

La simulació dels incendis forestals al Bages com a mètode de planificació territorial de la prevenció i de l'extinció

Anna Badia, David Saurí, Rufí Cerdan, Joan Carles Llurdés
Departament de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona
anna.badia@uab.es

Resum

Catalunya ha patit en les dues darreres dècades del segle XX els episodis més devastadors dels incendis documentats. Són les comarques centrals on s'han evidenciat els més greus impactes socials, econòmics i ambientals que provoquen. La previsió dels incendis i la planificació de la prevenció i l'extinció es converteix en una prioritat en la lluita contra els incendis forestals. En aquest sentit, els models de simulació es converteixen en una eina de gran utilitat, ja que permeten anticipar comportaments perillosos en la propagació del foc, i, per tant, fan possible racionalitzar i optimitzar els esforços en la planificació i l'ordenació del territori. La simulació que es presenta en aquest article té com a escenari una zona amb grans problemes d'incendis: la comarca del Bages, la qual ha estat objecte d'estudis de gran transcendència, relacionats amb la intervenció en el territori per afrontar la problemàtica dels incendis forestals.

Introducció

Els incendis forestals són un dels principals problemes ecològics, que, durant els mesos d'estiu, més afecten i preocupen als països de clima mediterrani. Catalunya no és una excepció; durant les darreres dues dècades del segle XX,

s'ha vist afectada per una gran quantitat d'incendis i de superfície cremada. Entre el 1983 i el 1999 (període del qual es disposa d'estadístiques oficials), a Catalunya hi va haver més d'onze mil incendis amb quasi 250.000 ha cremades.¹ Els impactes poden ser molt importants tenint en compte que estem en un país força densament poblat, amb un gran nombre d'urbanitzacions i poblament dispers. D'entre les zones més afectades cal destacar la Catalunya central, que va patir els episodis d'incendis més greus dels anys 1986, 1994 i 1998. Una de les comarques més dinàmiques en la preocupació per la prevenció dels incendis ha estat la comarca del Bages, objecte d'anàlisi en aquest treball.²

L'objectiu d'aquest article és avaluar la necessitat d'incorporar la simulació del comportament del foc en el disseny d'un bon pla de prevenció d'incendis, per afrontar de manera més efectiva la lluita contra els incendis forestals. La simulació ajuda a identificar la perillositat d'algunes masses forestals contínues, afavorint el disseny de polítiques reductores del risc. Un dels avatges més importats és el fet que permet anticipar comportaments perillosos, i, per tant, fa possible planificar com caldria estructurar el territori per trencar aquesta continuïtat i/o per dotar-lo de recursos en els punts considerats més perillosos. Cal tenir en compte que el nombre d'incendis no seria tan important si no fos per la dimensió que poden prendre alguns d'ells en localitzar-se sobre extenses masses forestals sense gestionar. Són precisament aquests incendis els més interessants en l'aplicació dels models de simulació.

Un camp de discussió obert en diferents àmbits professionals preocupats pels impactes cada vegada més devastadors dels incendis, és la quantitat d'esforços que es destinen a l'extinció. Però, cal realment invertir tant en apagar focs, o és necessari començar a replantejar-se les polítiques de previsió i prevenció, orientant-les a ordenar i planificar el territori per minimitzar-ne les conseqüències? Aquest és un dels aspectes que s'està debatent en diferents àmbits de la recerca i agents implicats en la lluita contra els incendis forestals.

El desenvolupament de les noves tecnologies, especialment dels Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG), ha estat de gran importància en el tractament de diferents problemes ambientals, per la capacitat d'analitzar gran quantitat d'informació i combinar diferents variables de component espacial. En aquest article es pretén mostrar, mitjançant el cas de la comarca del Bages, exemple de l'afectació dels incendis i de problemes de continuïtat de masses forestals, com la simulació del comportament del foc esdevé una eina molt útil per analitzar diferents escenaris de comportament d'incendis.

1 Dades extretes de la pàgina web de la Generalitat de Catalunya *Prevenció d'incendis forestals*, <http://www.gencat.es/mediamb/incendis/cestad01.htm>

2 Aquest treball forma part d'un estudi molt més extens sobre la comarca del Bages que va guanyar el premi Fundació Caixa de Manresa (Cerdan, 1999).

El problema dels incendis a la Mediterrània

L'ús que s'ha fet del territori al llarg de la història ha donat lloc a un paisatge variat i amb diferents graus d'explotació del terreny, la qual cosa pot haver produït canvis importants en la periodicitat, extensió i intensitat del foc. Històricament, un dels factors que ha fet incrementar el nombre d'incendis i ha provocat un canvi en el comportament del foc, ha estat la urbanització del territori, afavorida pel desenvolupament industrial —que va tenir lloc durant la segona meitat d'aquest segle— i que va comportar, per un costat, un increment de la mobilitat de les persones, densificant l'ús del territori i, per l'altre, un allunyament de les persones del medi i la vida rural, i una lenta però progressiva homogeneïtzació d'àmplies zones del paisatge natural. Un dels problemes a resoldre actualment és la gran continuïtat de les masses forestals. A partir sobretot dels anys seixanta, la superfície forestal cremada s'ha incrementat enormement, la qual cosa s'explica pel diferent ús que fa la societat actual del territori: excessiva freqüentació del bosc, el menor coneixement del camp per part de la majoria de persones que hi treballen i l'abandonament de moltes tasques d'explotació del medi natural (explotació de la fusta, producció de carbó, pasturatges) que no resulten rendibles i que han permès un increment important de la superfície forestal i, per tant, de la quantitat de combustible disponible. La manca d'ordenació forestal dels espais, juntament amb les característiques morfofisiològiques de moltes espècies llenyoses mediterrànies, fa el territori molt més vulnerable als incendis forestals.

