

[GO 02.01a]

GUIA OPERATIVA. EXTINCIÓ D'INCENDIS FORESTALS

# Comportament de l'Incendi



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 (31/08/2011), 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](mailto: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 2.01a**

Extinció d'Incendis Forestals

## **Comportament de l'Incendi**

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

Introducció .....	5
Factors que Afecten al Comportament de l'Incendi .....	7
Efectes en l'Incendi .....	9
Ignició .....	9
Transferència de calor.....	10
Intensitat Lineal de l'Incendi .....	12
Velocitat de Propagació .....	14
Patrons Bàsics de Propagació.....	15
Focus Secundaris.....	18
Retroalimentació de l'Incendi. Ambient de Foc.....	20
Terminologia .....	22
Bibliografia .....	25

## INTRODUCCIÓ

Un foc que s'inicia o es desenvolupa en un entorn forestal segueix l'esquema típic de qualsevol altre tipus de foc. Bàsicament, es tracta d'una reacció química d'oxidació ràpida de combustible vegetal, en presència de prou comburent per sustentar la reacció, i a la que li cal aplicar calor (en el cas de la fusta, aproximadament 300° C) per a que s'iniciï el procés. Aquesta reacció dona com a resultat, entre d'altres elements, diòxid de carboni, calor, partícules volàtils en forma de fum, i llum.

Els tres elements han de ser presents, i cal que es combinin correctament per iniciar aquesta reacció. Hi ha d'haver combustible per cremar, aire per dotar d'oxigen la flama i finalment, calor per poder iniciar i donar continuïtat al procés de combustió.

Davant d'una reacció química tan simple, Com és possible que un incendi forestal hagi devorat milers d'hectàrees en poques hores, amb fronts de foc continus o per punts quilomètrics a un ritme de propagació superior als 2 Qm/h, i a l'endemà aquest mateix incendi pugui ser controlat pels equips d'extinció sense gaires problemes?, o a la inversa, Un incendi forestal que no ha suposat un gran esforç de control, passades unes hores després de la fase de liquidació, de sobta explota en totes direccions, amb reproduccions violentes?. Perquè un incendi es propaga en superfície, passa a capçades, deixa sense cremar una part del combustible, i consumeix totalment altre part?

Els incendis forestals es generen i desenvolupen sobre combustible vegetal en un entorn exterior. En conseqüència, aquest combustible exposat es veurà afectat per qualsevol variació que es produeixi en aquest entorn. Recordi que el combustible vegetal és un sòlid que només podrà iniciar la reacció exotèrmica en unes condicions molt determinades. Si no es donen, o hi ha un canvi en aquestes condicions, el combustible vegetal no podrà iniciar, o mantenir, el procés de combustió.

El principal factor que farà que un combustible vegetal estigui disponible per iniciar, mantenir, o autoalimentar la reacció de combustió serà el contingut en humitat de la massa combustible. Com veurem posteriorment, aquest contingut en humitat està regulat per múltiples factors (meteorològics, topogràfics, i del propi combustible), però hi ha una regla inqüestionable i coneguda per tots els bombers: En un incendi forestal cremarà tot el que estigui prou sec com per cremar.

Aquesta és la resposta a les preguntes que ens fèiem abans, Què ha canviat en un incendi amb una alta capacitat destructiva per a que posteriorment pugui entrar en capacitat d'extinció? La massa forestal, o una part important del combustible, ha perdut la seva disponibilitat per cremar; Què ha canviat en el combustible per a que un incendi en fase de liquidació, exploti per totes bandes? El combustible amb una alta capacitat d'intercanvi d'humitat amb el seu entorn ha tornat a entrar en disponibilitat, inclús un cop l'hem remullat amb les instal·lacions d'aigua. Què canvia en diferents combustibles per a que uns cremin i altres no? La diferència de consum entre diferents combustibles està regulada pel seu diferent contingut en humitat, uns estan disponibles i altres no.



Una gran massa forestal amb la totalitat del seu combustible disponible tindrà la capacitat de crear el seu propi ambient de foc, que, un cop instaurat, mantindrà un comportament extrem amb independència de la resta de factors de l'entorn fins que esgoti el combustible disponible. Aquesta és la base primària dels Grans Incendis Forestals més destructius que ha patit Catalunya en els últims vint anys.



Fig. 1

Exemple de l'efecte de la disponibilitat de combustible. Mentre els combustibles pesats generen una intensitat fora del tram de control d'extinció, els combustibles fins, amb un alt contingut d'humitat, no cremen. Navarcles 2005.

Un cop s'inicia o es desenvolupa un incendi sobre un llit de combustible disponible, altres factors modificaran el seu comportament. Uns són molt clars, en una calorosa tarda d'estiu, un incendi situat en la base de una vessant solejada cremarà fins a la carena. Altres són més subtils, però igualment importants, el viratge horari de la brisa marina pot marcar el comportament d'un incendi forestal al litoral i pre-litoral, la presència d'una tempesta a quilòmetres d'un incendi influirà en les tàctiques d'extinció aplicables a aquest incendi.

