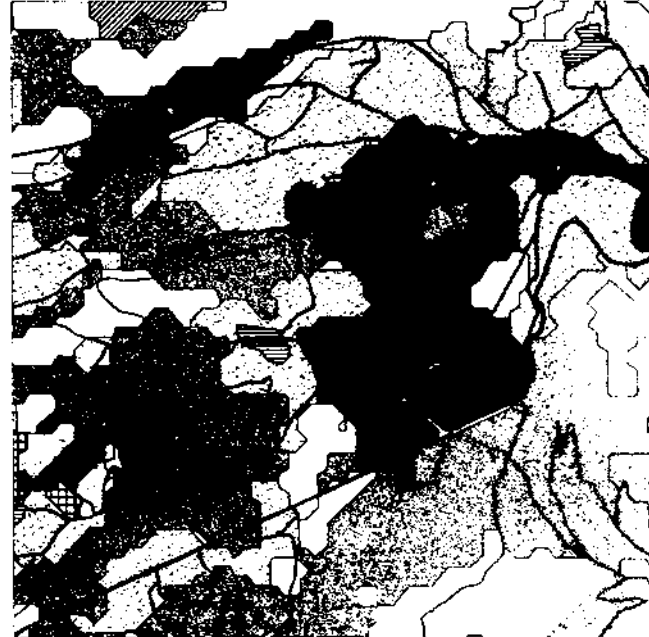
Les fonts d'informació finalment adoptades han estat bàsicament quatre: el Mapa Topogràfic de Catalunya E. 1:5000 de l'Institut Cartogràfic de Catalunya —digital—, com a referència planimètrica bàsica (gràfic 2a); el Mapa d'Usos del Sòl de Catalunya E. 1:250000, procedent d'imatges LANDSAT TM, també de l'ICC —digital, estructura *raster*, resolució de 30 x 30 m— (gràfic 2b); el Model Digital d'Elevacions de l'ICC —*raster*, 45 x 45 m, interpolat posteriorment— (gràfic 3); i el Pla Bàsic Municipal de Defensa contra els Incendis Forestals corresponent al municipi de Calders —analògic—, que ha proveït la major part d'informació relativa a la classificació dels camins i a la localització dels recursos d'extinció (gràfic 4).

La interfase de consulta i explotació desenvolupada (gràfic 5) ha cuidat especialment la simplicitat conceptual i d'utilització, a través de minimitzar les operacions i posar a l'abast en tot moment el conjunt de funcions disponibles —en lloc d'una estructura jerarquitzada de menús—; i sobretot a través de presentar en tot moment a l'usuari el contingut d'informació del sistema, fent-ho precisament en termes de contingut i no pas d'estructura —s'ha evitat completament a l'usuari haver de preocupar-se per la manera concreta com s'ha estructurat la informació: elements geomètrics, capes, taules, etc.—. Un tercer aspecte important en el desenvolupament de la interfase ha estat l'acurada simbolització de la informació a causa del caràcter eminentment visual de les operacions de consulta, per tal de poder visualitzar simultàniament el màxim d'informació. En aquest sentit ha calgut establir seqüències i simbolitzacions particulars sensibles al context —densitat i tipus d'informacions ja visualitzades— que actuen en cada operació elemental per tal d'elegir més o menys càrrega visual d'informació segons la densitat present.

### A tall de conclusió, perspectives futures de desenvolupament

La reflexió efectuada al llarg de l'etapa de definició, anàlisi funcional i disseny del sistema, juntament amb els resultats de l'experiència pilot i la reflexió metodològica entorn dels mètodes d'avaluació del risc i de simulació de la propagació, han permès la concepció, i fins a cert punt experimentació, d'un sistema d'informació comprensiu i madur per ser implementat.