Malgrat que els darrers anys han augmentat els incendis forestals, el principal problema de Catalunya no seria el nombre d'incendis si no fos per l'expansió d'alguns d'ells sobre el bosc sense gestionar. A mitjans del segle XIX, la superfície forestal de Catalunya va arribar a mínims històrics: el 20% del territori. L'abandonament de les activitats agràries, en favor de la indústria i el sector dels serveis, va fer incrementar la superfície forestal que se situava precisament en aquests terrenys agraris abandonats; a finals del segle XX, la superfície forestal de Catalunya era del 60% del territori. S'ha passat d'un paisatge configurat per un bosc escàs i grans extensions de cultiu dispers i poc combustibles, a grans concentracions boscoses molt denses i superfícies arbustives molt combustibles. Aquest risc d'incendi és difícil de controlar, perquè el bosc no gestionat per l'ésser humà és el millor combustible per al foc. L'escassa rendibilitat econòmica de l'activitat forestal és l'element clau que ha convertit bona part dels boscos en magatzems de combustible.

L'economia del bosc es va enfonsar als anys cinquanta i seixanta, quan el carbó i la llenya van deixar de ser combustibles bàsics. Aquest fet, juntament amb l'abandonament dels cultius de secà i activitats ramaderes en extenses zones, ha afavorit l'expansió de les masses contínues de vegetació llenyosa densa, que faciliten la ràpida propagació dels incendis. Alhora, la desaparició de les poblacions rurals fa que la intervenció en iniciar-se l'incendi, no

pugui ser tan ràpida. L'administració, els científics i els propietaris forestals coincideixen que és imprescindible gestionar el bosc per evitar els efectes catastròfics del foc. Les discrepàncies sorgeixen quan apareix el tema del finançament: qui paga a qui per a mantenir i millorar la qualitat dels boscos de què gaudeix el conjunt de la societat? Falten recursos per a la implantació massiva dels principis de gestió sostenible, en els quals s'ha de tenir en compte no només la rendibilitat, sinó també la necessitat de mantenir la biodiversitat. Mentrestant, el bosc mediterrani, poc productiu i molt vulnerable als incendis, segueix creixent.

Els SIG i la simulació del comportament dels incendis com a suport a la planificació territorial de la prevenció

Aplicació i desenvolupament dels SIG en la lluita contra els incendis forestals

La importància dels incendis forestals explica el gran interès en el desenvolupament de models i aplicacions suportades en les noves tecnologies, orientades a lluitar contra aquest problema. L'objectiu d'aquests models és aconseguir predir en quines circumstàncies es produiran i quins són els llocs amb més probabilitats que hi hagi ocurrències i, si és així, com es desenvoluparan (VÉLEZ, 1988).

Els SIG ofereixen la possibilitat d'actuar com a eina de suport a la presa de decisions sobre la problemàtica dels incendis forestals, ja que són capaços de capturar, emmagatzemar, manipular, analitzar, modelitzar i presentar dades referenciades espacialment per a la resolució de problemes complexos de planificació i gestió (NCGIA, 2000). Els principals avantatges dels SIG respecte altres sistemes d'informació són: la possibilitat de treballar amb informació georeferenciada i les seves capacitats d'anàlisi espacial —combinant diverses informacions espacials—, i la facilitat de poder posar en relació objectes espacials amb els seus atributs temàtics.

La quantitat i qualitat de models ha augmentat enormement des dels primers sistemes de càlcul utilitzats per a la predicció del risc i del comportament dels incendis forestals, fins els mètodes utilitzats actualment. De la mateixa manera, els sistemes d'informació utilitzats en tots els processos de modelització han anat millorant. Ha estat un avenç important el pas de l'aplicació d'aquells models sense cap suport informàtic a aquells models basats en un sistema interactiu que integren diversos mòduls d'anàlisi. Aquests es basen en un SIG per a ser específicament aplicat a la gestió dels incendis forestals. S'ha passat, doncs, per un procés intens d'investigació tant en el camp de la problemàtica dels incendis forestals com en el de les tecnologies de la informació, la qual cosa ha facilitat un coneixement més exhaustiu tant dels processos d'ignició com de propagació.

Els models de simulació

La simulació és el procés mitjançant el qual es designa un model d'un sistema real i es porten a terme experiments amb la finalitat de descriure, explicar i preveure el desenvolupament d'un procés (MAGUIRE, 1989). La simulació és de gran utilitat per entendre el comportament de fenòmens amb un fort component espacial. Es pot utilitzar per preveure el futur i el passat de distribucions geogràfiques i processos espacials complicats.

Els models de simulació aplicats al problema dels incendis tenen com a principal objectiu reproduir el comportament d'un incendi sota unes condicions favorables de propagació. Aquests models permeten, per un costat, calcular la velocitat de propagació i la direcció del front de la flama i, per l'altre, assajar pautes de comportament. D'aquesta manera és possible analitzar situacions perilloses i, per tant, ajudar a la planificació dels equipaments i recursos d'extinció, així com avaluar possibles necessitats en la reordenació del territori.