Conèixer els factors que afecten a un determinat tipus d'incendi (topogràfic, dirigit per vent, o convectiu) ens facilitarà seleccionar les tàctiques adequades per enfrontar-nos amb eficàcia i seguretat a l'incendi. Conèixer els factors que afecten al comportament de l'incendi ens permetrà seleccionar punts crítics on el comportament afavoreixi les tasques d'extinció, una inversió del pendent o una vessant no exposada, i evitar els punts on el comportament restarà fora de la nostra capacitat d'extinció. Ens permetrà ubicar línies de control en emplaçaments segurs, i evitar situar-les on el risc o l'eficàcia sigui marginal. Conèixer com es propagarà i com serà el comportament de l'incendi en un futur mesurable és la clau de la seguretat i l'eficàcia en l'extinció d'incendis forestals.

Aquesta guia és introductòria a les posteriors guies operatives de comportament de l'incendi forestal. Pot trobar més informació dels diferents aspectes que es presenten en aquesta guia en les respectives guies de comportament: GO 2.01b "Meteorologia", 2.01c "Combustibles i Topografia", 2.01d "Comportament Extrem". Així mateix, el recomanen la lectura de la GO 2.02 "Tipologia d'Incendis i Tàctiques Associades".

## FACTORS QUE AFECTEN AL COMPORTAMENT DE L'INCENDI

Els tres components controlen el comportament de l'incendi són la meteorologia, la topografia i dels combustibles. El comportament de l'incendi depèn de les condicions dels tres components en un moment donat. El triangle mostra aquesta relació de dependència i es pot avaluar en termes de la relativa importància de l'estat de cada component. En una àrea on els combustibles són abundants i secs, el temps és calorós, sec i ventós, i la disposició dels vents i els combustibles en el terreny és favorable, hi ha el potencial d'un incendi de comportament extrem.

La velocitat de propagació de l'incendi, la seva intensitat, i altres característiques responen a aquests factors. Alguns d'aquests factors, al seu torn, es veuen influïts pel mateix incendi. Aquest procés està en constant evolució i canvi. Ha d'esperar en tots els incendis que canviïn les seves condicions.



### METEOROLOGIA

Les condicions del temps constitueixen el component més variable del comportament de l'incendi. Els factors meteorològics poden canviar ràpidament a causa dels canvis en les masses d'aire, el cicle diürn (nit i dia) i efectes locals com la topografia. A més, les condicions canvien en l'espai, motiu pel qual no experimentem les mateixes condicions en diferents parts de l'incendi. Els factors meteorològics que influeixen en el comportament del foc són:

- Temperatura.
- Humitat relativa.
- Estabilitat atmosfèrica.
- Direcció i velocitat del vent.
- Precipitació.



Cadascun d'aquests factors meteorològics pot afectar el comportament del foc i tots junts poden contribuir a crear un incendi de comportament extrem.

---

## TOPOGRAFIA

La topografia és el factor més constant dels tres components de comportament de l'incendi. No obstant això, les característiques topogràfiques poden variar enormement amb la distància. Els factors topogràfics importants per al comportament d'un incendi són:

- Altura.
- Posició respecte al pendent.
- Orientació.
- Rugositat del terreny
- Pendent del vessant.

El més important d'aquests factors topogràfics és el pendent del vessant, ja que els canvis en el pendent produeixen efectes directes i importants en el comportament del foc.

---

## COMBUSTIBLES

La presència de combustibles és òbviament molt important per al comportament del foc. A més, certes característiques específiques afecten el comportament dels focs forestals:

- Càrrega de combustible.
- Mida i forma.
- Compactació.
- Continuïtat horitzontal i vertical.
- Contingut químic.

Aquests factors poden variar en el temps i en l'espai, però les variacions temporals solen produir molt lentament.

Altres factors importants que afecten el comportament del foc són la humitat i la temperatura del combustible, el quals es veuen directament afectats pels tres components del triangle. La humitat i temperatura del combustible poden canviar en molt poc temps i, per tant, poden causar canvis abruptes en el comportament de l'incendi.

Cadascun d'aquests components varia segons el moment del dia. És molt important que conegui que canvis s'estan produint i quins seran els efectes d'aquests canvis. Alguns d'aquests canvis són fàcilment predictibles, altres són molt més subtils. Alguns canvien amb el temps i altres són "fixos".



Factors de l'Incendi. Efectes en el Temps i l'Espai			
	Temps	Espai	Efecte
<b>Meteorologia</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Temperatura</li> <li>▪ Humitat relativa</li> <li>▪ Estabilitat atmosfèrica</li> <li>▪ Velocitat i direcció del vent</li> <li>▪ Precipitació</li> </ul>	Els factors meteorològics canvien constantment. Això afecta a la humitat del combustible i estat vegetatiu.	Es produiran canvis significatius amb els patrons de topografia i meteorologia.	Causa un canvi en la velocitat de propagació, direcció de la propagació i intensitat de l'incendi.
<b>Topografia</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Càrrega de combustible</li> <li>▪ Dimensions i forma</li> <li>▪ Compactació</li> <li>▪ Continuïtat horitzontal</li> <li>▪ Distribució vertical</li> <li>▪ Contingut químic</li> </ul>	Consideri aquests factors com constants.	Els canvis es produiran especialment en terrenys escarpats i muntanyosos.	Canvis en la direcció i velocitat de propagació.
<b>Combustibles</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Altura</li> <li>▪ Posició sobre la pendent</li> <li>▪ Orientació</li> <li>▪ Morfologia del terreny</li> <li>▪ Gradient de la pendent</li> </ul>	La humitat del combustible viu i mort canviarà. Els canvis poden estar causats pels insectes, taies, incendis, i una meteorologia adversa.	La meteorologia i la topografia alteraran el tipus de combustible.	Augmentarà la intensitat de l'incendi quan més combustible es torni disponible.