En particular, l'assaig realitzat a nivell d'àrea pilot ha permès verificar la viabilitat del nivell de definició de la informació per a les finalitats proposades, com també del procés de treball establert per crear una base de dades d'aquestes característiques. Per això en una primera etapa de desplegament del projecte es podria generalitzar la construcció de la base de dades al conjunt de l'àmbit geogràfic contemplat, emprant una metodologia ben establerta i d'acord amb previsions temporals fonamentades en l'experiència realitzada.



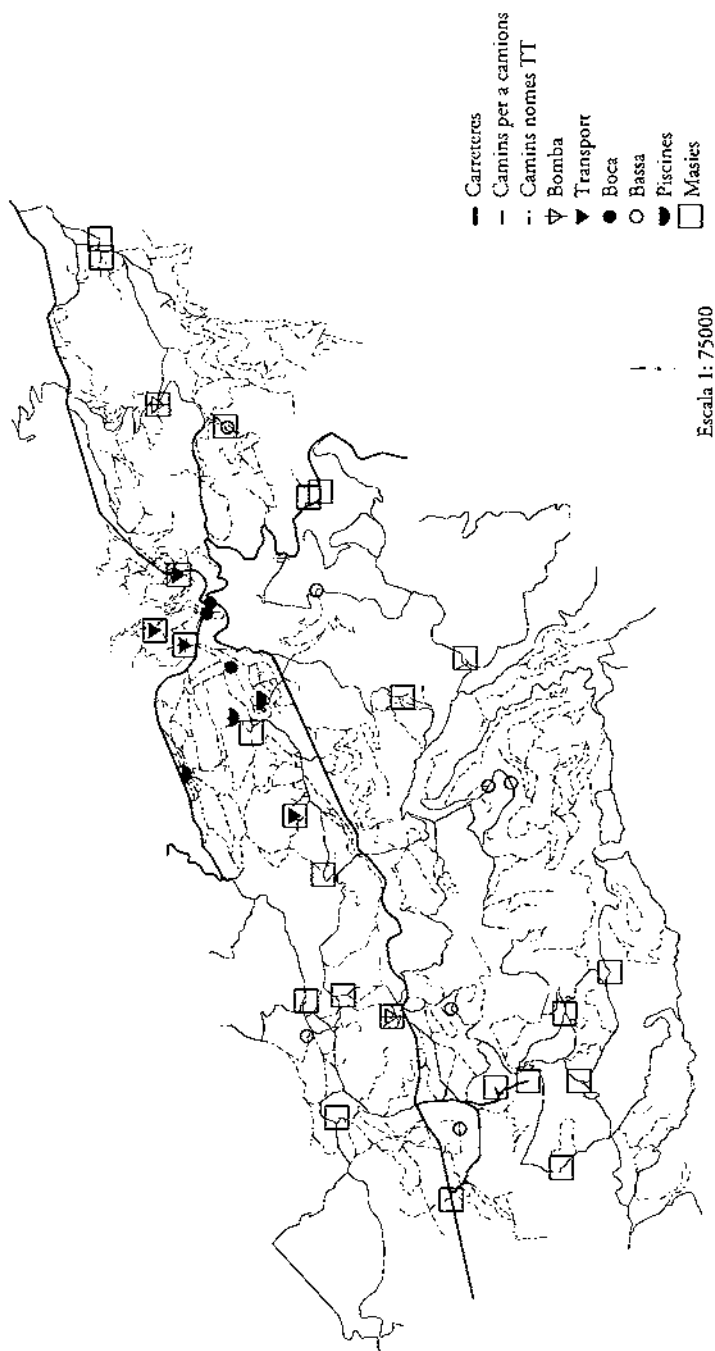
- |                       |                    |            |                  |         |
|-----------------------|--------------------|------------|------------------|---------|
| □ Conferreres         | ▨ Herbacis de secà | ▩ Mas-ocup | ■ Urbà           | □ Vinya |
| ▨ Herbacis de regadiu | ⊕ Industrial       | ▩ Matolls  | ■ Urbanitzacions |         |

Gràfic 2. a: font: Mapa topogràfic de Catalunya E. 1:5000, Institut Cartogràfic de Catalunya. Detall de les urbanitzacions i del casc urbà de Calders. b: font: Mapa d'usos del sòl de Catalunya E. 1:250000, Institut Cartogràfic de Catalunya i elaboració pròpia. Detall de les urbanitzacions i del casc urbà de Calders. Reproducció a escala 1: 24000.