Els primers estudis basats en la propagació del foc i dirigits pel Servei Forestal dels EUA se centraven en l'estudi de les relacions existents entre les condicions de combustió i les variables que podien ajudar als responsables de la gestió forestal a resoldre els problemes dels incendis. Es va arribar a la conclusió que les variables com la humitat i càrrega del combustible, la velocitat del vent, la humitat relativa de l'aire, el pendent i l'orientació tenien uns efectes directes sobre els incendis. FONS (1946) va ser el primer que va descriure la propagació del foc utilitzant un model matemàtic, fixant-se en l'escalfor del foc, i en la manera com els combustibles lleugers transporten el foc i on hi ha suficient oxigen per a suportar la combustió. A partir d'aquí van anar sorgint altres models matemàtics amb l'objectiu de calcular la velocitat de propagació i la intensitat del foc (ROTHERMEL, 1972; DEEMING et al. 1972; ALBINI, 1974). El model matemàtic desenvolupat per ROTHERMEL l'any 1972 és el més conegut i estudiat, i ha estat el punt de referència de molts altres models tant de risc d'incendi (tot i que en molts d'aquests només ha estat un punt de referència teòric) com de predicció del comportament del foc. *El National Fire Danger Rating System* (NFDRS), desenvolupat pel Servei Forestal dels EUA (DEEMING et al. 1972, 1974) té les seves arrels en el model matemàtic desenvolupat per ROTHERMEL (1972). El NFDRS es va anar refinant i van aparèixer noves versions, afegint nous models de combustible (DEEMING et al. 1974; DEEMING et al. 1978; BURGAN, 1989). A partir d'aquest moment es van desenvolupar alguns programes que permetien calcular els paràmetres globals del comportament del foc. El més destacat i aplicat, i que de fet és el més adaptat per diverses administracions de països amb una gran problemàtica d'incendis forestals, és el programa BEHAVE, desenvolupat pel Servei Forestal de Montana (ANDREWS, 1983; ANDREWS, 1986; BURGAN i ROTHERMEL, 1986; ANDREWS i CHASE, 1989; ANDREWS i BRADSHAW, 1990).

Un dels principals objectius del desenvolupament posterior de models de comportament del foc ha estat la simulació espacial de la propagació dels incendis forestals. Seguint els principis de les formulacions dels models matemàtics

esmentats anteriorment, han anat sorgint una sèrie d'aplicacions interessades sobretot en el component espacial de la simulació. Cal destacar el programa CARDIN, que es basa en el contagi de cel·les reproduint una estructura el·líptica de la propagació del foc (MARTÍNEZ-MILLÁN, 1991) o els models basats en autòmats cel·lulars, com l'aplicat per CLARKE et al. (1994) o el model desenvolupat pels canadencs anomenat *Firestorm* (LEE, 1990; BUCKLEY i LEE, 1993). Actualment, el sistema més adaptat i aplicat ha estat el programa FARSITE,³ del Laboratori del Foc del *Servei Forestal* de Montana, que té els seus fonaments en el programa BEHAVE (FINNEY, 1998; FINNEY et al. 1998). L'ús de FARSITE⁴ s'ha generalitzat pel servei de parcs naturals del Servei Forestal dels Estats Units i per altres agències de gestió del sòl, tan federals com estatals. A Catalunya tenim un exemple de la seva aplicació a CERDAN et al. (1999), on s'ha simulat el comportament del foc en diversos escenaris perillosos per la comarca del Bages.

La simulació del comportament s'ha realitzat tradicionalment mitjançant formulacions matemàtiques que calculen la velocitat de propagació i la intensitat del front de la flama. La introducció del component espacial en la simulació ha permès representar la velocitat de propagació sobre el terreny convertint la simulació en una eina més eficaç de cara a la previsió, la prevenció i la planificació territorial en general, en facilitar l'anàlisi espacial de les interaccions que s'estableixen en el territori. És el desenvolupament de les tecnologies de la informació el que ha fet possible l'evolució d'aquests models de comportament, ja que els sistemes d'informació tradicionals aplicats als primers models matemàtics tenien les seves limitacions tant de resultats com de velocitat d'aplicació. Amb els anys, aquests sistemes han permès integrar i relacionar nous components donant més consistència als mateixos models.

La simulació del comportament del foc permet una avaluació anticipada de les accions necessàries per a millorar les condicions del territori i per lluitar amb més eficàcia contra els incendis. Proporciona la base relacional sobre la qual concretar les mesures preventives que donin contingut a la planificació territorial.

Anàlisi de la vulnerabilitat del territori front als incendis forestals. El cas de la comarca del Bages

Anàlisi del risc

La determinació del risc d'incendi ha estat una de les aplicacions més experimentades en la utilització dels SIG en la lluita contra els incendis forestals

³ Aquest programa és de domini públic i es pot descarregar a l'adreça: <http://www.farsite.org/>

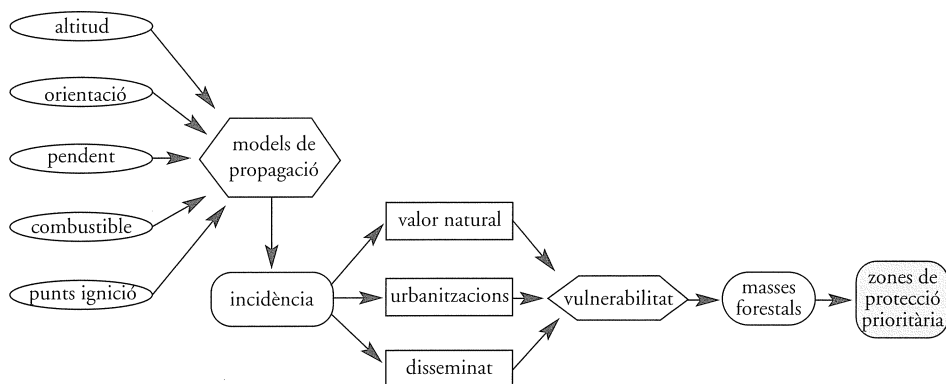
⁴ Tot i ser un sistema de simulació força acceptat, cal tenir en compte un aspecte dels incendis que continua essent difícil de simular: el comportament del vent. En un curs sobre el funcionament i aplicació d'aquest programa, impartit pel mateix Mark Finney, que va tenir lloc a Solsona l'abril de 1998, es feia ressó del problema de simular el comportament del vent, en plantejar enormes dificultats, ja que no només s'ha de tenir en compte el vent atmosfèric, que és variable, sinó el contacte d'aquest amb les mateixes turbulències que crea l'incendi.