## EFECTES EN L'INCENDI

Els bombers han d'estar atents als efectes del comportament de l'incendi a la ignició, la intensitat i la velocitat de propagació dels incendis forestals. Encara que cada un dels components de l'entorn afecta tots els factors individuals, certs components influeixen més en un determinat tipus de comportament.

### Ignició

La inflamació dels combustibles forestals necessita una font d'ignició. Hi ha diferents fonts: raigs elèctrics, cigars i llumins, fogueres, crema de residus forestals apilats, espurnes d'un sistema d'escapament de fums, etc. La font ha d'estar prou calenta com per escalfar els combustibles fins a la seva temperatura d'ignició i produir una combustió acte mantinguda. La combustió normalment es produeix a uns 300º C en els combustibles forestals. Tal i com explicàvem al principi de la guia, el principal factor que influeix en la ignició dels combustibles forestals és el seu contingut d'humitat. Com més sec estigui, més fàcilment s'encendrà, ja que no es perd tanta calor per l'evaporació de l'aigua continguda. Altres factors que afecten a la ignició del combustible són:

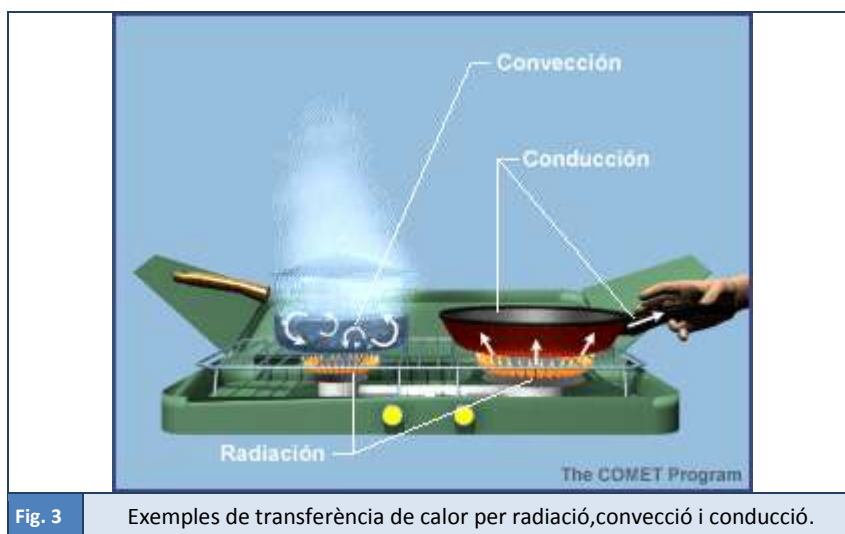
- Forma i mida dels combustibles. Com més petit i/o fi sigui, més fàcilment s'encendrà.
- Compactació o disposició dels combustibles. Si són folgats i oberts, es inflamaran més fàcilment.
- Temperatura del combustible. Com més calent estigui el combustible, menys calor necessitarà per arribar al seu punt d'ignició.



## Transferència de calor

Tot incendi presenta com una de les característiques principals la transferència de calor. La calor provoca greus danys, intensifica el foc, el propaga, augmenta el seu perímetre i crea el major obstacle per a l'extinció de l'incendi. El tipus i la quantitat de calor transmesa influeixen en la velocitat de propagació d'un incendi, per altra banda, la combustió no es pot mantenir sense una aportació contínua de calor.

La transferència de calor es fa mitjançant els tres mecanismes fonamentals: conducció, convecció i radiació. Aquests tres mecanismes es presenten de forma simultània en el transcurs d'un incendi. Ara bé, la importància de cada un varia en funció de la intensitat i magnitud de l'incendi, així com de la configuració del sistema que l'envolta.



### CONVECCIÓ

La convecció es descriu com el moviment de l'aire calent per l'escalfament de les molècules de l'aire. Quan aquestes molècules d'aire reescalfades entren en contacte amb un objecte, li transfereixen la calor. Aquesta transferència de calor es produeix en tota la superfície exposada de l'objecte. Un exemple comú d'aquest efecte seria un forn de convecció. Com que l'aire envolta completament el menjar, el forn de convecció és capaç de cuinar el menjar més ràpidament que en un forn convencional.

L'escalfament per convecció és el principal protagonista en la propagació de l'incendi forestal. La columna que s'eleva de calor i fum proporciona la font d'aire calent. Pot propagar l'incendi de diferents maneres. Pot transportar material incandescent a altres llocs, on es poden iniciar focus secundaris. Pot escalfar els combustibles per davant del front de flames. Tot i que l'aire calent normalment s'allunya per sobre dels combustibles a nivell del sòl, la meteorologia i la topografia poden fer que tots dos quedin molt pròxims. Un fort vent pot empènyer l'aire calent a prop dels combustibles, o un pendent pot portar els combustibles prop de l'aire calent. És aquest el perquè els incendis van amb el vent o pugen per un vessant. La calor per convecció també pot portar el foc a les capçades dels arbres.

La quantitat de calor transferit als combustibles situats per davant del front de flames depèn de la intensitat de l'incendi i de la distància entre la font de calor i els combustibles. La

transferència de calor augmenta quan els combustibles es situen pendent amunt respecte a l'incendi, el vent està ventilant l'incendi, subministrant més oxigen i inclinant les flames cap als combustibles, o els combustibles estan més a prop, augmentant la calor radiat o conduït.

