

***COMPORTAMIENTO DEL FUEGO.
COMPORTAMIENTO EXTREMO.
LECCIONES APRENDIDAS.***

Elaborado por: Raúl Quílez Moraga. Técnico Forestal del Consorcio de Bomberos de Valencia.

DEJAR ESTA PÁGINA EN BLANCO



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.
2. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO.
3. INDICADORES DE COMPORTAMIENTO EXTREMO DEL FUEGO.
4. DESCRIPCION DE FENÓMENOS SORPRESIVOS.
5. ANÁLISIS DE ACIDENTES E INCIDENTES.
6. BIBLIOGRAFÍA.





DEJAR ESTA PÁGINA EN BLANCO

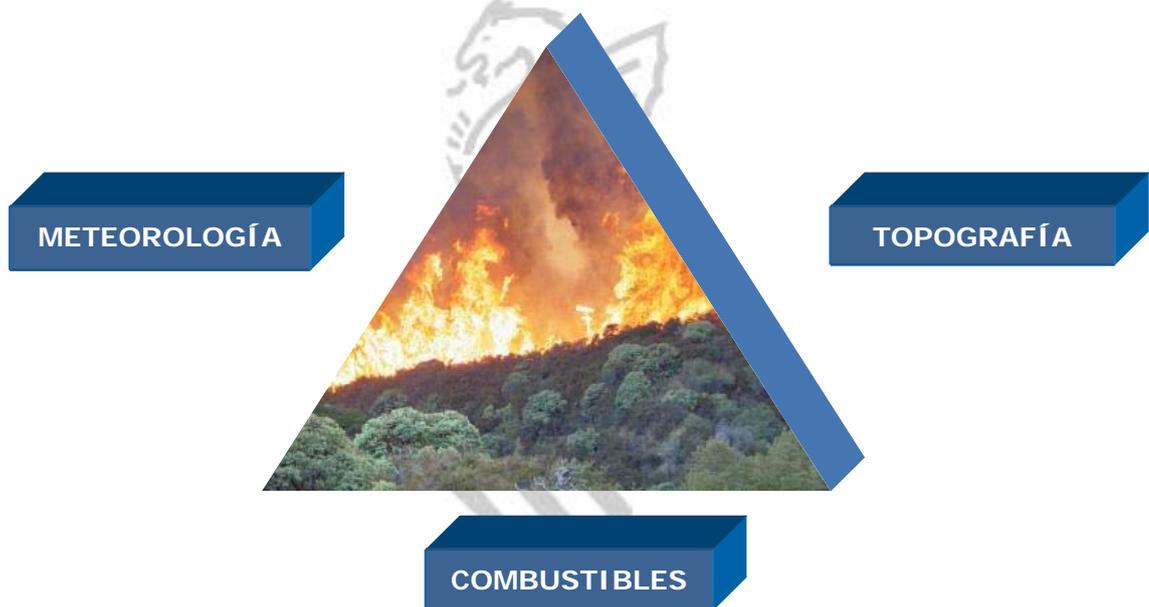




1. INTRODUCCIÓN.

Tal y como viene reflejado en el Curso Básico de Incendios Forestales, el comportamiento de un incendio forestal, es el resultado de la combinación de las condiciones meteorológicas y topográficas con el estado y tipo de combustible forestal sobre el que se desarrolla.

Cada uno de estos factores ya han sido analizados en el mismo curso, detallando la influencia directa sobre el incendio de cada una de sus variables y características.



En el curso avanzado se intentará profundizar en la forma en la que influyen cada uno de estos factores en el comportamiento del incendio, intentando desmenuzar como inciden en el comportamiento final factores como la humedad relativa, la estabilidad o inestabilidad atmosférica, la disposición de los combustibles, la inflamabilidad, la combustibilidad, el desarrollo de las tormentas, etc., así como factores intrínsecos a la dinámica del fuego, como son la retroalimentación, los saltos de fuego, la lluvia de pavesas, las deflagraciones, la zona de colapso de una columna de convección, etc.

Después de expuesto esto, se darán una serie de claves visuales, para poder identificar cuando un incendio se puede comportar de forma extrema, o si ya lo está haciendo.



Por último, se analizarán algunos accidentes e incidentes en incendios forestales, con el objeto de marcar unas pautas que el alumno pueda reconocer con antelación, en su trabajo diario, cuando se está exponiendo a una situación potencialmente peligrosa y dar las claves de como evitarla, cuestión que se abordará en profundidad en el segundo tema de este curso.

2. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO.

En el Curso Básico de extinción de incendios forestales, se han reflejado los principales factores que intervienen en el comportamiento del fuego, de forma más o menos extensa. Este tema se centrará en aquellos que influyen de forma determinante en el comportamiento del fuego, y en especial en el **Comportamiento Extremo de Incendios Forestales**.

La mayoría de los accidentes (con o sin víctimas mortales) en las operaciones de combate de incendios forestales, si descartamos los accidentes aéreos y los de tráfico, tienen que ver con un comportamiento extremo del incendio. En muchos casos son el resultado de una "deflagración" inesperada.

