

[GO 02.01_d]

GUIA OPERATIVA. EXTINCIÓ D'INCENDIS FORESTALS

Comportament de l'Incendi Comportament Extrem



Març, 2011

Atenció

Aquest document encara es troba en fase d'elaboració. L'objectiu d'aquest esborrany és facilitar i promoure un document final que reculli les propostes i coneixements de tot el personal del Cos de Bombers.

Donat que es tracta d'un projecte de treball, pot contenir errors, inexactituds o ser incomplet.

La informació continguda en aquest document s'actualitza constantment, per tant, està subjecte a canvis sense previ avís fins a la data prevista d'aprovació definitiva del document (31/09/2011), i no es pot interpretar com un compromís per part de qualsevol persona que hagi participat en la seva elaboració.

Qualsevol comentari, proposta de millora o d'esmena formal serà benvinguda i es pot fer arribar a doperacions.bombers@gencat.cat

Abans d'imprimir aquest document, recordeu que tots els parcs de bombers rebran un exemplar imprès per al seu estudi. Us recomanem la lectura del document en format electrònic.

Guia Operativa 2.01d

Extinció d'Incendis Forestals

Comportament de l'Incendi

Comportament

Extrem

Les Guies Operatives son recomanacions i orientacions per realitzar una tasca o resoldre una actuació, estant sempre supeditades a les Instruccions Operatives i a les ordres del Cap d'Intervenció. Si el seguiment d'aquesta guia operativa pot suposar un risc per a l'equip d'extinció, o el Cap d'Intervenció determina que aquest no és el millor curs d'actuació, serà necessari defugir la metodologia expressada en aquesta guia operativa a favor d'un curs d'actuació més segur i eficaç.

Març, 2011



CONTINGUT

Introdució.....	5
Factors que Contribueixen al Comportament Extrem	7
Combustible Disponible	7
Vent	11
Inestabilitat Atmosfèrica	12
Característiques del Terreny	13
Foc de Capçades	14
Condicions que Afavoreixen el Foc de Capçades	15
Focus Secundaris.....	19
Factors.....	19
Abast.....	21
Definició Lineal Mínima.....	22
Probabilitat de Ignició dels Focus Secundaris	23
Àrea de Ignició.....	24
Vòrtex	24
Bibliografia	25

INTRODUCCIÓ

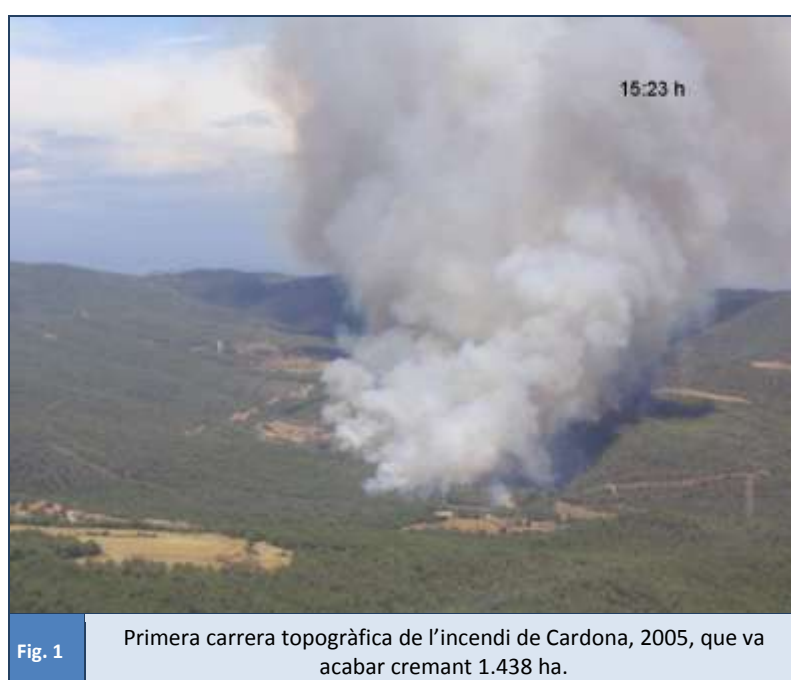
A la GO 01.02a "Comportament de l'Incendi" explicàvem el comportament de l'incendi en les seves dues dimensions, longitud i extensió. Introduïem també la tercera dimensió de l'ambient de foc, la dimensió vertical generada per la columna convectiva de l'incendi. La dimensió vertical és l'autèntic motor dels grans incendis forestals, pot iniciar la interactuació de diversos factors de l'entorn fins a generar les condicions necessàries perquè un incendi forestal mostri un comportament extrem, és a dir, una situació d'incendi amb un increment sobtat de la intensitat i velocitat de propagació, fora de la capacitat d'extinció de les unitats al lloc, difícilment previsible, i que, generalment, compta amb una, o més, de les següents característiques:

- Columna convectiva molt desenvolupada i que domina la meteorologia local, transformant-la en meteorologia erràtica de tempesta.
- Alta velocitat de propagació.
- Front(s) de l'incendi d'alta intensitat.

Per als equips d'intervenció, normalment aquestes característiques es manifesten com:

- Foc de capçades, quan l'incendi es desplaça cap al dosser arbrat i crema amb gran intensitat;
- Una considerable creació de focus secundaris a llarga i curta distància;
- Presència de remolins de foc;

Algunes d'aquestes característiques, o totes elles, poden aparèixer en un incendi simultàniament o individualment, en diferents moments o en diferents llocs. L'objectiu últim d'aquesta guia és que vostè pugui preveure la seva aparició i actuar en conseqüència, o el que és més important: saber reconèixer quan un incendi forestal manifesta un comportament extrem que supera la seva capacitat d'extinció.



Primera carrera topogràfica de l'incendi de Cardona, 2005, que va acabar cremant 1.438 ha.



Cal recordar que el comportament extrem de l'incendi, tot i ser episodis de baixa freqüència, ha estat el principal responsable de la majoria d'accidents mortals per atrapament. El caràcter sorprenent de la seva intensitat i velocitat dóna com a resultat l'atrapament de grups sencers de bombers. En els darrers vint anys, a Espanya han mort 34 bombers en 11 accidents directament relacionats amb un comportament extrem de l'incendi. Caldria destacar entre ells els incendis de Grazalema (Cadis) 1992, Serra del Racó (Madrid) 1992, Nonasp (Saragossa) 1994, Alájar (Huelva) 1999, Riba de Saelices (Ciudad Real) 2005, i, finalment, Horta de Sant Joan (Tarragona) 2009.