---

#### RADIACIÓ

La radiació és el moviment de l'energia calorífica des de la font de calor en forma de "ones". Aquestes ondes viatgen en línia recta, passant per l'aire sense afectar-lo. Han d'incidir sobre un objecte per escalfar. El millor exemple de radiació és l'efecte d'escalfament produït per una foguera quan vostè es troba a certa distància. També pot preescalfar els combustibles o inflamar combustible indemne a l'altre costat de la línia de defensa. No subestimar la importància de la radiació en la propagació d'un incendi forestal.

---

#### CONDUCCIÓ

La Conducció es considera com la transferència d'energia de les zones de major temperatura a les de menor temperatura d'una substància o mitjà causa de la interacció molecular.

Quan un combustible sòlid crema, la conducció pot considerar-se com un mecanisme de transport de calor cap a l'interior de cadascuna de les parts del combustible . Així, quan un bosc s'incendia, es pot considerar fins a cert punt com un medi conductor, propagant una part de la calor per conducció cap a altres parts del combustible (troncs i branques) més fredes.

D'altra banda, la conducció és la responsable de què, un cop que ha passat el front de l'incendi, troncs, branques i altres materials combustibles que han iniciat el seu procés de combustió continuïn cremant, ja que pel mecanisme de conducció la calor penetra cap a el seu interior, per tant, és responsable dels incendis residuals que poden tornar a reactivar un incendi.

Els mecanismes de transmissió de calor poden combinar-se. Per exemple, les branques sobre del foc poden rebre calor per convecció i per radiació al mateix temps, el mateix que els troncs i els arbustos prop d'un foc de superfície. Els combustibles a terra tendeixen més a preescalfat per conducció i radiació.

El preescalfament dels combustibles pot passar pels tres mètodes al mateix temps, depenent de la disposició i càrrega de combustibles. La transferència de calor és un element important en la propagació dels incendis forestals.



## Intensitat Lineal de l'Incendi

La intensitat lineal de l'incendi és la quantitat de calor que s'allibera en el front d'un incendi per unitat de temps i de longitud, també es pot definir com la potència calorífica total per metre d'amplitud del front. La seva unitat en el SMD és el quilowatt per metre (kW/m). La intensitat lineal de l'incendi es veu influïda per:

- La càrrega de combustible: La quantitat de combustible disponible.
- Compactació o disposició dels combustibles: Si els combustibles es presenten amuntegats, amb poc espai per al desplaçament d'aire o la calor per convecció, l'incendi serà menys intens.
- Contingut d'humitat del combustible: Si cal una considerable quantitat de calor per que disminueixi el contingut d'aigua del combustible prou com per permetre la combustió, l'incendi cremarà amb menys intensitat.
- Pendent i velocitat del vent: Els incendis són més intensos quan es propaguen pendent amunt o a favor del vent, pel fet que l'escalfament per convecció és més eficaç.

La intensitat lineal de foc és el limitador real de la capacitat d'extinció; ens diu el punt en el qual ens podem apropar a l'incendi per poder extingir-lo, així com ens diu si l'aigua és un medi eficaç d'extinció. La intensitat és el factor que millor defineix l'abast del comportament de l'incendi, la virulència i les condicions extremes que envoltaran a aquest incendi.



Fig. 4

Intensitat de l'incendi que supera la capacitat d'extinció.

La intensitat de l'incendi es pot mesurar de diverses maneres, però probablement la forma més senzilla consisteix a avaluar la longitud de flama.

## ALÇADA I LONGITUD DE FLAMA

L'alçada de flama és l'altura mitjana de les flames mesurada sobre un eix vertical. S'usa per estimar la mida de la zona de seguretat necessària, és a dir, la distància de separació entre els bombers i les flames, equivalent a almenys quatre vegades l'alçada de flama màxima mesura en sòl anivellat. No obstant això, la calor convectoriu del vent i els efectes del terreny augmenten la separació necessària. Quan les flames estan inclinades, l'alçada de flama pot ser menor que la longitud de flama.



La longitud de flama és la distància de la flama des de la base fins a l'extrem. Si la flama està inclinada, aleshores el que compta és la seva longitud, no l'alçada. Es mesura en metres.



Aquest factor limitarà la nostra capacitat d'extinció. Així, a partir de certa alçada es fa impossible l'atac directe i cal optar per altres tècniques.