El comportamiento extremo del incendio se define por periodos de:

- **Rápida velocidad de propagación**, cuando el incendio avanza a una velocidad superior a 16 km/h.
- **Alta intensidad de combustión**, sobre todo en barrancos o laderas con gran cantidad de matorral, que "literalmente" explotan.
- **Gran cantidad de saltos de fuego**, donde estos saltos pueden llegar a distancias de 2.700 metros (Oropesa, abril 1999) o superiores, y son habituales aquellos que se dan a varias decenas de metros de la línea de fuego.
- **Incendios de copas**, que se producen cuando el incendio sube al dosel arbóreo de la vegetación, y se propagan rápidamente con gran intensidad (incendio de copas activo).

Estos fenómenos se pueden dar de forma individual o conjunta, en todo el incendio o en algunas partes del mismo, al mismo tiempo o uno detrás de otro.



El personal de extinción, y en especial, los mandos de las unidades y directores de extinción, deben saber prever cuando se pueden dar estos fenómenos y anticiparse a que ocurran.

El comportamiento extremo del incendio, y por tanto su entono, se rige por las condiciones en las que se encuentren los siguientes factores:

- Características del combustible.
- Humedad del combustible.
- Temperatura.
- Topografía.
- Viento.
- Estabilidad o inestabilidad.
- Comportamiento que está mostrando el fuego.



Los siete factores relacionados con el ambiente propio del incendio.



En la extinción de incendios forestales, cuando se va a valorar el incendio, y por tanto la seguridad del personal que va a intervenir en él, se utiliza una frase que resume todo esto y que dice:

“Observa arriba, observa abajo y observa alrededor.”

2.1. Características del combustible.

Las características fisiológicas de los combustibles cambian muy lentamente, pero el modelo de combustible puede cambiar muy rápidamente, cuando un incendio avanza a través de una determinada zona. Por tanto, se debe realizar una observación constante del combustible sobre el que avanza un incendio y cuales son los combustibles que se puede encontrar en su camino. La trayectoria que describirá el incendio, se preverá en función de las previsiones meteorológica a corto medio plazo

Los combustibles finos son los que normalmente determinan la velocidad de propagación de los incendios. Así, si existe mucha continuidad, provocan rápidas velocidades de propagación, como sucedió en el incendio de “La Safor”, 10 de marzo de 2006, velocidad inicial de propagación de 110 m/min a través de modelos de matorral.



Los combustibles ligeros son uno de los denominadores comunes en la mayoría de los accidentes trágicos que se han dado durante las operaciones de extinción de incendios forestales. En el área de la Comunidad Valenciana, estos combustibles ocupan grandes extensiones de terreno, localizadas en las áreas quemadas al final de la década de los 80 y principios de la de los 90. Estas zonas presentan los modelos de combustible 4, 5 y 6, determinados por la pluviometría recibida, la profundidad de suelo y la exposición solar, pero todas ellas se caracterizan por formar grandes masas continuas de vegetación arbustiva coetánea.

Los combustibles pesados, en donde existen grandes acumulaciones de vegetación caída y muerta, son el denominador de fuegos muy intensos y



de gran duración. Estas acumulaciones pueden darse en zonas afectadas por el fuego en el pasado, donde no se retiraron los fustes afectados por el fuego, en zonas de cortas o tratamientos selvícolas, zonas afectadas por vendavales, plagas o nevadas.



Combustibles derribados por los vendavales de marzo de 2007 en Enguera.

Otra característica fundamental a analizar en los combustibles pesados es su estructura en altura, es decir, si existe discontinuidad en altura o presentan una estructura en escalera. Esta favorecerá el paso de los incendios de superficie a incendios de copas a través del matorral presente o de las ramas de los árboles que llegan a muy pocos centímetros del suelo.

También es determinante para el posterior desarrollo de los incendios de copas el espaciamiento entre estas, siendo necesario para que se puedan desarrollar que estén a menos de 7 metros unas de otras.

Una de las situaciones más comprometidas se produce cuando un incendio de superficie de baja intensidad, pasa por debajo de la vegetación arbórea desecando el combustible vivo. Si el incendio vuelve a pasar por esta zona, como sucedió durante la rotura de un cinturón térmico en el incendio de Torremanzanas en agosto de 2005, toda la ladera puede sufrir una deflagración, alcanzando incendios muy rápidos y de gran intensidad.

Otro motivo bastante habitual de accidentes en incendios forestales han sido las reproducciones, constituyendo la causa de grandes extensiones quemadas durante el desarrollo de grandes incendios, a menudo quemando más superficie que el incendio inicial, y que pueden coger al personal de extinción cansado y con las rutas de escape comprometidas.





2.2. Humedad del combustible.

La humedad del combustible se puede definir como **“el contenido de agua que tiene la vegetación, independientemente de que esté viva o muerta”**.

De esta definición podemos extraer los conceptos de *humedad del combustible vivo* y *la humedad del combustible muerto*. La humedad del combustible viene expresada en tanto por ciento, e indica la cantidad de agua total que contiene la vegetación con respecto a su peso.

2.2.1. Humedad del combustible vivo.

La humedad del combustible vivo depende de la época del año y de su estado vegetativo. Existen 5 estadios distintos del crecimiento de la vegetación, y a cada uno de ellos le corresponde un contenido de humedad.