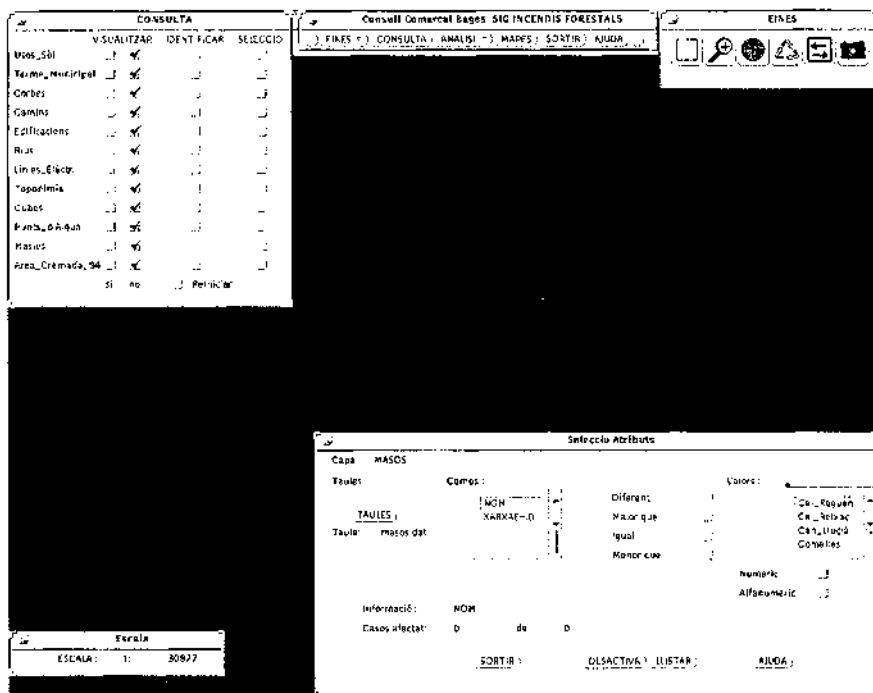


Gràfic 3. a: Ombrejant analític derivat del Model Digital d'Elevacions de Catalunya, 45 x 45 m, ICC. Detall de les urbanitzacions i del casc urbà de Calders. b: Mapa d'orientacions derivat del Model Digital d'Elevacions de Catalunya, 45 x 45 m, ICC. Detall de les urbanitzacions i del casc urbà de Calders. Escala 1:24000.





Gràfic 4. Recursos d'extinció localitzats al municipi de Caldès, segons el Pla Bàsic contra els incendis Forestals d'aquest municipi.



Gràfic 5. Aspecte de la interfase d'usuari de sistema SIGIF.

En el moment de donar pas, en etapes successives, a la implementació de la funcionalitat d'anàlisi queden força aspectes per resoldre, alguns dels quals són clarament objecte de recerca. Destaca pel seu caràcter prioritari el bloc de Risc/Propagació/Vulnerabilitat/Distribució de recursos, dins del qual són objecte d'investigació els models de risc que finalment caldrà adoptar, els models de simulació territorialitzada i la integració de tots dos, com també l'avaluació de les fonts d'informació meteorològica i de distribució dels models estructurals de combustible. Per tant, i com que els mètodes d'anàlisi de xarxes no presenten incògnites substancials, el desenvolupament futur del sistema en la segona etapa abordaria en paral·lel la implementació dels procediments d'anàlisi de la distribució dels recursos i l'assaig dels models d'avaluació de risc i de simulació de la propagació. Així, es podria disposar a curt termini de la funcionalitat necessària per analitzar la cobertura actual dels recursos d'extinció i per donar suport a la intervenció en situacions d'emergència, amb la qual cosa hi hauria temps de crear els mòduls de risc i propagació que permeten planificar la localització i la dotació de recursos.