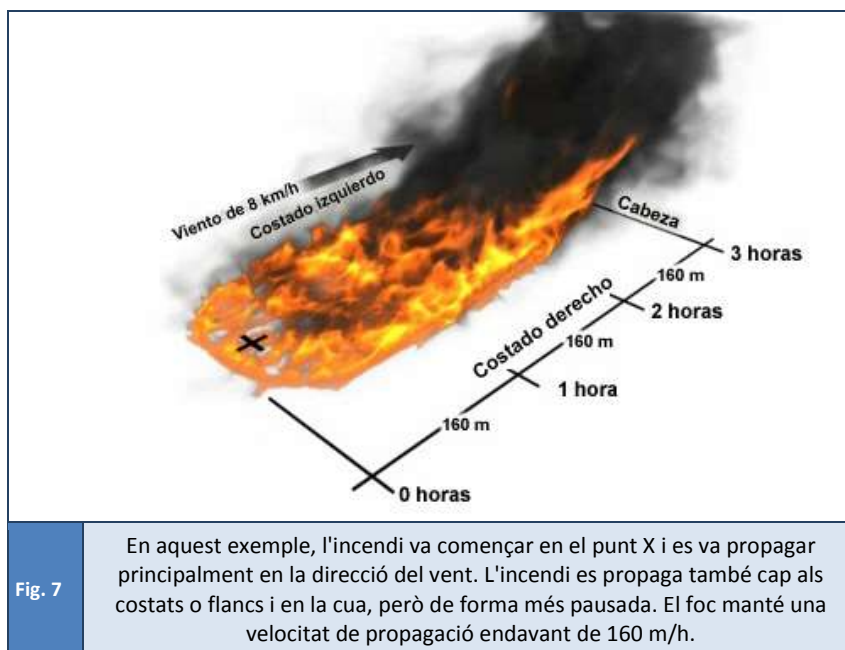
## Velocitat de Propagació

La velocitat de propagació és l'espai recorregut pel front de foc per unitat de temps. La velocitat és un factor que limita la capacitat de control de l'incendi. Segons l'ús que es faci d'aquesta informació, cal tenir en compte la velocitat de diferents aspectes de l'incendi:

- Velocitat de propagació del front (Km/h);
- Velocitat de propagació del perímetre (Km/h);
- Velocitat de propagació de la superfície (Ha/h).

En condicions meteorològiques normals un Gran Incendi Forestal (GIF) avança amb una velocitat de 4-6 Km/h. Si les condicions meteorològiques li són especialment favorables la velocitat pot depassar les xifres anteriors per arribar a més de 8 Km/h. Però no són els focs més ràpids; un foc de rostolls de cereals en un dia sec d'estiu, quan fa dies que no plou, avança aproximadament a 12 Km/h. No podem confiar que un tallafoc cobert d'herba seca o un camp de rostolls aturi el foc doncs el que farà serà desplaçar-se més ràpidament.

El cap de l'incendi és la part de l'incendi que es propaga de forma més activa. El que més ens interessa és la velocitat de propagació cap endavant, és a dir la propagació en el cap de l'incendi, ja que sol ser el tipus de propagació més difícil i perillós per a controlar. En algunes situacions, la ignició de focus secundaris a grans distàncies pot afectar la velocitat de propagació.

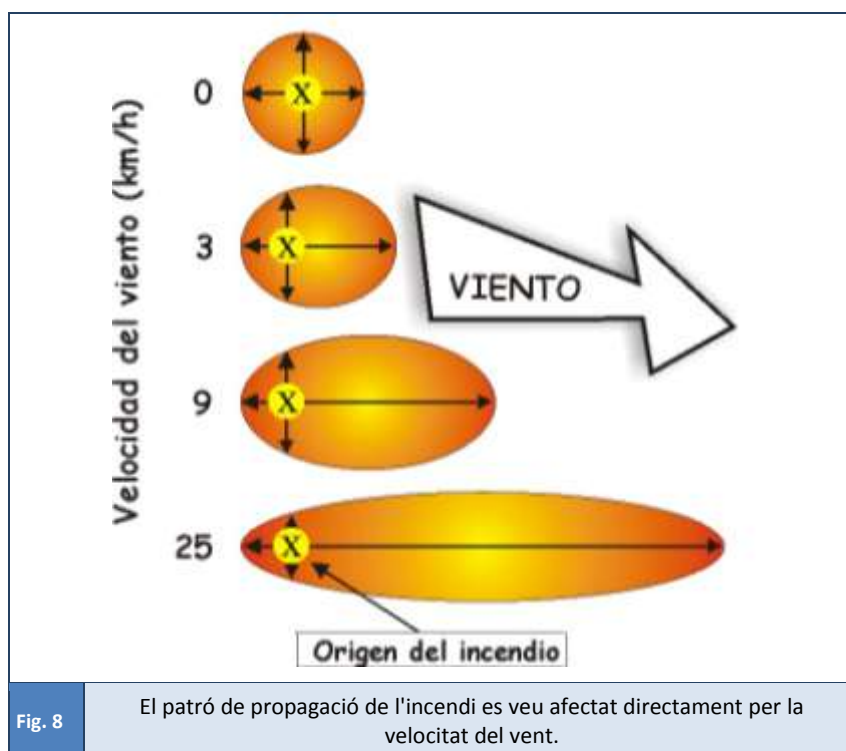


La conjunció entre la longitud de la flama i la intensitat amb la velocitat de propagació defineixen el tipus de foc, el seu comportament i la nostra capacitat d'èxit per extingir-lo. Aquestes característiques del comportament de l'incendi també marquen el nivell de seguretat per als bombers. Com més gran sigui la velocitat de propagació i/o la longitud de flama, major haurà de ser el seu precaució. La velocitat de propagació i la longitud de flama estan interrelacionats. Si augmenta la velocitat de propagació, també ho farà la longitud de flama i la intensitat de l'incendi. (No obstant això, la longitud de flama no dirigeix necessàriament la velocitat de propagació).



## Patrons Bàsics de Propagació

Un incendi que crema sobre combustibles uniformes en un terreny pla, amb el vent com a única variable, cremarà amb un patró de crema predictable el·líptic. Hi ha una relació entre la velocitat del vent i la longitud i amplitud del patró de crema. Aquests patrons també es compleixen quan el pendent és l'única variable. La il·lustració que es mostra a continuació esbossa les siluetes dels patrons de crema per a diferents velocitats de vent, així com la relació entre la velocitat del vent i la velocitat de propagació.