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS COMBUSTIBLES VIVOS	
Estadios de Desarrollo de la Vegetación.	% Humedad del Combustible
Hojas jóvenes. Herbáceas anuales en crecimiento. Primeros estadios de desarrollo del crecimiento. Color muy verde.	300
Hojas maduras, pero todavía en desarrollo. Las células están saturadas de agua.	200
Hojas maduras en donde ha finalizado el crecimiento. Hojas perennes viejas. El color es verde muy oscuro.	100
Vegetación que está iniciando el parón vegetativo. El color comienza a cambiar. Algunas hojas se han caído de los tallos.	50
Hojas completamente maduras. Se decoloran totalmente, tornándose marrones o pardos.	Menos del 30. Se tratan como si fuesen combustibles muertos

Normalmente el contenido de humedad es mayor en primavera, cuando la vegetación finaliza su parón vegetativo, iniciando el crecimiento de las partes jóvenes de las plantas, más ricas en agua. El contenido de



humedad va descendiendo a lo largo del verano, motivado por el estrés hídrico y las altas temperaturas, aunque puede que no sea así si el verano es húmedo. Con las lluvias de otoño la vegetación vuelve a recobrar su turgencia, para posteriormente iniciar el parón vegetativo a finales de otoño con las primeras heladas.

En la Comunidad Valenciana puede que las plantas no tengan parón vegetativo durante el invierno, si no se producen heladas en zonas próximas a la costa. En determinadas zonas, la vegetación puede tener dos parones vegetativos provocados por las heladas de invierno y por el estrés hídrico en verano, especialmente, en años con primaveras secas.

Así, la humedad del combustible vivo varía en función de las condiciones climatológicas a las que esté sometida la vegetación, pudiendo variar por:

- Largos periodos secos o épocas de sequía.
- Enfermedades y plagas.
- Maduración temprana del follaje por una llegada temprana del verano.
- Por cortas de madera, en donde los árboles que quedan en pie reciben más cantidad de luz y calor.
- Derribos y roturas por tormentas, vendavales y nevadas.

2.2.2. Humedad del combustible muerto.

La humedad del combustible muerto está directamente influenciada por algunos factores ambientales, tal y como se vio en el Curso Básico de Incendios Forestales.

Los factores ambientales que inciden de forma directa son:

- Humedad relativa.
- Precipitación.
- Temperatura.
- Viento.



Otros factores que inciden en la humedad de forma indirecta son:

- Hora del día.
- Cobertura de nubes.
- Sombreado.
- Estructura de la vegetación.
- Orientación.
- Pendiente.
- Radiación solar.
- Elevación.

El **tiempo de retardo** es el tiempo que necesita la vegetación para absorber o perder la humedad en función de la variación que presenten las condiciones ambientales y equilibrar su contenido en humedad con la atmósfera.

El tiempo de retardo varía en función del diámetro de la vegetación, y se expresa en función de las horas de exposición que el combustible necesita para alcanzar el equilibrio con el contenido de humedad de la atmósfera.

TIEMPO DE RETARDO DE LA HUMEDAD DEL COMBUSTIBLE MUERTO Y SU RELACIÓN CON EL TAMAÑO DE LA VEGETACIÓN.

Tiempo de retardo

1 hora

10 horas

100 horas

1000 horas



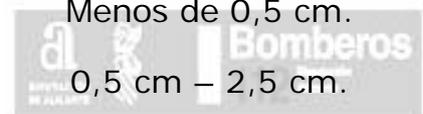
Diámetro del combustible

Menos de 0,5 cm.

0,5 cm – 2,5 cm.

2,5 cm – 7,5 cm.

7,5 cm – 20,5 cm.



La más utilizada de todas es la Humedad del Combustible Fino Muerto (Hcfm), correspondiente a la humedad de la vegetación muerta, con un tiempo de retardo de 1 hora, y se utiliza para calcular la probabilidad de ignición. El resto de las humedades están relacionadas con la facilidad o dificultad de propagación que el incendio encontrará una vez comenzado.



Para realizar el cálculo de la Humedad del combustible fino muerto, se utilizan los nomogramas y tablas elaboradas por Rothermel en su publicación **“Como Pronosticar la Propagación e Intensidad de los Incendios Forestales”** de 1983.

Para determinar la Hcfm, se utilizan como datos de entrada la *Humedad Relativa* y la *Temperatura*. Con estos datos se entra en una tabla en función de si el incendio se está desarrollando durante el día o la noche, teniendo en cuenta que la hora utilizada es hora solar. Después de calculada la Hcfm, se corrige en función de la época del año, la hora, la exposición, el sombreado de la vegetación y la pendiente. La Hcfm durante la noche no necesita corrección.