El bloc de prevenció, per la seva pròpia naturalesa, queda per a una tercera etapa, posterior, en la qual, quan es disposés ja dels mitjans per avaluar el risc i simular la propagació, l'esforç principal se centraria en els procediments

d'anàlisi de les dificultats d'extinció i en mètodes de simulació dinàmica dels efectes a llarg termini de les possibles mesures o polítiques de prevenció.

### Agraïments

Aquest treball ha estat desenvolupat parcialment sota contracte del Consell Comarcal del Bages. Els autors agraeixen les facilitats donades per l'Institut Cartogràfic de Catalunya per poder disposar de dades cartogràfiques digitals apropiades per crear la base de dades pilot del projecte SIGIF. Així mateix, manifesten el seu agraïment a la Direcció General de Serveis d'Informàtica i Telecomunicacions de la Generalitat de Catalunya pel suport inicial al desenvolupament de projectes SIG en els Centres d'Integració de Telecomunicacions Avançades (CITA) del Bages, Montsià, Pallars Jussà i Ripollès.

### Bibliografia

- ALBINI, F.A. (1976). *Computer-based Models of Wildland Fire Behavior: A User Manual*. Ogden, Utah. USDA Forest Service, Intermountain research Station.
- ANDERSON, H.E. (1982). *Aids to determining fuel models for estimating fire behavior*. Ogden, Utah. USDA Forest Service, Intermountain research Station.
- ANDERSON, H.E. (1983). *Predicting wind-driven wildland fire size and shape*. General Technical Report INT-305. Ogden, Utah. USDA Forest Service, Intermountain Research Station.
- ANDRÉ, J.C.S.; LOPES, A.G.; VIEGAS, D.X. (1992). «A broad synthesis of research on physical aspects of forest fires». *Cuadernos científicos sobre incendios forestales*, 3 [Universidade de Coimbra].
- ANDREWS, P.L. (1983). «A system for predicting the behavior of forest and range fires». *Proceedings of the Conference on Computer Simulation in Emergency Planning*. San Diego, California.
- ANDREWS, P.L. (1986). *BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system. BURN subsystem, Part 1*, General Technical Report INT-194. Ogden, Utah, USDA Forest Service, Intermountain Research Station.
- ANDREWS, P.L.; CHASE, C.H. (1989). *BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system. BURN subsystem, Part 2*. General Technical Report INT-260. Ogden, Utah, USDA Forest Service, Intermountain Research Station.
- ANDREWS, P.L.; BRADSHAW, L.S. (1990). *RXWINDOW: defining windows of acceptable burning conditions based on desired fire behavior*. General Technical report INT-273. Ogden, Utah, USDA Forest Service, Intermountain Research Station.
- ANDREWS, P.L.; BRADSHAW, L.S. (1991). «Use of meteorological information for fire management in the United States». *Technical Meeting on Meteorological Information for Forest Fires*. Rabat.
- ARBIOL, R.; ROMEU, J; VIÑAS, O. (1987). «Detecció i avaluació de les superfícies forestals cremades durant l'any 1984 a Catalunya mitjançant tècniques de teledetecció». *Revista Catalana de Geografia*, 2, 4, 21-46.
- BENSON, M.L.; BRIGGS, I. (1987). «Mapping the extent and intensity of major forest fires in Australia using digital analysis of LANDSAT imagery». *Proceeding of the Internacional Symposium on Remote Sensing for Observation and Inventory of earth resources*, 1965-1980.