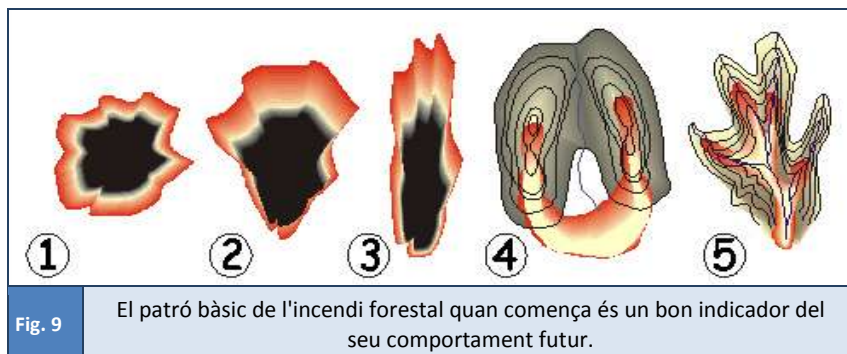


Hi ha diversos factors que influeixen en la velocitat de propagació de l'incendi i el patró o forma de crema:

- Intensitat de l'incendi: Si augmenta la intensitat, també es generarà més calor i augmentarà la velocitat de propagació.
- Velocitat del vent: Com més fort sigui el vent, més s'inclinarà la columna de convecció, i més ràpida serà la propagació.
- Pendent: Com més gran sigui el pendent, més a prop estarà la columna convectiva dels combustibles i més ràpida serà la velocitat de propagació.
- Canvis en el tipus de combustible: Si l'incendi passa d'un tipus de combustible a un altre (pasturatge a matoll, restes forestals a arbrat), la velocitat de propagació canviarà, i variarà el patró de crema.
- Barreres naturals o artificials que aturen o alenteixen la propagació: Les carreteres, cursos d'aigua, llacs, afloraments rocosos, influiran sobre el patró de crema.
- Focus secundaris: Si l'incendi està generant focus secundaris per davant del foc principal o per sota de l'incendi, variarà el patró de crema.



El patró bàsic de l'incendi forestal quan comença és un bon indicador del seu comportament futur. En arribar, el bomber troba un incendi en la seva fase inicial, petit en dimensions però de potencialitat desconeguda. Fixar la seva forma serà el primer caràcter indicatiu per poder analitzar-lo. Aquesta valoració es fa indispensable per plantejar de forma correcta l'emplaçament i atac inicial.



1. Incendis on els efectes del vent i els pendents no són importants
2. Incendi on els efectes del vent i/o el pendent dominen
3. Incendi dirigit per un vent fort
4. Incendi a cavall sobre les crestes. Indica que els vents generals són importants
5. Incendi que segueix les valls i els barrancs. Indica que els vents de convecció o topogràfics el controlen.

Els incendis forestals es comporten habitualment de forma lineal. Però, en unes poques ocasions, la gran quantitat i continuïtat del combustible disponible per cremar reforça la convecció de l'incendi, que trasllada calor i focus secundaris a llargues distàncies. Aquesta calor pre-escalfa i pirolitza el combustible i el prepara per encendre's amb qualsevol petita brasa que caigui per davant del foc i ho fa amb gran intensitat. Això augmenta molt la velocitat de propagació de l'incendi, que passa a moure's a salts, i també la intensitat, degut a que el combustible per davant del foc ja ha pirolitzat i a la interacció entre els punts de foc. Aquesta intensitat més gran permet una major distància de convecció i de piròlisi, i retroalimenta el procés.





## FRONTS LINEALS

Caps o flancs perfectament dibuixats, es tracta d'unes línies de foc fàcilment diferenciables i relativament fàcils de perimetrar i confinar. Els canvis de direcció i de velocitat de la línia de foc són apreciables. Els fronts lineals són típics d'incendis conduïts pel vent i per la topografia, així com la combinació d'ambdós. És característic del seu comportament un eixamplament dels flancs quan el cap perd tirada o empenta ja que és aquest el que estira els flancs.



Fig. 11

Propagació de l'incendi en un front lineal.

## FRONTS IRREGULARS I PER PUNTS DE FOC

Difícilment observarem una línia de foc clara, l'incendi avança fent salts, ajudat pels focus secundaris i la creació del seu propi ambient de foc; és molt complicat perimetrar aquests incendis amb atac directe, cal definir una línia de referència. L'incendi es mou en massa, molt freqüentment dominat pel combustible i les grans concentracions del mateix. L'estabilització dels fronts no lineals sol presentar abundants repeses i situacions de perill, la succió dels focus secundaris és un comportament freqüent i perillós.



Fig. 12

Propagació de l'incendi per punts de foc.

Davant els grans incendis forestals fora de capacitat d'extinció, els sistemes d'extinció d'arreu del món han augmentat el nombre d'eines, com ho ha fet el cos de bombers de la Generalitat de Catalunya. Tot i aquesta globalització de tècniques, els grans incendis forestals ens



continuen superant. Això és degut a que les tècniques estan pensades per trencar fronts lineals, i els grans incendis forestals, els que ens superen, no es mouen de forma lineal sinó per punts irregulars que interaccionen entre sí.

Hi ha dos factors bàsics que es relacionen amb aquests tipus de fronts per punts, els vents forts i l'ambient de foc. Els vents forts formen part de la nostra climatologia, però la formació d'ambients de foc està relacionada amb l'augment de quantitat i continuïtat dels combustibles de les darreres dècades. L'augment de combustible es tradueix en un augment d'intensitat que escalfa i encén combustibles en un àrea més gran. Poden trobar més informació respecte d'aquests patrons de propagació en la Guia Operativa "Comportament Extrem de l'Incendi".