Humedad básica de combustibles día (08:00 – 19:59 h)

Tª BULBO SECO (°C)	HÚMEDAD RELATIVA (%)										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
	4	9	14	19	24	29	34	39	44	49	54
0-9	1	2	2	3	4	5	5	6	7	7	7
10-20	1	2	2	3	4	5	5	6	6	7	7
21-31	1	1	2	2	3	4	5	5	6	7	7
32-42	1	1	2	2	3	4	4	5	6	7	7
43+	1	1	2	2	3	4	4	5	6	7	7

Tª BULBO SECO (°C)	HÚMEDAD RELATIVA (%)									
	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
	59	64	69	74	79	84	89	94	99	
0-9	8	9	9	10	10	11	12	13	13	13
10-20	8	8	9	9	10	11	12	12	12	13
21-31	8	8	8	9	10	10	11	12	12	13
32-42	8	8	8	9	10	10	11	12	12	13
43+	8	8	8	9	10	10	11	12	12	12

Día: De 8,00 a 20,00 horas (solar)

Sumando corrector del contenido de humedad del combustible

Mayo-junio-julio

		Expuesto – Menos del 50% de los combustibles en sombra					
EXPOSICIÓN	Hora	08,00 →	10,00 →	12,00 →	14,00 →	16,00 →	18,00 → 20,00
	Pendiente						
N	0-30%	3	1	0	0	1	3
	>30%	4	2	1	1	2	4
E	0-30%	2	1	0	0	1	4
	>30%	2	0	0	1	3	5
S	0-30%	3	1	0	0	1	3
	>30%	3	1	1	1	1	3
O	0-30%	3	1	0	0	1	3
	>30%	5	3	1	0	0	2
		Sombreado – Más del 50% de los combustibles en sombra o nublado					
N	0% +	5	4	3	3	4	5
E	0% +	4	4	3	4	4	5
S	0% +	4	4	3	3	4	5
O	0% +	5	4	3	3	4	4



Día: De 8,00 a 20,00 horas (solar)
Sumando corrector del contenido de humedad del combustible
Febrero-marzo-abril-agosto-septiembre-octubre

		Expuesto – Menos del 50% de los combustibles en sombra						
EXPOSICIÓN	Hora	08,00 →	10,00 →	12,00 →	14,00 →	16,00 →	18,00 →	20,00
	Pendiente							
N	0-30%	4	2	1	1	2	4	
	>30%	4	3	3	3	3	4	
E	0-30%	4	2	1	1	2	4	
	>30%	3	1	1	2	4	5	
S	0-30%	4	2	1	1	2	4	
	>30%	4	2	1	1	2	4	
O	0-30%	4	2	1	1	2	4	
	>30%	5	4	2	1	1	3	
		Sombreado – Más del 50% de los combustibles en sombra o nublado						
N	0% +	5	5	4	4	5	5	
E	0% +	5	4	4	4	5	5	
S	0% +	5	4	4	4	4	5	
O	0% +	5	5	4	4	4	5	

Terreno llano = Exposición Sur.

Día: De 8,00 a 20,00 horas (solar)
Sumando corrector del contenido de humedad del combustible
Noviembre-diciembre-enero

		Expuesto – Menos del 50% de los combustibles en sombra						
EXPOSICIÓN	Hora	08,00 →	10,00 →	12,00 →	14,00 →	16,00 →	18,00 →	20,00
	Pendiente							
N	0-30%	5	4	3	3	4	5	
	>30%	5	5	5	5	5	5	
E	0-30%	5	4	3	3	4	5	
	>30%	5	4	3	2	5	5	
S	0-30%	5	4	3	2	4	5	
	>30%	5	3	1	1	3	5	
O	0-30%	5	4	3	3	4	5	
	>30%	5	5	4	2	3	5	
		Sombreado – Más del 50% de los combustibles en sombra						
Todas las exposiciones y pendientes		5	5	5	5	5	5	5

Terreno llano = Exposición Sur.



Humedad básica de combustibles noche (20:00 – 07:59 h)

Tª BULBO SECO (°C)	HÚMEDAD RELATIVA (%)										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	4	9	14	19	24	29	34	39	44	49	54
0-9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	11
10-20	1	2	3	4	5	6	6	8	8	9	10
21-31	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10
32-42	1	2	3	3	4	5	6	7	8	9	9
43+	1	2	2	3	4	5	6	6	8	8	9
Tª BULBO SECO (°C)	HÚMEDAD RELATIVA (%)										
	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓		
	59	64	69	74	79	84	89	94	99		
0-9	11	12	13	14	16	18	21	24	25+	25+	
10-20	11	11	12	14	16	17	20	23	25+	25+	
21-31	10	11	12	13	15	17	20	23	25+	25+	
32-42	10	10	11	13	14	16	19	22	25	25+	
43+	9	10	11	12	14	16	19	21	24	25+	

No necesita corrección.

2.2.3. Inflamabilidad.

La materia vegetal es siempre combustible, sin embargo, su inflamabilidad varía con su contenido en humedad.

La inflamabilidad se define como el tiempo transcurrido hasta que se emiten gases inflamables bajo un foco de calor constante.

2.2.2. Combustibilidad.

La combustibilidad se refiere a la propagación del fuego dentro de una estructura de vegetación, es decir, no basta con que se inicie el fuego, sino que tiene que propagarse para que sea considerado como incendio.

Así primaveras húmedas suelen disparar el crecimiento de la vegetación, acumulándose gran cantidad de herbáceas anuales, combustible fino, que al agostarse con la llegada del verano, dan lugar a innumerables conatos de incendio.

Una de las claves de cómo transcurrirá la época de mayor riesgo de incendios (verano / otoño), depende de si el verano es seco o húmedo. En el caso de veranos húmedos, aunque haya gran cantidad de vegetación herbácea seca, el contenido en agua de la vegetación viva y la cantidad de humedad del combustible muerto mediano y grueso será alta, por lo que



los incendios se propagarán con dificultad, es decir tendrán una baja combustibilidad.