- BLACKSHEAR, P.L. (ed.). (1974). *Heat transfer in Fires: thermophysics, social aspects, economic impact*. Nova York: John Wiley.
- BOVIO, G.; QUAGLINO, A.; NOSENZO, A. (1984). «Individuazione di una indice di previsione per il periodo di incendi boschivi». *Monti e Boschi*, XXXV, 4.
- BURGAN, R.E. (1987). *Concepts and interpreted examples in advanced fuel modeling*. General Technical Report INT-238. Ogden, Utah, USDA Forest Service, Intermountain Research Station.
- BURGAN, R.E.; ROTHERMEL, R.C. (1984). *BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system. FUEL subsystem*. General Technical Report INT-167. Ogden, Utah, USDA Forest Service, Intermountain Research Station.
- BURGAN, R.E.; SHASBY, M.B. (1984). «Mapping broad-area fire potential from digital fuel, terrain and weather data». *Journal of Forestry*, 82, 228-231.
- CHUVIECO, E.; CONGALTON, R.G. (1988). «Mapping and inventory of forest fires from digital processing of TM data». *Geocarto International*, 4, 41-53.
- CHUVIECO, E.; CONGALTON, R.G. (1989). «Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping». *Remote Sensing of the Environment*, 29, 147-159.
- CHUVIECO, E.; MARTÍN, M.P. (1994). «Global fire mapping and fire danger estimation using AVHRR images». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, LX, 5, 563-570.
- CHUVIECO, E.; MARTÍN, M.P.; DOMÍNGUEZ, L. (1993). «Using AVHRR images for fire mapping and fire growth monitoring in the mediterranean forest». *Proceedings 12th Pecora Symposium*.
- CLARKE, K.C.; BRASS, J.A.; RIGGAN, P.J. (1994). «A cellular automation model of wildfire propagation and extinction». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, LX, 11, 1355-1367.
- COHEN, W.B. (1991). «Response of vegetation indices to changes in three measures of leaf water stress». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, LVII, 2, 195-202.
- COSENTINO, M.J.; ESTES, J.E. (1981). «Use of LANDSAT data to develop a fuels database for a wildland fire simulation model». *Proceedings VII Pecora Symposium*.
- COSENTINO, M.J.; WOODCOCK, C.E.; FRANKLIN, J. (1981). «Scene analysis for wildland fire-fuel characteristics in a Mediterranean climate». *Proceedings 15th International Symposium on Remote Sensing of Environment*.
- FUSCO, L. DE; MARTELLACI, C.; PERONI, P.; BAGNI, M. (1992). «A prototype system for forest fire prevention and control». *Proceedings of the Central Symposium of the International space Year Conference*, Munich, 783-788.
- FINNEY, M.A. (1994). «FARSITE: A fire area simulator for fire managers». *Proceedings Harold Biswell Symposium*.
- FLANNIGAN, M.D.; VONDER HAAR, T.H. (1986). «Forest fire monitoring using NOAA satellite AVHRR». *Canadian Journal of Forest Research*, 16, 975-982.
- FUGUAY, D.M.; BAUGHMAN, R.G.; LATHAM, D.J. (1979). *A model for predicting lightning fire ignition in wildland fires*. Forest Service Research Paper FSRP/INT-217.
- GREER, J.D. (1994). «GIS and remote sensing for wildland fire suppression and burned area restoration». *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, LX, 9, 1059-1064.
- HERNANDO, C.; ELVIRA, L. (1989). *Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque*. Madrid: INIA.
- HIRSCH, S.N.; KRUCKEBERG, R.F.; MADDEN, F.H. (1971). «The bi-spectral forest detection system». *Proceedings 7th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Ann Arbor, 2253-2259.