(CHUVIECO i SALAS, 1996; NUNES et al. 1996; SALAS i CHUVIECO 1990; VASCONCELOS, 1995; FINNEY et al. 1995, FINNEY et al. 1998). Un dels aspectes més plantejats és el coneixement aproximat de les zones amb més incidència d'incendis (tant per controlar el número d'incendis com per evitar la seva propagació). Hi ha dues aproximacions principals a aquest problema i que tenen en comú l'estudi de les condicions físiques del territori, però que divergeixen en allò que volen predeterminar. Hi ha metodologies que estudien la probabilitat que es produeixi un incendi, el risc d'ignició, i unes altres que analitzen les condicions de propagació de l'incendi una vegada declarat, el risc de propagació (BADIA et al. 1999).

Per a les primeres, es posa en relació unes determinades condicions físiques del territori, conjuntament amb la localització d'infraestructures i activitats que propicien l'inici dels focs, i es comparen amb la distribució territorial dels incendis coneguts. En el segon cas és imprescindible valorar la propagació del possible incendi i les seves repercussions, i mesuren la vulnerabilitat entesa com l'afectació potencial dels ecosistemes i assentaments humans del territori. En aquest cas, el propòsit final és la determinació d'aquelles zones que requereixen una protecció prioritària, i per això s'ha utilitzat aquesta segona metodologia que valori la distribució territorial de les possibles conseqüències (Figura 1).

L'interès bàsic de la diferenciació territorial del risc (que avalua els impactes en el medi natural i en els assentaments humans) permet equilibrar les intervencions preventives territorials, cosa que en aquests moments no es fa.

Figura 1
Anàlisi del risc



Aplicació del model de simulació a la comarca del Bages⁵

La comarca del Bages s'ha d'enfrontar al creixement descontrolat de la superfície forestal fruit de l'abandonament de les activitats agrícoles no rendibles. Amb una superfície total de gairebé 130.000 ha, més del 70% és forestal. La taula 1 mostra les estadístiques d'incendis de l'àrea d'estudi durant el període 1983-1998. Com es pot comprovar, els anys més crítics van ser el 1985, el 1986, el 1994 i el 1998, en què es va cremar el 94.5% de la superfície cremada durant tot el període del qual es disposa de dades oficials. És per aquest motiu que el Bages es converteix en un àmbit de gran interès on assajar noves metodologies per preveure comportaments perillosos i àrees vulnerables als gran incendis forestals.

Taula 1
Nombre d'incendis i superfície forestal cremada al Bages (1983-1998)

Any	nombre d'incendis	Superfície cremada (ha)
1983	31	1.657
1984	14	19
1985	31	4.639
1986	32	4.638
1987	10	18
1988	17	119
1989	16	47
1990	26	62
1991	39	310
1992	18	7
1993	44	120
1994	59	14.049
1995	22	10
1996	16	18
1997	24	8
1998	44	18.211

Per fer aquesta anàlisi de la vulnerabilitat, s'ha fet ús del programa FARSITE, per ser el programa més elaborat i una continuació del primer programa conegut i extensament utilitzat, que preveia el comportament del foc, BEHAVE. Un i altre es basen en la reducció de la vegetació a models de combustibles d'estructures conegudes, que responen a la propagació segons les pautes observades en el laboratori per a condicions ambientals determinades.

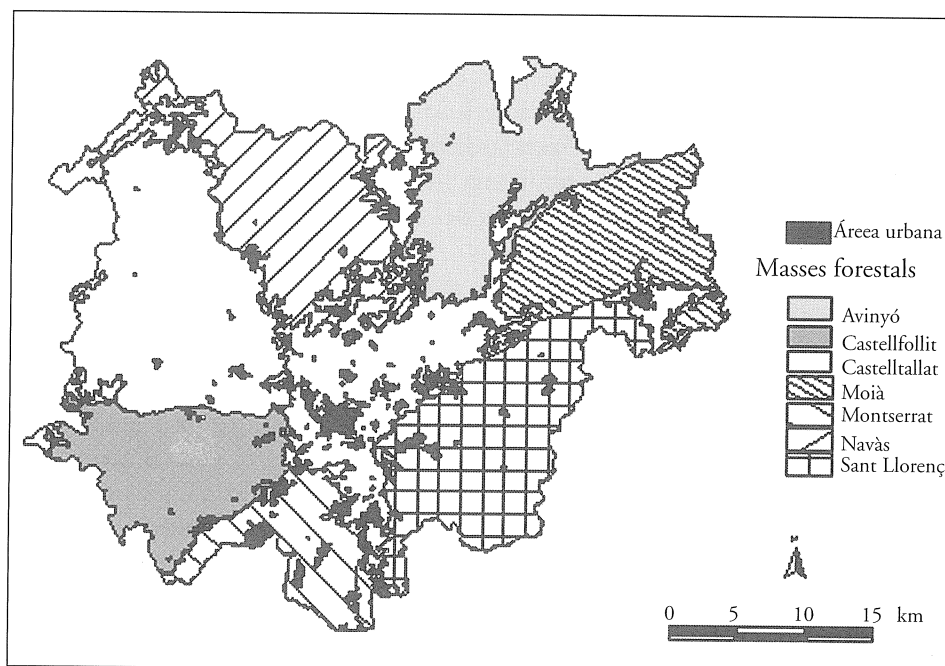
⁵ El model que es presenta en aquest apartat forma part d'un estudi molt més extens que va guanyar el premi Fundació Caixa de Manresa l'any 1998 (CERDAN et al. 1999).