Si por el contrario, el verano es seco, habrá gran cantidad de conatos que podrán evolucionar rápidamente hacia la vegetación adyacente, puesto que la vegetación presentará una alta combustibilidad.

Largos periodos de sequía hacen que la combustibilidad de las especies se incremente mucho, incluso en otoño o invierno, pudiendo dar lugar a grandes velocidades de propagación en épocas de "relativo" bajo riesgo.

Lo mismo puede ocurrir en invierno, en situaciones de sequía, con la aparición de intensas heladas, la vegetación pierde el agua que tiene por congelación, pudiendo presentar humedades muy bajas, tanto los combustibles vivos como los muertos, por lo que los incendios pueden desarrollarse con gran rapidez.

La peor combinación que puede darse, aparte de las sequías prolongadas, son las primaveras húmedas con veranos secos, especialmente aquellos en los que se dan varias bolsas de aire sahariano sobre una determinada zona. En esta situación, baja mucho la humedad relativa, desecando en exceso la vegetación.

Cuando se declara un incendio forestal, la velocidad de propagación de este es la propia de los combustibles finos, que puede llegar a centenares de metros por minuto, siendo muy fácil que el incendio evolucione por saltos de fuego. La intensidad del incendio es la propia de los combustibles pesados por los que evoluciona, lo cual dificulta en exceso la operaciones de combate del incendio.

2.3. Temperatura.

La temperatura de los combustibles está directamente relacionada con su contenido en humedad y con la cantidad de calor que debe recibir la vegetación para comenzar a arder. Si los combustibles están fríos, necesitarán más calor para llevarlos a su punto de ignición.

Si los combustibles están sombreados, estarán más fríos que los adyacentes que reciben la luz solar directamente. Esta situación cambia a



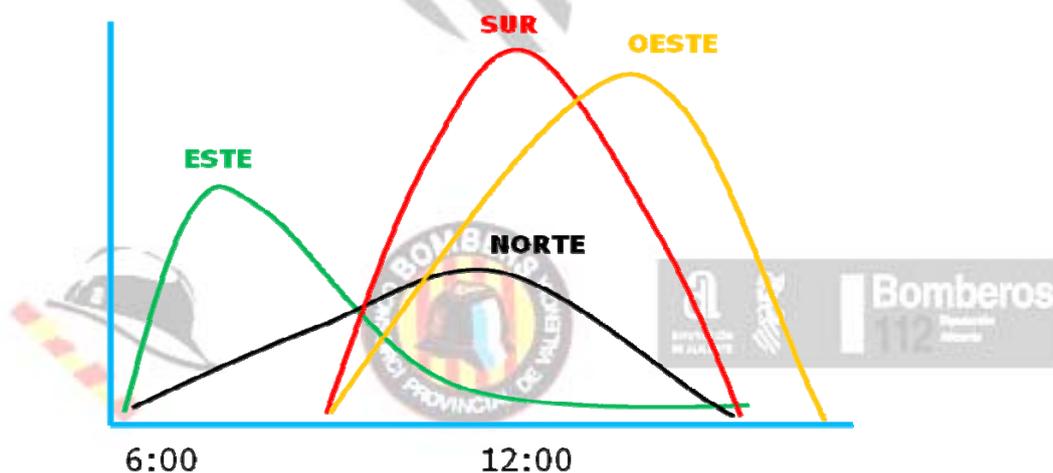
medida que el sol se desplaza por el cielo. La exposición y su posición la posición con respecto al sol, es un indicador de la temperatura del combustible, y por tanto, indicador de su contenido en humedad.

Se debe evaluar a la exposición, la posición con respecto al sol y la temperatura del combustible, ya que estos factores afectarán directamente en el desarrollo del incendio.

2.4. Topografía.

En el Curso Básico se describió como la topografía afecta a la forma de transmisión del calor sobre los combustibles que no han ardido, influye en la dirección de avance del incendio, incrementa o disminuye la velocidad de propagación del incendio, determina la composición florística de cada zona en función de su altitud y orientación, etc.

La topografía también afecta a la inflamabilidad del combustible durante el día, dependiendo de la exposición. En esta tabla se muestra como varía el contenido de humedad de los combustibles, en función de cómo varía la posición del sol a lo largo del día.



Inflamabilidad de los combustibles, según la hora del día y la exposición.

Además de todo lo comentado, conforme el incendio va evolucionando, va cambiando el terreno sobre el que se desarrolla y se debe tener en cuenta su relación con el viento y el sol.



La orografía más complicada sobre la que se puede desarrollar un incendio, ya que tiene gran influencia en su propagación es la siguiente:

Terreno con pendientes pronunciadas:

tiene un efecto muy marcado sobre el comportamiento del incendio, no sólo porque el incendio subirá rápidamente ladera hacia arriba, sino porque también puede caer vegetación ardiendo hacia la parte más baja de la ladera.



Efecto de la pendiente en el incendio Simat, julio 2005.

Cañones cerrados o chimeneas: en estas zonas se puede producir el efecto chimenea, los cuales se caracterizan por tener una velocidad muy rápida de propagación.