- ICC (1992). *Mapa d'incendis forestals de Catalunya (1986-1990) 1:250000*. Barcelona: Direcció General del Medi Natural i Institut Cartogràfic de Catalunya.
- ICONA (1991). *Defensa contra incendios forestales. Clave fotográfica para la identificación de modelos de combustible*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA.
- JAKUBAUSKAS, M.E.; LULLA, K.P.; MAUSEL, P.W. (1990). «Assessment of vegetation change in a fire-altered forest landscape». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, LVI, 3, 371-377.
- LANGAAS, S. (1992). «Temporal and spatial distribution of savanna in Senegal and The Gambia, West Africa 1989-90, derived from multitemporal AVHRR night images». *International Journal of Wildland Fire*, 2, 1, 21-36.
- LÓPEZ, S.; GONZÁLEZ, F.; CUEVAS, J.M. (1991). «Aplicación de las imágenes digitales procedentes de los satélites meteorológicos circumpolares en la detección del riesgo de incendios forestales». *Ecología*, 5, 3-12.
- MALINGREAU, J.P.; STEPHENS, G.; FELLOWS, L. (1985). «Remote sensing of forest fires: Kalimantan and North Borneo in 1982-1983». *Ambio*, 14, 314-315.
- MARTÍNEZ-MILLÁN, J.; VIGNOTE, S.; MARTOS, J.; CABALLERO, D. (1991). «Cardin. Un sistema para la simulación de la propagación de incendios forestales». *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 0, 10, 121-133.
- MATSON, M.; HOLBEN, B. (1987). «Satellite detection of tropical burning in Brasil». *International Journal of Remote Sensing*, 8, 509-516.
- PALMIERI, S.; COZZI, R. (1983). «Il ruolo della meteorologia nella prevenzione e controllo degli incendi boschivi». *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, XLIII, 4.
- PALMIERI, S.; INGHILESI, R.; SIANI, A.; MARTELLACCI, C. (1992). «Un indice meteorologico di rischio per incendi boschivi». *Bollettino Geofisico*, XV, 5.
- PERONI, P.; D'EPIFANIO, A.; MARTELLACCI, C. (1992). «Determination of environmental dynamics using NOAA satellite data and a water balance model for the mediterranean landscape». *Proceedings of the Central Symposium of the International Space Year Conference*. Munich.
- PYNE, S.J. (1984). *Introduction to Wildland Fire: Fire Management in the United States*. Nova York: John Wiley.
- ROTHERMEL, R.C. (1972). *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*. General Technical Report INT-115, Ogden, Utah, USDA Forest Service, Intermountain Research Station.
- ROTHERMEL, R.C. (1983). *How to predict the spread and intensity of forest and range fires*. General Technical Report INT-143, Ogden, Utah, USDA Forest Service, Intermountain Research Station.
- ROUX, D.; SOL, B. (1991). «Participation de Météo-France a la Reunion Technique sur l'Information Meteorologique pour les Incendies de Forêt». *Technical Meeting on Meteorological Information for Forest Fires*. Rabat.
- SALAS, J.; CHUVIECO, E. (1992). «¿Dónde arderá el bosque? Previsión de incendios forestales mediante un SIG». *Actas I Congreso Asociación Española de Sistemas de Información Geográfica y Territorial*. Madrid, AESIGYT, 430-446.
- SEGUIN, B.; ASSAD, E.; FRETEAUD, J.P.; IMBERNON, J.; KERRY, Y.; LAGUARDE, J.P. (1989). «Use of meteorological satellites for water balance monitoring in Sahelian regions». *International Journal of Remote Sensing*, 10, 1101-1117.
- SOL, B. (1989). *Risque numerique meteorologique d'incendies de forêt en zone mediterraneenne*. Note de Travail SMIR/SE, 1.
- TUCKER, C.J.; SELLERS (1986). «Satellite remote sensing of primary production». *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1395-1416.

- VALETTE, J.Ch.; CLEMENT, A.; DELABRAZE, P. (1979). *Inflammabilité d'espèces méditerranéennes*. Avignon: INRA.
- VEGA, C.; CHUVIECO, E.; MARTIN, M.P.; SALAS, J. (1994). «Aplicaciones de la tele-detección a la gestión de incendios forestales». *Jornadas sobre Gestión de Incendios Forestales*. Lleida: Universitat de Lleida.
- VÉLEZ, R. (1991). «Applications des données météorologiques pour la protection contre les feux de forêt». *Technical Meeting on Meteorological Information for Forest Fires*. Rabat.