### Focus Secundaris

Els incendis forestals també es propaguen per focus secundaris. Els focus secundaris es produeixen quan es desplaça material incandescent per davant de l'incendi i cau sobre combustible no cremat. Si la cendra conté suficient calor quan aterri, s'iniciarà un petit foc. Les cendres es traslladen mitjançant quatre forces diferents: Salt mecànic, convecció, vent, i gravetat.

Ha estat a prop d'una foguera quan el foc ha "*saltat*", i han sortit disparades partícules incandescentes de la foguera? Aquest tipus de cendres solen ser un problema de curt abast, però poden ser la causa que l'incendi es traslladi creuant la línia de defensa. El "*salt*" és un moviment mecànic. L'aigua continguda a la fusta s'escalfa, produint una petita explosió de vapor, llançant una petita porció de fusta en flames lluny del foc.

Un problema més gran són les cendres aixecades per la columna convectiva que cauen a força distància per davant del foc principal. Quan un incendi augmenta la seva intensitat, també ho fa la "*força d'elevació*" de la seva columna convectiva. Si els combustibles que s'estan consumint són del tipus que afavoreixi la creació de cendres (teulades d'encadellat de fusta, fulles de roure, etc.), la quantitat de material llançat a l'aire pot arribar a ser considerable. Normalment es produeixen molt pocs focus secundaris en els incendis de pastures, pel fet que l'herba és un material massa lleuger com per crear cendres.



Fig. 13

La convecció eleva petits fragments de material cremant en una columna convectiva i els transporta a certa distància per davant de l'incendi.

El vent també pot recollir cendres i portar-les a certa distància. El vent per si sol no transporta cendres a gran distància, pel fet que aquest efecte normalment és una acció horitzontal. L'excepció a la regla són els remolins de foc. Els remolins de foc són petits ciclons que es presenten en ocasions durant condicions inestables, que capten el material encès i el transporten a certa distància. El vent en combinació amb la convecció pot representar un problema real, la convecció aixeca el material incandescent a gran alçada en l'atmosfera, on els vents generals són capaços de transportar-lo a certa distància.



La gravetat també pot propagar un incendi en desplaçar material encès, especialment si aquest té una forma arrodonida. Les pinyes dels pins o branques en flames són els més afectats per la força de la gravetat. No és estrany que quan es produeix un incendi a nivell del sòl i afecta el humus, quedi descol·locat material incandescent i comenci a rodar pendent avall.





## RETROALIMENTACIÓ DE L'INCENDI. AMBIENT DE FOC

El foc també afecta a l'entorn, que al seu torn retroalimenta l'incendi. S'ha observat que les enormes quantitats de calor generades pel foc afecten l'atmosfera circumdant, de manera que els incendis creen les seves pròpies condicions meteorològiques. Per exemple, un incendi pot engendrar intenses corrents cap al seu interior que reemplacen l'aire que puja per la columna convectiva.

Per què alguns incendis es mantenen petits mentre que altres creixen amb gran rapidesa? Què passa quan un incendi s'amplia i s'intensifica? Com interactua l'incendi amb l'entorn?

Les dimensions d'un incendi poden variar considerablement. Per exemple, en un incendi molt petit el seu comportament està limitat per dues dimensions, l'amplitud del seu front i la longitud dels seus flancs. Conforme l'incendi creix, també augmenta la fracció d'entorn que es veu afectada. Per a un incendi gran, l'ambient de foc pot estendre diversos quilòmetres seves dimensions horitzontals, però també ho farà milers de metres en sentit vertical, la dimensió vertical.

El desenvolupament vertical d'aquesta tercera dimensió, la columna convectiva de fum d'un incendi, es veu afectada per tres factors: la intensitat de l'incendi, l'estabilitat de l'atmosfera inferior i els vents en alçada.

### INTENSITAT DE L'INCENDI

La **Intensitat de l'incendi** determina el desenvolupament vertical de l'incendi i la columna de fum conforme l'energia calorífica generada per l'incendi s'allibera a l'atmosfera.

Els incendis de **baixa intensitat** creen corrents entrants fluixes a la vora de l'incendi que alimenten una petita i feble columna convectiva o de fum sobre el foc. En els incendis de baixa intensitat, els factors relacionats amb la seva propagació controlen en gran mesura l'incendi. L'incendi afecta l'entorn molt poc i causa modificacions menors en les condicions meteorològiques en proximitat de l'incendi.



Fig. 16

Incendi de baixa intensitat.

Els incendis d'alta intensitat creen corrents entrants molt més forts en els costats de l'incendi que poden contribuir a alimentar una columna convectiva capaç d'aconseguir diversos milers de metres d'altura en l'atmosfera. Els incendis d'alta intensitat poden controlar marcadament l'entorn on es desenvolupen, i els seus efectes poden modificar en mesura considerable les condicions meteorològiques (com la velocitat i direcció de vent, i la temperatura) a prop de l'incendi i en les zones contigües. Independentment que siguin grans o petits, normalment els incendis forestals de gran intensitat afecten l'atmosfera verticalment en gran mesura. La columna de convecció associada ben desenvolupada i la formació de remolins de foc il·lustren els efectes verticals del foc en l'atmosfera.