Cañones estrechos: Cuando un incendio desciende por estos cañones, se produce un precalentamiento de la ladera opuesta.

En este tipo de barrancos se incrementa la posibilidad de que se produzcan saltos de fuego, lo cual pone en peligro a cualquiera que se encuentre en su interior.



Efecto chimenea en el incendio de Higuieruelas, julio 2007

Cuando el incendio alcanza la parte más alta del barranco, pueden darse incendios descendentes, con rápidas velocidades de propagación. La intersección de varios barrancos puede dar lugar a vientos erráticos que incrementen y conviertan en impredecible el comportamiento del incendio.

2.5. Viento.



Tal y como se concluyó en el Curso Básico de Incendios Forestales, el viento es un factor determinante durante el transcurso de los incendios forestales, siendo el principal factor que determina la velocidad y dirección de la propagación de los incendios.

El viento es el resultado del desplazamiento de aire desde una zona de altas presiones a una zona de bajas presiones. Hay muchas fuerzas de la naturaleza que contribuyen a la circulación de masas de aire alrededor de



la tierra. Algunos de estos factores son la rotación de la tierra, la gravedad, y las diferencias de calentamiento por efecto del sol.

Los vientos más peligrosos para el personal de extinción son:

- *Vientos Foëhn* (vistos en el Curso Básico).
- *Los vientos asociados a tormentas.*
- *Los remolinos* (Vistos en el Curso Básico).
- *Frentes fríos.*

Los frentes fríos son el límite entre dos masas de aire distintas que son invadidas por una masa de aire frío. El paso de un frente frío puede provocar cambios drásticos del viento y afectar muy negativamente al comportamiento del incendio, especialmente si la masa de aire frío es seca. Estos frentes se mueven entre los 30 y los 50 km/h.

Cuando un frente frío pasa por una zona de incendio, el viento puede girar radicalmente de dirección rotando (como en el caso de las siguientes imágenes) de este, a sur para terminar en viento del oeste en un pequeño espacio de tiempo.

En estas fotografías se puede apreciar como un cumulonimbo que se está formando con viento del sureste, se desplaza hacia el este por la llegada de un frente frío sobre la zona, que motiva el giro del viento a componente oeste.





2.5.1. Viento a media llama.

El viento, cuando pasa cerca de la superficie terrestre, se ve frenado en su velocidad por efecto de rozamiento del terreno y de la vegetación, así, el viento que afecta al incendio en superficie es mucho más lento que el que circula por encima de la copa de los árboles.

Por este motivo, los incendios de copas son mucho más rápidos que los incendios de superficie, dándose a veces dos frentes de incendio, uno que avanza más rápidamente por las copas de los árboles y otro que viene detrás y que afecta a la vegetación arbustiva.

Las lecturas de observatorios meteorológicos y unidades meteorológicas nos dan el viento a 6 ó 10 metros, que es el que afecta a los incendios de copas, pero el viento que afecta al incendio de superficie es el viento a media llama, que es el que se calcula con las estaciones meteorológicas portátiles o anemómetros, y que se considera está tomado a 2 metros.

Para calcular la velocidad de propagación del incendio siguiendo el método de Rothermel, debemos utilizar este viento, que, si las lecturas se realizan con instrumento manuales, no deberá corregirse, pero si los datos los proporciona una estación o unidad meteorológica, habrá que transformarlos en velocidad de viento a media llama utilizando la siguiente tabla.





TABLA DE AJUSTE DEL VIENTO

Protección del combustible	Modelo de combustible	Factor de ajuste
COMBUSTIBLES SIN PROTECCIÓN: El combustible está expuesto directamente al viento; combustible bajo arbolado que ha perdido su follaje; combustible cerca de claros; combustible sobre las crestas donde los árboles ofrecen poca protección frente al viento.	4	0.5
	13	0.5
	1,3,5,6	0.4
	11,12	0.4
	(2,7)* (8,9,10)**	0.4 0.4
*Combustibles parcialmente cubiertos usualmente. **Combustibles totalmente cubiertos usualmente.		
COMBUSTIBLES PARCIALMENTE CUBIERTOS: Combustibles bajo arbolado desigual, donde no hay una buena protección al viento; combustibles bajo arbolado a media ladera o en la parte más alta, con el viento soplando en la dirección de la pendiente.	Todos los modelos de combustible	0.3
COMBUSTIBLES TOTALMENTE CUBIERTOS: Combustibles bajo arbolado con follaje horizontal o ligeramente inclinado o cerca de la base de las montañas sobre pendiente escalonada.	Todos los modelos de combustible	Masas abiertas 0.2 Masas cerradas 0.1

Para transformar la velocidad del viento en velocidad del viento a media llama, hay que identificar el modelo de combustible sobre el que se desarrolla el incendio y su posición, después buscar el factor de corrección y multiplicar por este la velocidad del viento.

$$V_{mll} = V_v * F_c$$

2.5.2. Influencia del viento sobre el incendio, según se encuentre a barlovento o a sotavento.

Si el incendio se desarrolla en una zona donde el viento dominante le afecta directamente, el personal de extinción tendrá claro cual es la dirección de avance del incendio. Si por el contrario, el incendio se



desarrolla a sotavento del viento dominante, debido a la existencia de una montaña o una cordillera transversal a este, el incendio puede evolucionar tanto en dirección del viento dominante como en dirección contraria, debido a la succión que las olas de montaña realizan sobre el incendio.