La terminologia que s'utilitza per nomenar un episodi o situació d'un incendi que mostra un comportament extrem és molt variada. Els anglosaxons utilitzen els termes "*blow-up*", "*fire storm*", "*flare-up*", a Espanya i Portugal "*fuego explosivo*", "*tormenta de fuego*", o més recentment, "*fuego eruptivo*". Atès que la denominació "*comportament extrem*" és prou aclaridora i s'explica per si mateixa, aquest serà el terme que s'utilitzarà en aquesta guia per a nomenar qualsevol situació d'incendi que s'ajusti a les característiques d'una situació o episodi d'incendi amb velocitat i intensitat del front de flames molt per sobre de la capacitat d'extinció.



Fig. 2

Incendi d'Horta de Sant Joan, 2009. Seqüència d'una reproducció en el perímetre de l'incendi, primera fotografia a t0 +4 min. En 11 minuts (quarta foto) l'incendi va realitzar una carrera de 900 metres, a una velocitat de propagació de 4,9 km/h.

FACTORS QUE CONTRIBUEIXEN AL COMPORTAMENT EXTREM

El comportament extrem d'un incendi normalment és el resultat de la combinació de diferents factors de l'entorn. Hi ha certes variacions en els factors que modifiquen el comportament d'un incendi que el poden ajudar a predir la possibilitat d'aparició d'un comportament extrem. Durant l'elaboració del seu pla d'actuació en un incendi forestal cal que tingui en compte aquests factors, i quina variació poden patir perquè l'incendi mostri un comportament extrem. En aquesta secció presentem els elements essencials que modifiquen el comportament, pot trobar més informació de cada un d'ells en les diferents guies operatives relatives. Aquests factors inclouen: Combustible disponible, vent, baixa humitat dels combustibles, atmosfera inestable, i les característiques del terreny.

Combustible Disponible

No es pot produir una situació de comportament extrem del incendi si no hi ha prou combustible com per sustentar-lo. Les característiques de càrrega i tipus dels combustibles canvien molt lentament en el temps, però el tipus de combustible pot canviar quan l'incendi es desplaça sobre el terreny. Busqui i observi el que s'està cremant realment, i quin és el tipus de combustible adjacent (que pot cremar a continuació).

Per determinar el combustible disponible caldrà valorar la combinació del següents factors:

La càrrega total de combustible depèn del model de combustible i de l'estructura forestal. A més càrrega present, més pot estar disponible per generar un gran incendi. Cal tenir en compte que el gran incendi varia aquesta quantitat disponible ràpidament a causa de la generació d'ambient de foc. La intensitat de l'ambient afecta les zones adjacents al front, posant més i més càrrega de combustible disponible abans de que arribi el cos principal de l'incendi. El factor del combustible que canvia més ràpidament, i més important de monitoritzar, és la càrrega total disponible, que varia en hores en funció de la meteorologia.



Fig. 3

Incendi de Cardona, 2005. La gran quantitat de combustible disponible va facilitar fronts de l'incendi amb una elevada velocitat de propagació, superior a 6 Km/h, y longituds de flama superiors als 60 metres.



La **humitat del combustible** és la variable inicial que determina si el combustible està "disponible" per cremar. La humitat del combustible fi canvia ràpidament i constantment. Aquesta és una de les raons per les quals els combustibles fins estan implicats en la majoria dels accidents mortals. Una bona manera de fer el seguiment als combustibles fins és mesurar la humitat relativa. En la majoria de les zones, una humitat relativa inferior al 25% permetrà que els combustibles fins cremin amb una intensitat considerable.

La variable que ens permetrà saber si el combustible de 10 hores esta disponible és la recuperació nocturna de la humitat relativa en les diverses zones de l'incendi. Si la humitat relativa es recupera per sobre de 50% per la nit, facilitarà la tasca de control de l'incendi. Si la humitat relativa no supera durant la nit aquest límit, causarà la disponibilitat del combustible de 10 hores, augmentant la càrrega total de combustible disponible, que pot donar lloc a la generació d'un incendi convectiu. Els períodes de temps en els que no es recuperen les humitats s'anomenen **Finestra de Gran Incendi Forestal**, son els període de temps on la càrrega total de combustible disponible és més gran.

Finestra de GIF del 10/08/2003

En el període comprés entre el 10 i el 13 d'agost del dos mil tres, es van produir 3 grans incendis forestals a Catalunya: Sant Llorenç Savall, 4558 ha (10/8), Granja d'Escarp, 2086 ha (12/8), Maçanet, 1257 ha i Olèrdola, 153 ha (13/8).

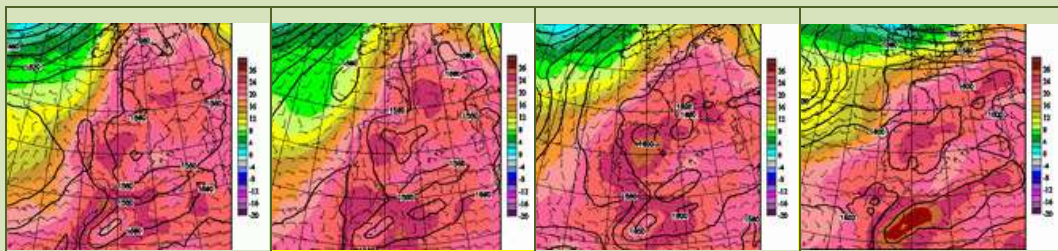


Fig. 4

Temperatures a 850 hPa del 10, 11, 12 i 13 d'agost

Una massa d'aire molt càlida i persistent del 3 al 14 d'agost, travessa l'oest de la Península Ibèrica i es dirigeix per sobre Catalunya cap als Alps. Els principals GIF, de fet, son seguint l'estela d'aquesta onada més càlida (Portugal, Madrid, Catalunya i Alps francesos; també a Itàlia i a Croàcia). L'estela del fum de St. Llorenç Savall segueix aquesta mateixa direcció.