#### ESTABILITAT ATMOSFÈRICA

La Estabilitat de l'atmosfera inferior s'avalua atenent a la distribució vertical de la temperatura. L'atmosfera es considera estable si les parcel·les d'aire es resisteixen al desplaçament vertical, la qual cosa vol dir que la convecció queda suprimida. Si la capa baixa de l'atmosfera és molt inestable, permet grans desplaçaments verticals de l'aire, la qual cosa pot contribuir al desenvolupament de tempestes possiblement perilloses o extenses columnes de foc.

#### VENTS EN ALÇADA

Els vents en alçada són els vents que afecten la columna convectiva. Els vents forts tendeixen a inhibir el desenvolupament vertical de les columnes convectives i poden inclinar la columna de fum de manera que romangui a prop del sòl segons el fum s'allunya de l'incendi. No obstant això, en un ambient molt inestable els vents poden ser més erràtics i durant períodes de vents més suaus, el desenvolupament vertical de la columna de fum pot intensificar i augmentar el potencial de transport de cendres amb els vents més forts que segueixen.





## TERMINOLOGIA

En aquest conjunt de guies operatives de comportament s'utilitza terminologia d'incendis forestals per descriure els conceptes bàsics del comportament d'aquests incendis. La capacitat de descriure les característiques d'un incendi és el primer pas cap a la comprensió del comportament del foc.

### ENTORN DE FOC OBERT I TANCAT

Un altre factor que controla el creixement de l'incendi és la seva ubicació. Un incendi situat en un entorn de foc obert és aquell en què els combustibles i el foc estan exposats a les condicions del temps i als elements meteorològics (vent, radiació solar) i, per tant, té més possibilitats de reaccionar als diferents elements meteorològics que un situat a l'interior d'un dossier arbori tancat.

Un entorn de foc tancat està protegit. Un incendi que crema sota una coberta arbòria es pot comparar amb un incendi que crema a l'interior d'un edifici tancat. Les condicions fora de l'edifici o sobre la coberta forestal afecten relativament poc el foc a l'interior. Els incendis en entorns tancats poden mantenir-se amb intensitat baixa i propagar lentament.



Fig. 18

Entorn tancat i obert.

No obstant això, un cop que el foc s'estengui a la coberta arbòria, passa a estar dominat més aviat per un entorn obert. El canvi de tancat a obert en poc temps pot augmentar dramàticament la intensitat de l'incendi i la seva velocitat de propagació. Recordeu que els incendis forestals són fonts de calor que poden i de fet interactuen amb el seu entorn. Les dimensions d'aquesta esfera d'influència dependrà de les dimensions i la intensitat de l'incendi, és a dir, la seva producció d'energia calorífica. La posició física de l'incendi i l'efecte de protecció del terreny i la vegetació circumdant és sovint un factor que contribueix al comportament potencial.

### FOCS DE SUBSÒL

Consumeixen la matèria orgànica i allò que queda per sota de la superfície del terra (arrels, fullaraca en descomposició, matèria orgànica...) Solen ser de poca intensitat però poden durar dies o setmanes. Pot ser que només vegem el fum que provoquen o ni això. No n'hi ha prou amb llançar aigua sinó que cal usar eines manuals per gratar fins a sòl mineral. Es donen sobretot a alta muntanya. Exemple: el foc de turba.



Fig. 19

Foc de subsòl.

#### FOCS DE SUPERFÍCIE

Creuen fulles i branques mortes, restes d'explotacions forestals, també vegetació viva d'herbàcies i matolls. És a dir, tot aquell material combustible disponible situat immediatament per sobre de la superfície del terra. Són la immensa majoria dels que trobem a Catalunya. Exemple: foc de prats i pastures, foc de matolls i garriga.



Fig. 20

Foc de superfície



## FOC DE CAPÇADES

Creuen les capçades dels arbres (fulles, branques i tronc) i pot avançar independentment del foc de superfície. Hi ha diferents categories a definir:

- Entorxament: Creuen puntualment les capçades dels arbres de forma intermitent degut a la radiació procedent del foc de superfície. És el que passa tot sovint en pinedes clares amb matollar abundós que, en cremar, afecta alguns arbres.
- Foc de capçades passiu: les capçades creuen en conjunt al mateix temps que ho fa el foc de superfície. Tot el foc avança alhora per sobre i per sota els arbres.
- Foc de capçades actiu: el foc es desplaça per les capçades de forma independent al foc de superfície. Es donen casos en què el sotabosc queda sense cremar. Aquests últims són els incendis més destructius, perillosos i ràpids.



## FRONT DE FLAMES

El front de flames és la zona d'un incendi que està en moviment, on la combustió principalment produeix flames. Darrere de la zona de flames, la combustió és principalment incandescent o implica la crema de combustibles més grans (més de 7 a 8 cm de diàmetre).

Normalment es parla d'un front d'avançament o línia d'ignició dels combustibles, sempre d'escassa amplada, que separa els materials encara combustibles i els materials cremats que han alliberat bruscament la seva energia en pocs minuts o fins i tot segons, i un front de dessecament que avança per davant del front d'avançament, en aquest cas invisible però responsable de les altes temperatures propagades per radiació, que dessequen i maten ràpidament els vegetals preparant-los com llenya seca per a la seva combustió a l'arribada del front d'avançament.





## 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)
- *“Manual de operaciones contra incendios forestales”*. ICONA.
- *“Firefighter's Handbook on Wildland Firefighting”*. William C. Teie. Deer Valley Pr; 1Ed (1994)