Las olas de montaña son los vórtices de viento que el viento dominante crea a su paso sobre la cordillera montañosa.



2.6. Estabilidad o inestabilidad atmosférica.

La estabilidad atmosférica se puede definir como la resistencia de la atmósfera al movimiento vertical, así, al igual que el viento se definía como el movimiento trasversal de una masa de aire, el movimiento vertical del viento es controlado por la estabilidad atmosférica.



Dependiendo de la estabilidad de la atmósfera, el aire puede elevarse, caer, o permanecer a la misma altura. El viento estable impide el movimiento vertical y el inestable lo acentúa.

La temperatura de aire varía en función de la altitud, así, la temperatura decrece a medida que aumenta la temperatura, lo cual afecta al contenido de humedad del aire.

Hay tres tipos de variación de la temperatura con relación a la altura, en función de su contenido en humedad, la variación seca, la húmeda y la equilibrada.

La variación seca implica un incremento de la temperatura de 1,8° C por cada 100 metros que se desciende, la variación húmeda un incremento de 1° C por cada 100 metros que se desciende y la equilibrada un incremento de 1,15° C por cada 100 metros que se desciende en altura.

A medida que el aire se enfría, su humedad relativa se incrementa.

Para la extrapolación de lecturas meteorológicas desde observatorios al lugar donde se desarrolla un incendio, se suele utilizar la siguiente **norma**, se supone que cada 100 metros que se desciende, la temperatura se incrementa 1° C y cuando la temperatura aumenta 10° C, la humedad relativa baja a la mitad, excepto en atmósferas con un contenido en humedad relativa superior al 60 -65%, en donde la humedad relativa baja una cuarta parte.

En la atmósfera hay una serie de procesos que tienden a ganar el balance entre las condiciones climatológicas que se están dando, así hay un enfrentamiento constante entre altas presiones y bajas presiones, aire caliente frente a aire frío, aire seco frente a aire húmedo. Parte de este balance afecta al movimiento vertical de las masas de aire.

Si estas condiciones están equilibradas, se habla de atmósfera estable, y si no lo están, se dice que la atmósfera está inestable.



Se puede afirmar que:

- Si el descenso de la temperatura a medida que subimos en altura, es mayor de $1,8^{\circ}\text{C}$ por cada 100 metros, se dice que el aire está inestable y habrá movimiento vertical de la temperatura. Estas condiciones afectarán directamente al comportamiento del incendio. Los vientos pueden ser más fuertes y los saltos de fuego se pueden producir a mayos distancia.
- Si el descenso de la temperatura es inferior a $1,8^{\circ}\text{C}$ por cada 100 metros, se dice que el aire está estable. El comportamiento del incendio se mantendrá igual o descenderá.
- Si el descenso de la temperatura es de $1,8^{\circ}\text{C}$ por cada 100 metros, se dice que el aire está neutral. Estas condiciones se mantienen durante poco tiempo.

2.6.3. Índice de Haines.

Este índice combina dos factores que pueden influir en el comportamiento del fuego: el gradiente vertical de temperatura y el grado de humedad en el aire. La variación vertical de temperatura, en la parte baja de la atmósfera, puede influir en el desarrollo de la columna de convección sobre el incendio. Los niveles del gradiente vertical de temperatura, indican inestabilidad, pudiendo incrementar el desarrollo de la convección sobre el fuego, así se incrementan las posibilidades de que se de un comportamiento errático o extremo del incendio.

La humedad relativa en las capas bajas de la atmósfera es un factor que influye en la humedad del combustible en superficie. Valores bajos de humedad del combustible, incrementan las posibilidades de que se dé un comportamiento extremo de incendios.

El estudio de Haines se basó en el análisis de las peores campañas de incendios forestales, a lo largo de todo USA, durante un periodo de 20 años, recopilando datos de 29 estados, en donde analizó 29 grandes incendios de la costa oeste y 45 del este. De este estudio concluyó que sólo el 5% de los días de la campaña tenían un índice de Haines extremo, mientras que el 45% de los grandes incendios o incendios con comportamiento errático, coincidían con un índice de Haines extremo.



El Índice de Haines, que combina valores de inestabilidad atmosférica y sequedad del aire, es un indicador de la potencialidad de crecimiento de los incendios.

La sequedad del aire afecta al comportamiento del fuego, reduciendo la humedad del combustible fino muerto, por lo que hay más combustible disponible para el incendio, e incrementa la posibilidad de que se den saltos de fuego. La inestabilidad atmosférica afecta al comportamiento del fuego, aumentando el desarrollo de la columna de convección, lo que acarrea grandes velocidades de viento en superficie, así como grandes ráfagas de viento dentro del fuego para reemplazar el aire evacuado por la columna de humo. Este es el mecanismo por el cual el incendio genera su propio viento.



El índice de Haines tiene valores del 1 al 6, cuando alcanza los valores de 5 ó 6, la probabilidad de comportamiento extremo de incendio (antorchando y saltando) se incrementa significativamente. Este índice está bien adaptado para incendios dominados por su columna de convección, que son aquellos donde el poder del incendio es más grande que el del viento. El viento no es un parámetro que se utilice en este índice.