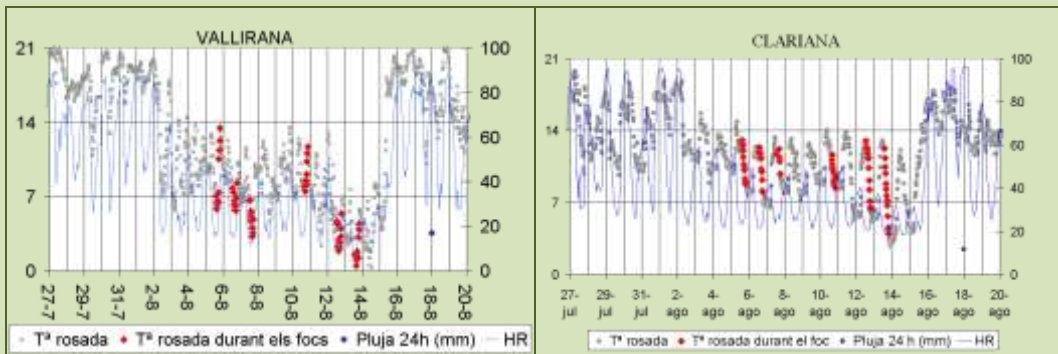


Fig. 5

Temperatura de rosada (puntejada en vermell durant els focs actius) i humitat relativa a Clariana de Cardener i a Vallirana, assenyalant les temperatures de rosada mentre els focs de Alcover (5/8), Masquefa (6/8), Copons i Maçanet (7/8), St. Llorenç (10/8), Granja d'Escarp (12/8), Jorba (12/8), Maçanet (13/8) i Olèrdola (13/8) estaven actius.

Durant tota aquesta entrada, la massa d'aire de la costa és clarament més càlida i seca que fora d'aquest episodi. Això s'accentua entre el dia 12 i el 14 amb la petita estirada que fa l'aire més càlid el dia 12 direcció N-NE.

En canvi a l'interior de Catalunya hi ha una lleugera baixada de temperatura de rosada no arriba a valors inferiors a 7 fins el dia 12.

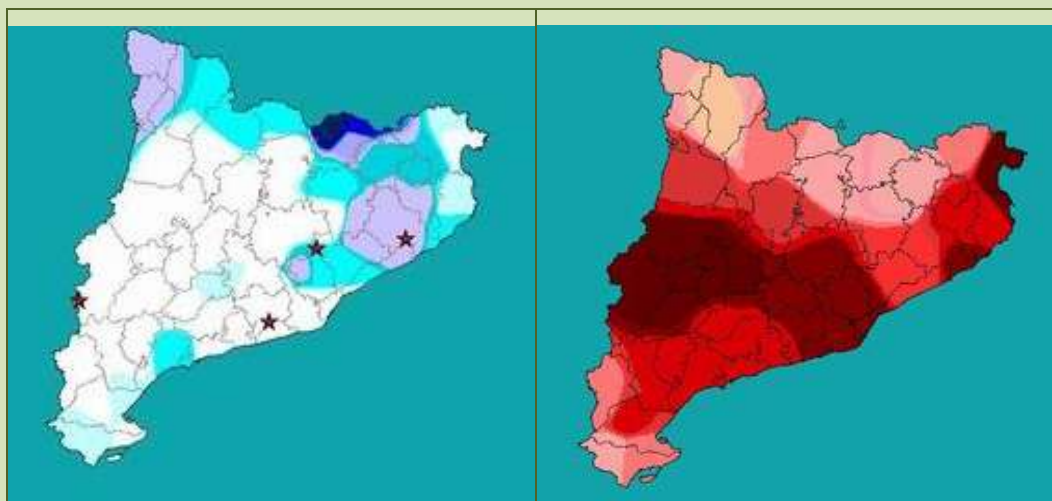


Fig. 6

A l'esquerra precipitació a Catalunya del 2 al 9 de agost amb la llegenda al costat i situació dels GIF de Sant Llorenç, Granja d'Escarp, Maçanet i Olerdola. A la dreta, sequera acumulada (Drought Code) a Catalunya pel 15/8/2003.

La disponibilitat de combustible gruixut i viu és normal per l'època de l'any, ja que prové d'un any força humit, però el ràpid augment de la sequera durant l'estiu 2003 fan que la vegetació assequi parts senceres, i la quantitat de combustible fi mort sigui molt important. Tot i la precipitació del període anterior (fins a 20 mm a Maçanet), aquests combustibles fins i mitjans van estar prou disponibles per cremar, ajudats per la manca de recuperació d'humitats nocturnes.



Fig. 7

Visió des de satèl·lit de la columna de fum de St. Llorenç. el dia 12 a les 10:40. Es pot observar com la columna segueix l'estela de la massa d'aire molt càlida, que travessa l'oest de la Península Ibèrica i es dirigeix per sobre Catalunya cap als Alps



Mida del Combustible. Com més fi és el combustible, més variacions patirà al llarg del dia. A part de la meteorologia, els combustibles fins estan implicats en la propagació de la majoria dels incendis forestals. Sense ells no pot existir un gran incendi. Els combustibles fins continus faciliten una ràpida velocitat de propagació. Recordi, els combustibles fins són un dels denominadors comuns dels accidents mortals en incendis forestals.

Les diferents mides de combustible determinen la velocitat a la que s'aseca i entra en disponibilitat la càrrega de combustible. El combustible fi ho fa immediatament. El de 10 hores necessita mig dia de condicions extremes. Els combustibles de més hores depenen d'una situació de sequera.



Els combustibles més grans o de 10 hores són menys reactius a la humitat relativa, però es pot comprovar el seu contingut d'humitat retorçant-los. Si es trenquen amb facilitat, estan secs i es poden encendre. Si es recargolen però no es trenquen, el seu contingut d'humitat és elevat. Encara poden encendre's, però generaran una intensitat menor. Els combustibles de 10 hores amb un contingut d'humitat per sota del 7% són un indicador de sequera.

L'acumulació de combustible mort a nivell de terra poden preparar les condicions perquè es presenti un incendi que pugui cremar durant un llarg període de temps. La proporció de combustible viu/mort, i les zones amb gran acumulació de fustes morts o caiguts són factors que cal considerar durant l'elaboració del pla d'actuació.