Per a l'anàlisi de la vulnerabilitat s'ha distribuït l'àmbit en una sèrie de masses forestals contínues. En termes d'incendis forestals, podríem definir una massa forestal contínua com aquella en què el foc pot avançar sense cap interrupció que faci reduir la intensitat del foc. Cal partir, doncs, d'aquestes superfícies com a base de la planificació de possibles trencaments i discontinuïtats que puguin aturar tant la propagació del foc, com permetre l'accés de les brigades d'extinció.

Aquestes masses s'han delimitat a partir de la base d'usos del sòl agrupant els usos segons si són combustibles o no combustibles. A partir d'aquí, s'han delimitat les diferents masses en funció de les principals línies de trencament que configuren la xarxa hidrogràfica i la xarxa viària (BADIA et al. 2001). D'aquesta metodologia en surten les masses de vegetació que es poden observar al mapa 1.

La delimitació d'aquestes àrees és, doncs, el punt de partida per a l'aplicació de la simulació al territori del Bages, els resultats de la qual resulten de gran interès per a la seva integració en altres fases de la previsió, la prevenció i la planificació dels equipaments i infraestructures per a l'extinció com, l'organització de la discontinuïtat de les masses de vegetació, disseny de barreres de trencament, anàlisi de l'accessibilitat a les zones considerades de més risc, anàlisi de la visibilitat de les zones més perilloses des de diferents punts de guaita, etc.

Mapa 1
Les diferents masses forestals a la comarca del Bages



Característiques i inputs del programa FARSITE

El programa FARSITE és un model per simular espacialment i temporalment la propagació i el comportament dels incendis sobre unes condicions de terreny, de combustibles i meteorològiques heterogènies (FINNEY, 1998). El procés en el qual es basa aquest programa és molt similar als mètodes utilitzats manualment amb la mateixa finalitat (ROTHERMEL, 1983). La diferència és que el procés és automàtic, ràpid i més detallat que l'elaborat a mà. A més és possible exportar les dades generades, numèricament i gràficament a altres aplicacions i en altres plataformes SIG.

Voler assignar un model de propagació en un àmbit determinat obliga a conèixer les característiques del combustible, així com la seva localització en la topografia i l'entorn de cada punt d'ignició. FARSITE necessita el suport d'un SIG per generar, manipular i proporcionar dades espacials com els models de combustible, i la topografia. Les bases cartogràfiques necessàries per portar a terme la simulació del comportament del foc són les següents:

- L'altitud: és necessari per a l'ajustament adiabàtic de la temperatura i la humitat i per la conversió de la propagació del foc d'horitzontal a vertical.
- El pendent: necessari per calcular els efectes del pendent sobre la propagació del foc i per l'efecte de la radiació solar.
- L'orientació: per representar els efectes de la insolació.
- Els models de combustible, que proporcionin una descripció qualitativa d'un tipus general de vegetació —qualitat i quantitat del combustible viu i mort, mida de les partícules i profunditat del llit del combustible— els quals s'utilitzen en un model matemàtic per tal de calcular com cremaran els diferents tipus de vegetació sota diferents condicions mediambientals. En aquest cas s'ha hagut d'adaptar les característiques de la vegetació d'aquesta zona als models de combustible estandarditzats proposats per Rothermel.
- Recobriment forestal: per tenir una idea de l'espessor de la vegetació de cara a calcular possibles intensitats del foc.

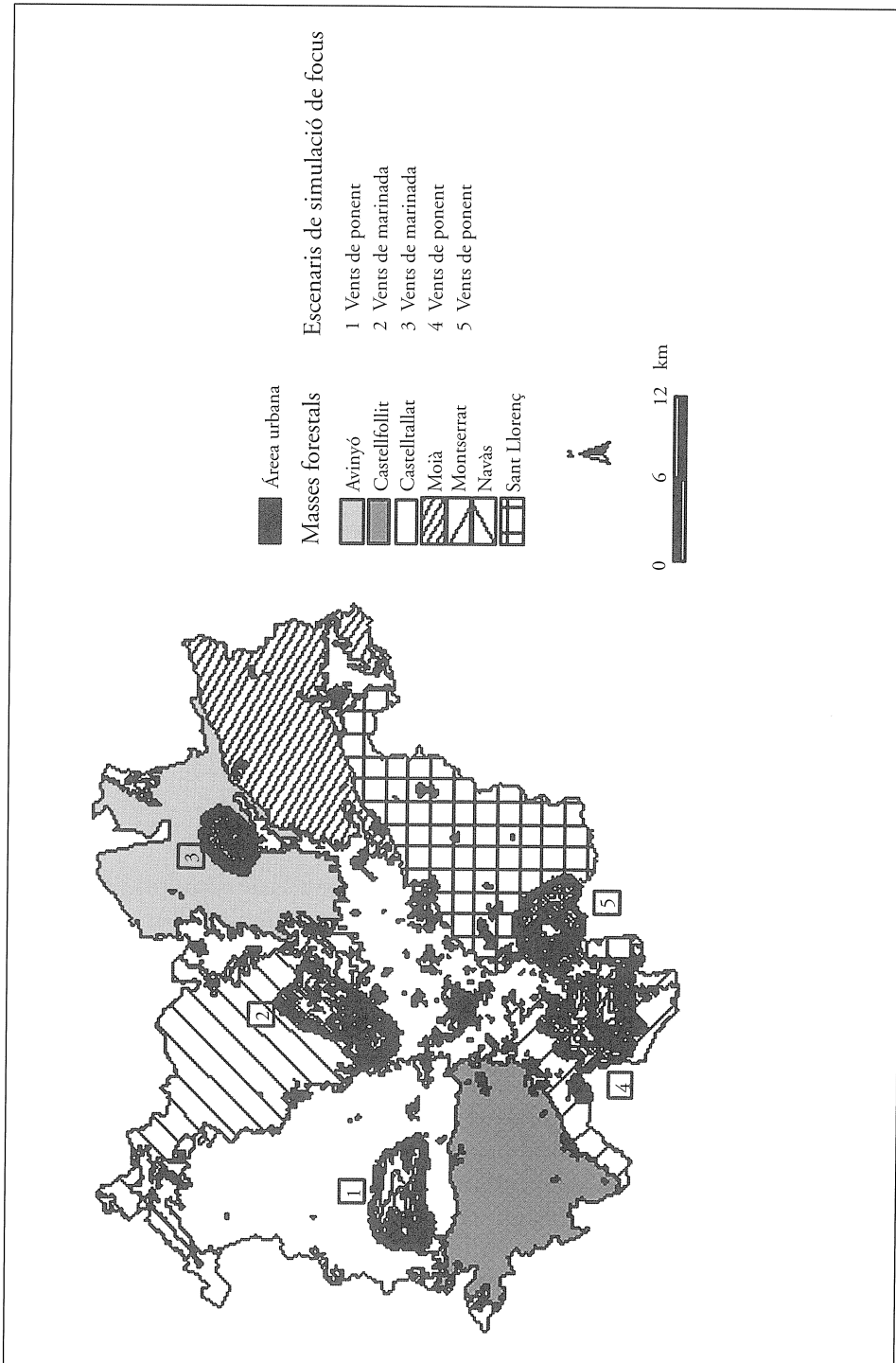
A part d'aquestes bases territorials la simulació del comportament del foc requereix unes altres variables no espacials en forma tabular i que fan referència a la informació meteorològica. Aquestes són les següents: temperatura, humitat, precipitació, direcció i velocitat del vent i cobertura de núvols.