La temperatura del combustible està directament relacionada amb la quantitat de calor necessària perquè s'encengui el combustible. Si el combustible és fred, necessitarà més energia perquè el combustible arribi al seu punt d'ignició.

Si el combustible està a l'ombra, estarà bastant més fred que un combustible proper exposat directament a la llum i radiació solar. Aquestes condicions canviaran al llarg del dia. L'orientació topogràfica, en la relació de la seva posició pel que fa al sol, és un indicador de la temperatura del combustible. Ha de prestar atenció a l'orientació, posició del sol, i temperatura del combustible, ja que aquests factors afectaran definitivament al comportament de l'incendi.

Vent

Quan esta present, el vent és el factor amb més influència sobre la velocitat de propagació i la direcció de l'incendi. Cal tenir en compte que moltes vegades, en els incendis de convecció, és el propi incendi dominat per la columna el que crea els vents que dirigeixen l'incendi. Els vents de moderats a forts faciliten les carreres en un incendi dirigit per vent, i el transport de guspires. Generalment, un vent de només 16 Km/h pot causar una ràpida velocitat de propagació.

Es pot mesurar el vent de diferents maneres. Es pot mesurar utilitzant un anemòmetre o es pot utilitzar l'escala Beauford per estimar la velocitat del vent. En termes generals, un vent de 12 km/h causarà que les fulles dels arbres es moguin. Un vent de 16 km/h serà la causa que arbres aïllats es balancegin d'un costat a l'altre. Un vent de 24 km/h causarà un considerable moviment en matolls i l'arbrat, i s'aixecarà pols del sòl.

Els núvols també poden ser un indicador de les condicions del vent. Els núvols lenticulars indiquen la presència de forts vents en alçada. Aquests núvols es formen quan un fort vent passa per sobre d'un sistema muntanyós. Hi ha la possibilitat que el vent toqui la superfície pel costat de sotavent (el costat sota el núvol lenticular), causant forts vents pendent avall.

Els núvols ràpides indiquen vents d'alçada, i poden ser la "*predicció*" d'un canvi de vent. Mantingui's especialment alerta si els núvols s'estan desplaçant en una direcció diferent a la dels vents en superfície.

L'aproximació de fronts freds és un altre problema al qual cal que s'enfronti. Quan es desplacen per una zona, incorporen vents canviants i l'augment de la velocitat d'aquests vents. Alguns fronts freds comporten línies de pluja visibles quan s'aproximen. Però la primera indicació del pas d'un front fred sec és un canvi en la direcció del vent. No hauria de subestimar els efectes del pas d'un front fred, especialment el seu efecte en els flancs orientats al sud i l'est.



Fig. 9

El vent pot ser un factor del comportament extrem de l'incendi. El vent augmenta la disponibilitat d'oxigen, facilita la transferència de calor, i transporta guspires per davant del front de l'incendi.



El creixement d'una tempesta en una zona pot causar la creació de vents forts i erràtics. Si observa núvols inflats a mitja altura aire pel matí, pot ser que siguin núvols Alt Cúmul Castellanus. Aquests núvols indiquen inestabilitat, i són un clar indicador de la possible aparició de tempestes per la tarda.

Una tempesta es pot formar ràpidament, de vegades en menys de mitja hora. Quan s'està formant una tempesta, l'aire es desplaça cap a la seva base. Quan el núvol de tempesta està madur, es poden produir violentes corrents descendents d'aire. Aquests corrents són forts vents que es desplacen cap avall des de l'interior de la tempesta. Si observa *virga* (pluja que no arriba a caure fins el terra) és més que probable que es produeixin corrents descendents. Quan aquests corrents arriben a la superfície terrestre, poden desplaçar-se en qualsevol direcció.

Inestabilitat Atmosfèrica

L'estabilitat es refereix a la resistència al moviment vertical (ascendent o descendent) de l'aire a l'atmosfera. La possibilitat d'un comportament extrem del incendi augmenta quan l'atmosfera es torna inestable. Una atmosfera inestable permet que l'incendi es desenvolupi verticalment i creixi ràpidament. Alguns dels millors indicadors de les condicions d'inestabilitat són: Bona visibilitat, vent a ratxes, remolins de pols, remolins de foc, núvols Cúmul o Castellanus, columnes de fum enlairant-se verticalment, i el trencament d'una capa d'inversió.

El trencament d'una capa d'inversió es produeix quan l'atmosfera és estable (no hi ha moviment vertical de l'aire) i una massa d'aire més càlid cobreix una massa d'aire més fred. Quan aquesta massa d'aire més calent és relativament prima, s'anomena cinturó tèrmic. En aquest cinturó l'aire estarà més calent i sec. Els incendi situats a la zona d'aquest cinturó cremaran amb més intensitat que els incendi per sobre o per sota del cinturó.

Quan es presenta una inversió, el comportament de l'incendi per sota del cinturó normalment serà de baixa intensitat, i les condicions de treball per als bombers situats per sota de la capa d'inversió seran penoses i molt dures per l'acumulació de fum i calor. Quan el dia comença a escalfar-se i l'aire es torna inestable, la capa d'inversió començarà a trencar-se. Si coneix el terreny, serà capaç de predir quan començarà a trencar-se la capa d'inversió. Aquest és el moment d'anar amb compte i ser previngut.



Fig. 10

Unes condicions atmosfèriques inestables faciliten el creixement vertical de l'incendi.

Característiques del Terreny

Les vessants amb fortes pendents tenen un important efecte sobre el comportament de l'incendi. No només perquè els pendents permetran que l'incendi es desplaci a més velocitat, sinó també perquè permetran que pugui caure rodant material encès pel pendent.

Les valls encaixonats i canals poden actuar com una xemeneia, canalitzant el vent o l'incendi. Aquesta canalització pot ser la causa d'una velocitat de propagació molt alta de l'incendi.

Els colls és una altra característica del terreny que ha de preocupar. També pot causar l'efecte de acanalat que pot contribuir a una velocitat de propagació elevada. Aquests punts baixos en la línia divisòria d'aigües no són llocs per aparcar vehicles o perdre molt temps si l'incendi està per sota.



Fig. 11

La configuració del terreny per on es propaga l'incendi és un dels factors que contribueix a l'inici i desenvolupament d'un incendi forestal amb un comportament extrem.

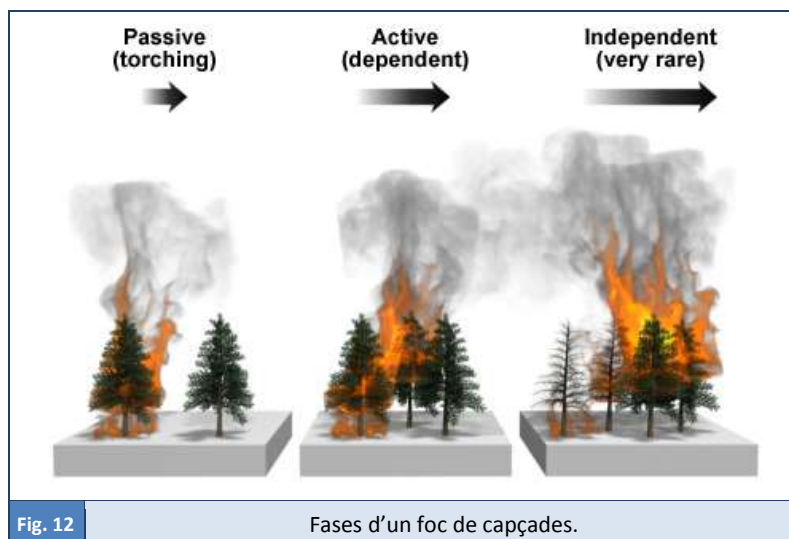
Les valls estretes suposen un altre problema. Quan un incendi baixa per una banda del pendent, la seva estretor permet el preescalfament del vessant oposada. Les valls estretes augmenten la possibilitat de focus secundaris, que poden amenaçar la seguretat dels bombers situats al fons de la vall. Quan un incendi arriba al fons de la vall, es produeix la inversió de la pendent. Podem esperar una velocitat de propagació ràpida. Els enforçalls també seran una preocupació pel fet que poden causar vents erràtics i incrementar el comportament de l'incendi.



FOC DE CAPÇADES

Els focs de capçades són un dels fenòmens més espectaculars que mostra el comportament extrem de l'incendi. Són també la forma més ràpida de propagació d'un incendi. No és estrany veure un foc de capçades desplaçar-se a una velocitat superior als 10 km/h. Els focs de capçades no només es produeixen en combustible arbori, sinó també en les cobertures aèries de matolls i arbustos alts.

Els focs de capçades es desenvolupen en tres fases progressives: passiva, activa, i independent. Aquestes tres fases s'identifiquen per la seva dependència respecte de l'incendi superficial. Un incendi de superfície d'alta intensitat, o proper a un dosser arbori tancat, es pot desplaçar als combustibles aeris. Els focs de capçades s'inicien amb l'entorxament individual d'un arbre o un arbust. Si les condicions són les adequades, el combustible entorxat causarà que altres combustibles també s'entorxin, i hi haurà nascut un foc de capçades. De vegades, el foc de capçades retorna a foc en superfície, per després tornar un altre cop a les capçades, segons vagin canviant les condicions a l'entorn de l'incendi. Ha de tenir en compte que aquestes tres fases no tenen perquè produir necessàriament durant el desenvolupament d'un incendi en particular.



El foc de capçades passiu normalment està confinat a un arbre o un petit grup d'arbres. A aquesta fase del foc de capçades normalment se li denomina "torxa". Un foc de capçades passiu està enterament a mercè del foc en superfície i la disponibilitat dels combustibles escalats. Aquesta torxa, normalment, té una vida curta i queda confinada a arbres propers entre si. Aquest tipus de foc de capçades pot ser causa de focus secundaris localitzats.

Un foc de capçades actiu també depèn de la presència d'un incendi en superfície, el coronament depèn de la calor emesa per l'incendi en superfície per continuar propagant. En aquest cas hi ha una major transferència de calor d'una capçada encesa a capçades adjacents no enceses. El foc de capçades pot córrer per davant de l'incendi en superfície, o l'incendi en superfície pot precedir al foc de capçades. Els focs de capçades actius també poden actuar per pulsacions, desplaçant-se des de les capçades a la superfície i després tornar a les capçades.



Un foc de capçades independent deu el seu nom al fet que no depèn d'un incendi en superfície. El procés de combustió i els mecanismes de transferència de calor es produeixen en els combustibles aeris i no requereixen de l'energia d'un incendi en superfície per mantenir la combustió o propagació de l'incendi. Els focs de capçades independents no són massa habituals, però quan es produeixen, és el moment de retirar-se i actuar com un simple espectador. No hi ha res que pugui fer per aturar aquest tipus d'esdeveniment, només apartar-se del seu camí.

Condicions que Afavoreixen el Foc de Capçades

Hi ha diferents condicions ambientals que poden contribuir a la possibilitat d'inici d'un foc de capçades. Aquestes condicions es poden diferenciar entre les que afecten la inflamabilitat de les capçades, i aquelles que incideixen sobre els mecanismes de transferència de calor entre els estrats de combustible.

La inflamabilitat de les capçades depèn de les mateixes característiques que influeixen en qualsevol altre combustible. La principal diferència amb altres estrats de combustible és el refredament i pèrdua de calor que es produeix a la base de les capçades. Són de especial importància per a l'activitat d'un foc de capçades les següents característiques:

- Una **alta proporció de combustible mort/viu** influirà en la facilitat amb la que un incendi pot desplaçar-se cap a les capçades. La baixa humitat del combustible fa afavoreix la inflamabilitat de les capçades.
- El **contingut d'humitat dels combustibles vius** està controlat per la fase de creixement vegetal, el qual està relacionat amb l'estació de l'any. A la primavera quan els combustibles estan creixent activament, la humitat dels combustibles serà massa elevada com per mantenir un foc de capçades. Un període de sequera influeix en gran mesura en el contingut d'humitat dels combustibles vius, és més probable que es doni un foc de capçades quan les reserves d'humitat del terreny són baixes.