El programa de simulació permet determinar les zones que podrien resultar afectades pels incendis, a partir dels focus d'ignició més probables d'acord amb les estadístiques històriques. Per tant, poden avaluar els impactes potencials sobre els espais naturals i els assentaments humans. La simulació reiterada segons diferents escenaris en les diverses masses forestals de la comarca, permetrà una diferenciació territorial dels riscos.

El primer pas per a l'aplicació del model ha estat la reducció de la vegetació dels Bages a una malla de cel·les on cadascuna es correspon a un dels models

Mapa 2

Simulació del comportament del foc a partir de diferents punts d'ignició



de combustible, combinant aquesta informació amb el model digital d'elevacions (MDT) i els seus derivats (orientació i pendent) i amb una capa que reflecteix el percentatge de cobertura forestal. Seguidament, a partir dels punts d'ignició que van tenir lloc l'any 1994, s'han portat a terme diferents simulacions les quals poden observar-se al mapa 2. Aquestes són simulacions en les quals se suposa que no hi ha cap intervenció, la qual cosa permet avaluar la vulnerabilitat de cadascuna de les masses de vegetació.

S'han efectuat les simulacions partint de focus realment existents en algunes masses de vegetació conflictives. En conjunt el balanç de les afectacions dels incendis simulats segons l'escenari de vents de marinada i de ponent, permet destacar com a més perillosa la que té lloc a la massa de Navàs seguida per la massa de Montserrat, que afecten diversos nuclis de població. Cal tenir en compte que algunes d'aquestes simulacions afecten considerablement espais naturals protegits, com és el cas de la simulació a la massa forestal de Castelltallat. Les mesures a prendre han d'avaluar doncs aquestes diferents afectacions, ja que les mesures a prendre no són les mateixes en un cas que en l'altre.

En definitiva, la metodologia assajada en aquest estudi és perfectament factible i recomanable com a vàlida per adoptar decisions sobre la prioritització de les propostes d'equipament del territori, i l'emplaçament de les línies de contenció del foc i àrees tallafoc. De totes maneres cal ser prudents en la interpretació dels resultats i considerar el fet que en una simulació no és possible reproduir exactament la complexitat de les interaccions que es donen en un incendi. Els problemes principals podríem centrar-los, per un costat, en la simulació del vent, i, per l'altre, l'adaptació dels models de combustibles del context mediterrani als proposats pel programa FARSITE.

Propostes que se'n poden derivar

S'ha insistit en els avantatges que aporten els models de simulació en la lluita contra els incendis pel fet d'anticipar comportaments perillosos en determinades condicions territorials i meteorològiques. Cal tenir en compte, que aquests models són més útils en la previsió i en la prevenció dels incendis, que en situacions d'emergència real. És més efectiu invertir els esforços i recursos a evitar que s'iniciï un incendi i que aquest es propagui, així com mitigar-ne les conseqüències, que preocupar-se només en el moment de l'emergència; en aquest darrer cas, és possible la repetició de situacions com la que es va donar l'estiu de l'any 1994 on la simultaneïtat d'incendis en diversos indrets de Catalunya va provocar un gran nombre d'incendis catastròfics i greus conseqüències socials, econòmiques i ambientals.

La simulació permet sistematitzar tot un conjunt de propostes orientades a la intervenció i l'ordenació del territori. A continuació s'exposen tot un conjunt de propostes que es poden derivar de l'anàlisi de la perillositat de determinats punts d'ignició en alguns indrets, on la simulació ha demostrat que en

condicions meteorològiques adverses i amb la continuïtat de les masses forestals existents, els impactes dels incendis poden ser molt negatius. Aquestes propostes s'han adaptat a partir de NUNES et al. (1996).