- El **contingut de productes químics en el fullatge** influirà en la inflamabilitat de les capçades. Hi ha diverses espècies amb un alt contingut en productes químics volàtils que produeixen una combustió d'alta intensitat, per exemple: espècies molt inflamables durant tot l'any la bruguerola, bruc, pi blanc, alzina, i la farigola, i molt inflamables només a l'estiu l'argelaga, garriga, pi de resina, suro, romaní, esbarzer, i espart.
- El **nivell de tancament de capçades** és l'equivalent per als combustibles aeris de la compactació. Un tancament de capçades del 75% o superior afavorirà els mecanismes de transferència de calor per convecció i radiació de capçada a capçada, a més de preescalfar les capçades adjacents i augmentar la velocitat de propagació en un foc de capçades.



Fig. 14

Foc que avança mitjançant punts produïts per focus secundaris, que directament es propaguen per les capçades. St. Llorenç, 2003

La possibilitat de transferència de calor des de l'incendi en superfície fins als combustibles aeris incideix en l'activitat del foc de capçades. Tots els focs de capçades s'inicien com un incendi en superfície que escalfa els combustibles aeris fins a la seva ignició en forma de entorxat, o foc de capçades passiu. Hi ha diferents factors que controlen la facilitat en com es produeix el coronament.

- El més important és la **intensitat de l'incendi en superfície**. Els incendis d'alta intensitat en superfície produeixen una gran quantitat de calor, que es pot transferir als combustibles aeris per iniciar un foc en el dosser arbori. Una forta càrrega de combustible, combustibles poc compactats, baix contingut d'humitat dels combustibles, i condicions atmosfèriques inestables contribuiran a generar una major intensitat en l'incendi en superfície.
- La **disposició vertical dels combustibles**. La presència de combustible escalat i fullatge baix de capçades, proporciona amb una menor distància per a la transferència del calor. Per tant, caldrà una intensitat d'incendi en superfície menor per desplaçar el foc cap a les capçades.

- El **gradient del pendent** també és un factor del coronament. El pendent redueix la distància entre l'incendi de superfície i les capçades. Com més empinada sigui el pendent, més curta serà la distància de transferència de calor.



Fig. 15

Tots els focs de capçades comencen com focs de superfície. La transferència de calor de la superfície a les capçades està controlada per la intensitat del foc superficial, disposició vertical dels combustibles, i gradient del pendent. Foc de superfície que està passant a capçades passiu. Maçanet de la Selva 2003

Un altre factor que contribueix en els focs de capçades és **la transferència de calor de capçada a capçada**. Els focs de capçades actius i independents propaguen l'incendi de capçada a capçada. La transferència de calor entre els combustibles aeris es realitza més fàcilment sota certes condicions.

- Un **espaiat de capçades** de 6 metres o menor (que correspon a 500 arbres per hectàrea o més) permetrà que la transferència de calor per convecció i radiació es produeixi amb una intensitat que permeti mantenir la propagació de l'incendi a través de les capçades.
- El **vent en el nivell de les capçades de 30 km/h o més**, mesurats com vents de superfície a 6 metres, normalment són necessaris per permetre i mantenir la transferència de calor per convecció i radiació en incendi de capçades actiu o independent, en absència de pendent.
- La propagació d'un incendi de superfície augmenta amb el **gradient del pendent**, i igualment ho fa en un foc de capçades. L'efecte del pendent en la facilitat de transferència de calor capçada a capçada és molt semblant al que es produeix en els combustibles superficials.

Perquè un foc de capçades mantingui la seva carrera, cal que es presentin diverses condicions:

- Baixa humitat del combustible, o una forta càrrega de combustible disponible.
- Espaiat relativament baix entre capçades.
- Forts vents, pendents empinats, o una combinació d'ambdós.
- La possibilitat de crear focus secundaris en combustible discontinus.



<p>Incendi en superfície. No hi ha prou calor com per que el foc es desplaci a capçades.</p>	<p>L'incendi comença a generar més calor. Les condicions de l'incendi estan començant a canviar.</p>
<p>L'incendi s'ha propagat a les capçades. Hi ha arberes que comencen a entorxar.</p>	<p>S'ha iniciat un foc de capçades.</p>
<p>Fig. 16</p>	<p>Si les condicions són les correctes, un incendi es pot desplaçar cap a les capçades i propagar-se una certa distància. La sèrie de fotografies mostra les fases d'un foc de capçades quan evoluciona des d'un incendi en superfície cap un incendi de capçades.</p>

FOCUS SECUNDARIS

Quan un incendi disposa d'una gran càrrega de combustible disponible i augmenta la seva dimensió vertical, és molt probable que comenci a generar focus secundaris com a resultat d'aquest moviment vertical. Aquests focus secundaris a l'exterior del perímetre de l'incendi principal poden ser el resultat de guspies transportades per convecció i/o per vent. Els focus secundaris també poden estar provocats per material encès que roda pendent avall.

Factors

Hi ha diferents factors a tenir en compte quan s'analitza la possibilitat de producció de focus secundaris. Els factors els podem agrupar en tres grups principals, la font de les guspies, el transport de les guspies, i l'entorn i combustible que reben aquestes guspies. Aquests són:

- **Probabilitat de producció:** La distància a la qual s'inicia un focus secundari del front de l'incendi depèn de la capacitat de l'incendi de llançar guspies. Aquesta capacitat depèn de la intensitat de l'incendi, que alhora depèn directament de la quantitat de combustible disponible. La probabilitat que un incendi assoleixi la intensitat requerida depèn de:
 - Els combustibles superficials;
 - Les condicions de crema;
 - Les espècies que componen el dosser arbori;
 - L'espaiat entre capçades.

En el cas d'emissió de focus secundaris des d'un incendi superficial, la cobertura arbòria intercepta el desplaçament vertical i es converteix en el combustible recipient, limitant la distància a la qual es produeixen els focus secundaris.

- **Nombre de guspies:** La majoria de les guspies no inicien altres focs. Poden consumir-se abans de caure un altre cop a terra, aterrar en una zona sense combustible, o fer-ho sobre un combustible que no s'encengui. Per això, com més guspies siguin llançades al vent, major serà la probabilitat que alguna d'elles iniciï un focus secundari.



Fig. 17

Imatge de propagació amb focus secundaris a distància de més de 300 m del front principal. Incendi de la Riba, 2002.



- **Tipus de guspies:** Per a que una guspia provoqui un focus secundari, primer ha de viatjar per davant del front de flames o creuar una línia de defensa. També ha de continuar cremant amb prou energia calorífica com per encendre un combustible. Un altre factor associat amb els diferents tipus de guspies són les seves condicions aerodinàmiques. Les guspies denses "rabassudes" no volen massa bé, i per tant no viatgen a llarga distància. D'altra banda, guspies planes de baixa densitat, es desplaçaran a certa distància portades pel vent.
- **Elevació convectiva:** La intensitat de calor emès per l'incendi causa el moviment vertical de flames i fum per sobre de l'incendi. Com més intens sigui un incendi, mesurat com a longitud de flama, més forta serà l'acció d'elevació per convecció, donant com a resultat una forta columna de convecció, que elevarà i suspèndrà a l'aire les guspies.
- **Vent:** Un cop una guspia s'ha aixecat en l'aire, el seu viatge estarà controlat pel vent, la gravetat, i les condicions aerodinàmiques de la guspia. Generalment, com més fort sigui el vent, més lluny viatjarà la guspia.



Fig. 18

Les guspies les aixeca la columna convectiva de l'incendi, i poden viatjar a llargues distàncies depenent del vent general.

- **Conjunt de combustibles receptors:** Les guspies han aterrar sobre combustible receptiu per poder-lo encendre. Alguns exemples de combustible receptiu són els combustibles fins secs, com la fullaraca, humus, fusta podrida, i herba.
- **Probabilitat d'ignició:** La probabilitat d'ignició és una valoració de la possibilitat que una guspia iniciï un focus secundari si aquesta arriba fins combustibles receptius. Aquest valor assumeix que la guspia compta amb característiques propícies per iniciar un focus secundari, com ara la mida i la forma que li permeti ser transportada per convecció i vent, i que hagi combustibles disponibles en el terreny on aterra. En altres paraules, la probabilitat d'ignició és la possibilitat de que les guspies produeixin un focus secundari, quan un tipus correcte de guspia aterri sobre el tipus de combustible adequat.
- **Condicions ambientals:** Abans que una guspia pugui iniciar un focus secundari, no només ha aterrar sobre un llot de combustible receptiu, sinó que també la humitat del combustible, el vent, i el pendent han d'afavorir la propagació del foc perquè un focus secundari es converteixi en un problema.

Abast

L'abast dels focus secundaris és la distància a la qual es traslladen les guspines per iniciar els focus secundaris. Sota condicions extremes, s'han documentat distàncies de producció de focus secundaris a més de 8 quilòmetres.

L'efecte combinat de l'enlairament convectiu i el transport horitzontal pel camp de vent determina la distància màxima a la que es pot produir un focus secundari allunyat del cos principal de l'incendi. Aquesta distància es pot classificar en dues grans categories: focus secundaris a llarga distància i a curta distància. Estan caracteritzats no només per la distància real, sinó també en la seva relació amb l'incendi original.

Els focus secundaris a curta distància es defineixen com els focus secundaris que sobrepassen ràpidament el front principal de l'incendi. Els focus secundaris a llarga distància poden contribuir a la propagació de l'incendi, però de la mateixa manera que ho faria un nou incendi. No hi ha dubte que un focus secundari a 8 quilòmetres de l'incendi principal és el resultat d'un focus secundari a llarga distància. No obstant això, seguint estrictament la nostra definició, un focus secundari creat a 150 metres de l'incendi principal que crea un nou incendi també es defineix com un focus secundari a llarga distància. De la mateixa manera, un focus secundari a 250 metres per davant del front de l'incendi, però que es veu ràpidament sobrepassat per l'incendi, es defineix com un focus secundari a curta distància. Els focus secundaris a llarga distància poden causar greus problemes. Els focus secundaris a curta distància normalment no contribueixen a la propagació de l'incendi.

Els focus secundaris es produeixen normalment a favor del vent. Aquesta no té perquè ser la mateixa direcció cap a la que bufen els vents en superfície. Si els vents a nivell superior es desplacen en una altra direcció, els focus secundaris es poden produir a favor d'aquests vents. També, els focus secundaris no es mostren necessàriament immediatament. Poden romandre latents durant hores o dies.



Fig. 19

Observant la inclinació de la columna convectiva, es pot estimar la direcció i, amb força fiabilitat, la distància a la qual seran transportades les guspines.



En observar la inclinació de la columna convectiva, un bomber pot estimar la direcció i, en certa mesura, la distància a la qual les guspines podrien ser transportades. Incendis intensos amb fortes columnes convectives són grans productors de guspines, i forts vents en alçada poden dur-les a distància del foc principal. Si aquestes guspines cauen sobre un llit de combustible receptiu, és possible que es produeixi un focus secundari. Si descobreix un incendi causat per un focus secundari, recordi l'adagi: "*On hi ha un, és possible que hi hagi més*"

Definició Lineal Mínima

Tenint en compte el tipus de propagació d'un incendi forestal que presenta un comportament extrem o un incendi de convecció, s'ha definit operativament la Definició Lineal Mínima com **la distància sense combustible que pot saltar un incendi, es a dir, l'amplitud d'una barrera per sota de la qual la barrera no tindrà cap efecte en la propagació de l'incendi.**

Aquest concepte es basa en la distància mitjana dels focus secundaris i ens serveix per identificar quins espais lliures de vegetació o amb canvi de vegetació ens serviran com a oportunitats operatives per poder elaborar a partir d'ells una estratègia d'extinció.

Aquest concepte és clau per poder afrontar amb garanties d'èxit un incendi forestal de comportament extrem o incendi de convecció.



Fig. 20

La definició lineal mínima es defineix com la distància sense combustible que pot saltar un incendi, es a dir, l'amplitud d'una barrera per sota de la qual no tindrà cap efecte en la propagació de l'incendi.

Probabilitat de Ignició dels Focus Secundaris

Com a regla pràctica, quan la humitat relativa supera el límit de 60%, la possibilitat de que els focus secundaris puguin suposar un problema és molt baixa.

La probabilitat que una guspira iniciï un foc es pot pronosticar. La probabilitat d'ignició és el percentatge de guspises "llançades" que realment inicien focs. Quan la probabilitat d'ignició és del 70 per cent, vol dir que de cada deu guspises enceses que aterren sobre combustible receptiu, set iniciaran un foc.