- Canvis de combustibilitat
 - Gestió forestal
 - Neteja de boscos
 - Homogeneïtzació
 - Substitució d'espècies forestals
- Anàlisi de factors territorials de dificultat d'extinció
 - Continuïtat de les masses forestals
 - Dificultats d'accés
 - Distància a camins
 - Densitat de la xarxa de camins
 - Transibilitat dels camins
 - Dificultat d'operació
 - Pendents
 - Situació dels camins en relació als pendents
- Anàlisi de la visibilitat
 - Identificació de zones fosques
- Avaluació de la vulnerabilitat dels assentaments humans
 - Nuclis
 - Masies habitades
 - Indústries aïllades
 - Zones de lleure
- Cremes prescrites

Les simulacions portades a terme a la comarca del Bages serveixen, doncs, com a suport a la presa de decisions en dos àmbits de la lluita contra els incendis: en totes aquelles mesures que tenen a veure amb el moment de l'extinció i amb les mesures de cara a la prevenció i l'ordenació del territori. En tots dos casos implica intervenir en la reestructuració territorial.

El mapa 3 és un exemple de com a partir de la simulació és possible reforçar els mètodes de lluita amb el disseny de línies de trencament. En aquest cas, a partir de la simulació de l'incendi de Navàs de l'any 1985, s'ha dissenyat un tallafoc tenint en compte els vials ja existents. L'amplada que pot ser suficient per aturar l'avenç de les flames està en funció de totes les condicions que influeixen en la intensitat calòrica del front i la longitud de les flames. Els models de simulació de la propagació poden servir per reforçar algunes de les propostes d'amplades apuntades, però no poden reproduir encara la complexitat dels focs de capçades, i de les reproduccions a partir de les espurnes enceses i projectades a molts metres per davant del front del foc. D'altra banda, l'establiment de les línies de discontinuïtat, és el resultat de la consideració d'altres factors socials i econòmics que tenen gran importància (viabilitat econòmica, soste-

nibilitat ecològica i acceptació social) i que condicionen una proposta com la d'aquest estudi.

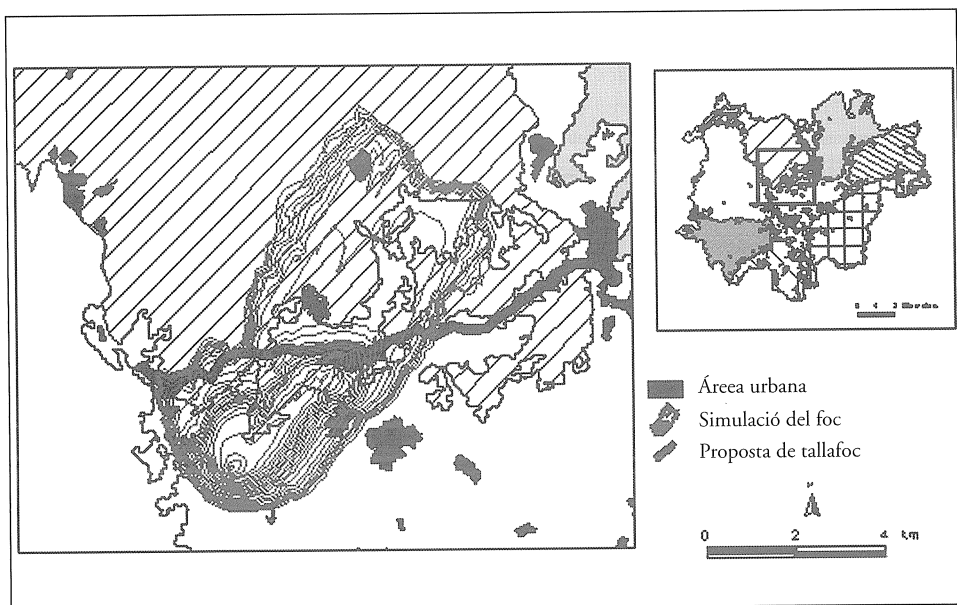
La zona reproduïda en detall al mapa 3, presenta una peculiar distribució dels camps de cultiu que podria fàcilment representar una barrera d'amplada considerable (200 m), tan sols actuant en les zones en que els combustibles es connecten entre el nord i el sud de la franja. Aquesta actuació permetria incrementar de forma notable la seguretat de la zona.

Conclusions

Els models de simulació del comportament del foc han demostrat ser una eina de gran utilitat de cara a la previsió i l'estructuració del territori per a una millora de la prevenció i l'extinció. Ens ofereix alternatives que poden ser més efectives a l'hora de lluitar contra els incendis forestals, donant-nos una visió més àmplia de com intervenir en el territori per mitigar els greus impactes socials, econòmics i ambientals dels incendis.

Aquest mètode per avaluar la vulnerabilitat del territori fa possible sistematitzar aquelles mesures destinades a evitar un esdeveniment de gran magnitud, una vegada s'ha produït la ignició. Permet avaluar si hi ha masses de vegetació contínues més perilloses que altres, quina és l'efectivitat dels diferents elements de trencament de la continuïtat i si els equipaments i recursos d'extinció estan ben distribuïts. En definitiva, permet preveure comportaments perillosos, i,

Mapa 3
Proposta de línia de trencament



per tant, racionalitzar la intervenció en el territori i optimitzar la distribució dels equipaments i infraestructures d'extinció.

Les utilitats d'aquests simuladors es poden sintetitzar en els següents punts:

- anàlisi, planificació i justificació de les actuacions preventives contra incendis,
- valoració econòmica de l'impacte dels incendis forestals (reals o simulats) en diferents escenaris,
- recolzament a les tasques d'extinció.

Tot i que inicialment aquests programes també van ser pensats per treballar en el camp en el moment de l'incendi, la seva utilitat real es centra bàsicament en l'assaig a laboratori amb la finalitat d'avançar-se en la previsió, la prevenció i la distribució dels equipaments i infraestructures d'extinció.

Per afrontar el problema dels incendis és fonamental el coneixement a fons de tots els elements que hi intervenen. En aquest sentit, els models de simulació, tot i les seves limitacions, ens ofereixen la possibilitat d'entendre determinats processos que altrament no seria possible. Cal, però, ser prudents en la interpretació dels resultats de les simulacions i considerar conjuntament altres agents que intervenen en els incendis. El fenomen dels incendis és molt complex pel gran nombre de factors que interactuen en el territori, i en una simulació és difícil reproduir les condicions exactes que s'hi donen. En la planificació i ordenació del territori de cara a optimitzar la lluita contra els incendis forestals, cal considerar diferents professionals i agents socials implicats, que ofereixin diferents punts de vista de com s'ha d'afrontar el problema; el que és un risc per un costat, pot ser vist com un recurs per un altre.

Cal, malgrat tot, insistir en com aquests models faciliten l'estudi de les millors localitzacions dels recursos d'extinció i la identificació de punts amb major risc que es produeixin incendis amb importants conseqüències. És sobre aquests punts que cal intensificar les mesures preventives i, per tant, racionalitzar la planificació i l'ordenació territorial.

Bibliografia

- ALBINI, F.A. (1976). *Computer-based Models of wildland Fire Behavior: A Users Manual*. Ogden: Utah, USDA Forest Service, Intermountain Research Station.
- 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. USDA, Forest Service.
- ANDREWS, P.L.; CHASE, C.H. (1989). *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.; 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.
- BURGAN, R.E.; ROTHERMEL, R.C. (1986). *BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system -fuel subsystem*, Gen. Tech. Rep. Int-167. USDA, Forest Service.
- BADIA, A.; CERDAN, R.; LLURDÉS, J.C.; SAURÍ, D. (1999). «Forest Fire Management in Catalonia: an analysis of the current situation and a GIS-related proposal for its improvement». *2nd International Disaster and Emergency Readiness. 5th International Emergency Planning Conference*, The Netherlands Congress Center. The Hague.
- BUCKLEY, D. J.; LEE, B.S. (1993). «Forestry Canada applies GIS technology to forest fire management». *GIS '93 Symposium*, Vancouver, British Columbia, p. 109-113.
- BURGAN, R.E. (1989). «1978 National Fire Danger Rating System Revisions». Presentat a *10th Conference on Fire and Forest meteorology*, April 17-21, Ottawa, Canada.
- CERDAN, R.; BADIA, A.; FERRERO, I.; LLURDÉS, J.C.; SÁNCHEZ, F.; SAURÍ, D. (1999). Planificació territorial i organització de la lluita contra els incendis forestals al Bages. Anàlisi, ponderació i programació de procediments i actuacions de prevenció i de previsió per la defensa del territori del Bages contra els incendis forestals, amb els agents implicats. *Premi Fundació Caixa Manresa* (Inèdit).
- CHUVIECO, E.; SALAS, J. (1996). «Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS». *International Journal of geographical Information System*, 10(3), p. 333-345.
- CLARKE, K.C.; BRASS, J.A.; RIGGAN, P.J. (1994). «A Cellular Automaton Model of Wildfire Propagation and Extinction». *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 60 (11), p. 1355-1367.
- DEEMING, J.E. et al. (1972) *National Fire-Danger Rating System* US Forest Service, Research Paper RM-84
- DEEMING, J.E. et al. (1974). *National Fire-Fire Danger Rating System*. US Forest Service, Research Paper RM-84 revised.
- DEEMING, J.E. et al. (1978). *The National Fire-Fire Danger Rating System*, US Forest Service, Gen. Tech. Rep. INT.39.
- FINNEY, M.A. (1998). *FARSITE: Fire Area Simulator -Model development and evaluation*. USDA Forest Service Research Paper RMRS-RP-4 47 p.
- FINNEY, M.A.; ANDREWS, P.L. (1998). «Application and Status of the FARSITE Fire Area Simulator». *III International Conference on Forest Fire Research. 14th Conference on Fire and Forest Meteorology* Vol I p. 755-760.
- FINNEY, M.A.; RYAN K.C. (1995). Use of the *FARSITE* fire growth model for fire prediction in US National Parks. Proc. The International Emergency Mgt. and Engineering Conf. May 1995 Sofia Antipolis, France.

- FONS, W.T. (1946). «Analysis of fire spread in light forest fuels». *J. Agric. Res.* 72(3), p. 93-121.
- LEE, B.S. (1990), «An overview of IFMIS: the Intelligent Fire Management Information System». *International Conference on Forest Fire Research*, Nov. 19-22, 1990, Coimbra, Portugal.
- MAGUIRE, D. (1989), *Computers in Geography*. Longman Scientific & Technical.
- MARTINEZ-MILLÁN, J. et al. (1991). *CARDIN, un sistema para la simulación de la propagación de incendios forestales*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid, Investigación Agraria. Sistemas y recursos Forestales, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, vol. 0.
- NCGIA (2000). *Core curriculum in GIScience*. Santa Barbara: Universitat de Califòrnia. <http://www.ncgia.ucsb.edu/education/curricula/giscc>
- NUNES, J.; CERDAN, R.; SÁNCHEZ, F.; BADIA, A.; FERRERO, I. (1996). «Desenvolupament d'un sistema d'informació geogràfica per a la lluita contra els incendis forestals». *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 28, p. 55-78.
- 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. USDA». *For. Serv. Gen. Tech. Rep.* INT-143.
- VASCONCELOS, M.J.P, (1995). «Integration of remote sensing and geographic information systems for fire risk management». *Proceedings of International Workshop Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management*. Universidad de Alcalá de Henares, p. 129-147.
- VÉLEZ, R. (1988). «Predecir para prevenir. Aplicación de la predicción del peligro de incendios forestales». *Seminario ECE/FAO/OIT sobre predicción de incendios forestales*. València.