La probabilitat de focus secundaris no reflecteix la mida o forma de les guspises, ni el tipus de combustible disponible. Únicament està relacionat amb la probabilitat que si es produeix una guspira, quin percentatge iniciarà un nou foc.

S'ha elaborat una Taula de Probabilitat de Ignició (Figura 15). La probabilitat ve determinada per la descomposició en factors de l'ombrejat dels combustibles, la humitat del combustible fi mort, i la temperatura del bulb sec. Els qualificatius de valoració per a la probabilitat d'ignició són: 91 a 100, extrem, 71 a 90, molt alt, 51 a 70, alt, 31 a 50, moderat, i 0 a 30 baix. El valor de la probabilitat d'ignició ha de ser utilitzat de forma rutinària pels bombers, ja que dóna una bona indicació de com de fàcil es pot crear un focus secundari en combustibles fins.

PROBABILIDAD DE IGNICION																	
(Estima la probabilidad de que una pavesa o brasa, al caer sobre el combustible ligero muerto, pueda inflamarlo)																	
Sombreado (%)	Temperatura termómetro seco, °C	HUMEDAD DEL COMBUSTIBLE LIGERO MUERTO (%)															
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0-10	40+	100	100	90	80	70	60	50	40	40	30	30	30	20	20	20	10
	35-40	100	90	80	70	60	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10
	30-35	100	90	80	70	60	50	50	40	30	30	30	20	20	20	10	10
	25-30	100	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	20	10	10
	20-25	100	80	70	60	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10
	15-20	90	80	70	60	50	50	40	30	30	30	20	20	20	10	10	10
	10-15	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	5-10	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	0-5	90	70	60	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
10-50	40+	100	100	80	70	60	60	50	40	40	30	30	20	20	20	20	10
	35-40	100	90	80	70	60	50	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10
	30-35	100	90	80	70	60	50	40	40	30	30	30	20	20	20	10	10
	25-30	100	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10
	20-25	100	80	70	60	50	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10
	15-20	90	80	70	60	50	50	40	30	30	20	20	20	20	10	10	10
	10-15	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	5-10	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	0-5	80	70	60	50	50	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10	10
50-90	40+	100	90	80	70	60	50	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10
	35-40	100	90	80	70	60	50	50	40	30	30	20	20	20	20	10	10
	30-35	100	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10
	25-30	100	80	70	60	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10
	20-25	90	80	70	60	50	50	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	15-20	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	10-15	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	5-10	90	70	60	50	50	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10	10
	0-5	80	70	60	50	50	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10	10
90-100	40+	100	90	80	70	60	50	50	40	30	30	20	20	20	10	10	10
	35-40	100	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	20	10	10
	30-35	100	80	70	60	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10
	25-30	90	80	70	60	50	50	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	20-25	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	15-20	90	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	10-15	90	70	60	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10
	5-10	80	70	60	50	50	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10	10
	0-5	80	70	60	50	40	40	30	30	20	20	20	10	10	10	10	10

Fig. 21

Taula de Probabilitat d'ignició. Si es presenta un conjunt de combustibles sense ombra, amb una temperatura de bulb sec de 30 °, i una humitat del combustible fi del 6%, la probabilitat d'ignició és del 60 per cent.



Àrea de Ignició

Es produeix una àrea d'ignició quan una zona està "salpebrada" de focus secundaris. Els focus secundaris començaran a interactuar i afectar uns als altres. Els efectes combinats de nombrosos focus secundaris són superiors a la suma dels seus efectes individuals. L'augment de la intensitat pot portar a l'incendi d'un ambient de foc tancat a un obert i accelerar la velocitat de propagació. Durant els incendis que mostren un comportament extrem, la combinació dels focus secundaris dóna com a resultat una propagació per pulsacions.

VÒRTEX

Es defineix vòrtex com una massa d'aire que gira en remolí, amb una zona de baixes pressions al seu centre, que tendeix a atraure el foc, o altres objectes, a causa de l'acció del vòrtex. L'acció del vòrtex és molt fort al seu centre. Es poden donar vòrtex de dos tipus: vertical i horitzontal. Es formen a causa d'una font de calor i inicien un remolí.



Fig. 22

Imatge del remolí que genera l'inici del foc de St. Llorenç la nit del 10 al 11 d'agost del 2003.

Els **vòrtex verticals** s'anomenen remolins de pols o remolins de vent. Quan inclouen material encès o flames del front de l'incendi, es denominen remolins de foc. Certs vòrtex verticals s'inicien a causa de forces tèrmiques. Els vòrtex iniciats per forces tèrmiques es produeixen en dies calorosos, o estan associats a un incendi forestal. Els vòrtex dirigits per convecció es produeixen per una activitat convectiva desequilibrada. Els vòrtex dirigits per estela es produeixen en el costat de sotavent d'objectes físics com poden ser els cims dels sistemes muntanyosos, arbres, o columnes convectives, quan el vent passa per aquests objectes.

Els **vòrtex horitzontals** són un fenomen derivat d'incendis de gran intensitat. Hi ha dos tipus de vòrtexs horitzontals: els que es produeixen en la superfície al llarg dels flancs de l'incendi, i aquells que es produeixen a la columna convectiva. Els que es produeixen en el front de l'incendi són perillosos per al personal d'extinció a terra. Aquells que es produeixen a l'atmosfera poden interrompre o dificultar les operacions aèries.

BIBLIOGRAFIA

- *“Teoria incendis forestals”*. Curs Bàsic de Bombers. ISPC
- *“S-290 Intermediate Wildland Fire Behavior”*. COMET® Program. University Corporation for Atmospheric Research (UCAR)
- *“Fire Officer's Handbook on Wildland Firefighting”*. William C. Teie. Deer Valley Pr; 1Ed (1997)
- *“Informe de l’incendi de Cardona”*. Grup de Recolzament d’Actuacions Forestals. Divisió Operativa.
- *“Anàlisi d’indicadors de finestres de gran incendi forestal durant les campanyes d’estiu 2003, 2004 i 2005”*. Grup de Recolzament d’Actuacions Forestals. Divisió Operativa.