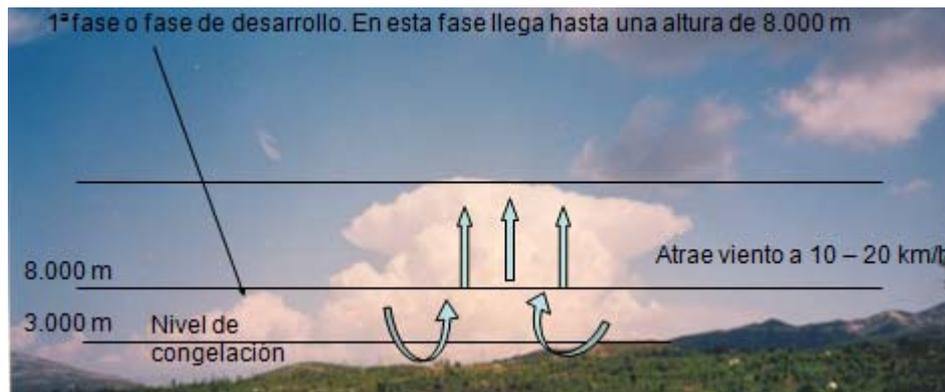
2.6.4. Tormentas.

En el desarrollo de las tormentas hay tres fases en su formación:

- Fase de crecimiento.
- Fase de maduración.
- Fase de disipación.



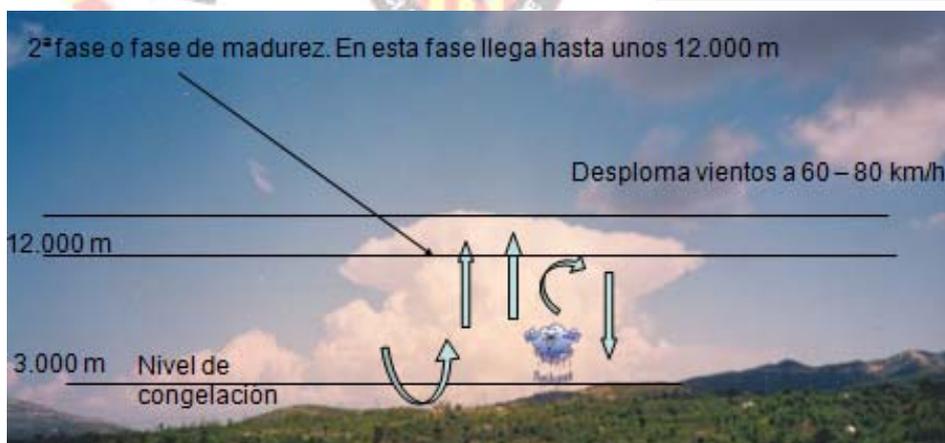
Fase de crecimiento.- Esta fase comienza con la formación de una nube cúmulo en la parte alta de una masa de aire. En su crecimiento coge forma de coliflor. Durante esta etapa se produce una absorción de aire hacia la base de la nube, lo que puede incrementar los vientos en superficie. Conforme se va formando la tormenta, los vientos pueden cambiar de dirección y soplar en la dirección en la que se desarrolla la nube.



Fase de maduración.-

Es la fase más activa y dinámica. Cuando la nube se va desarrollando el agua y el granizo comienza a caer en su base, esto provoca que el viento caiga con ella, generando las ráfagas de viento descendentes, por lo que la tormenta sigue absorbiendo aire cálido por uno de sus extremos a 10 ó 20 km/h y por el otro genera ráfagas de aire frío descendentes y erráticas mucho más rápidas, que pueden llegar a alcanzar velocidades de 80 ó 90 km/h.

En este punto el cumulonimbo está bien desarrollado y comienzan a caer los rayos.

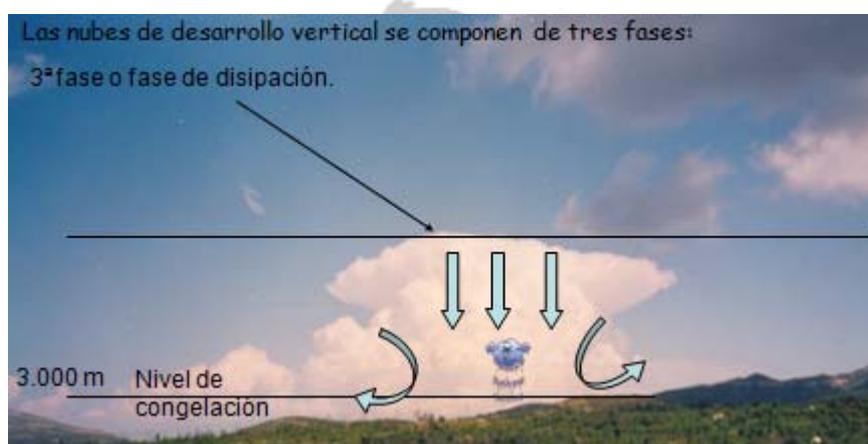




Fase de disipación.-

Esta fase comienza cuando la ascensión térmica finaliza, las corrientes de aire descendentes se hacen mucho más lentas y las fuentes de humedad y energía finalizan.

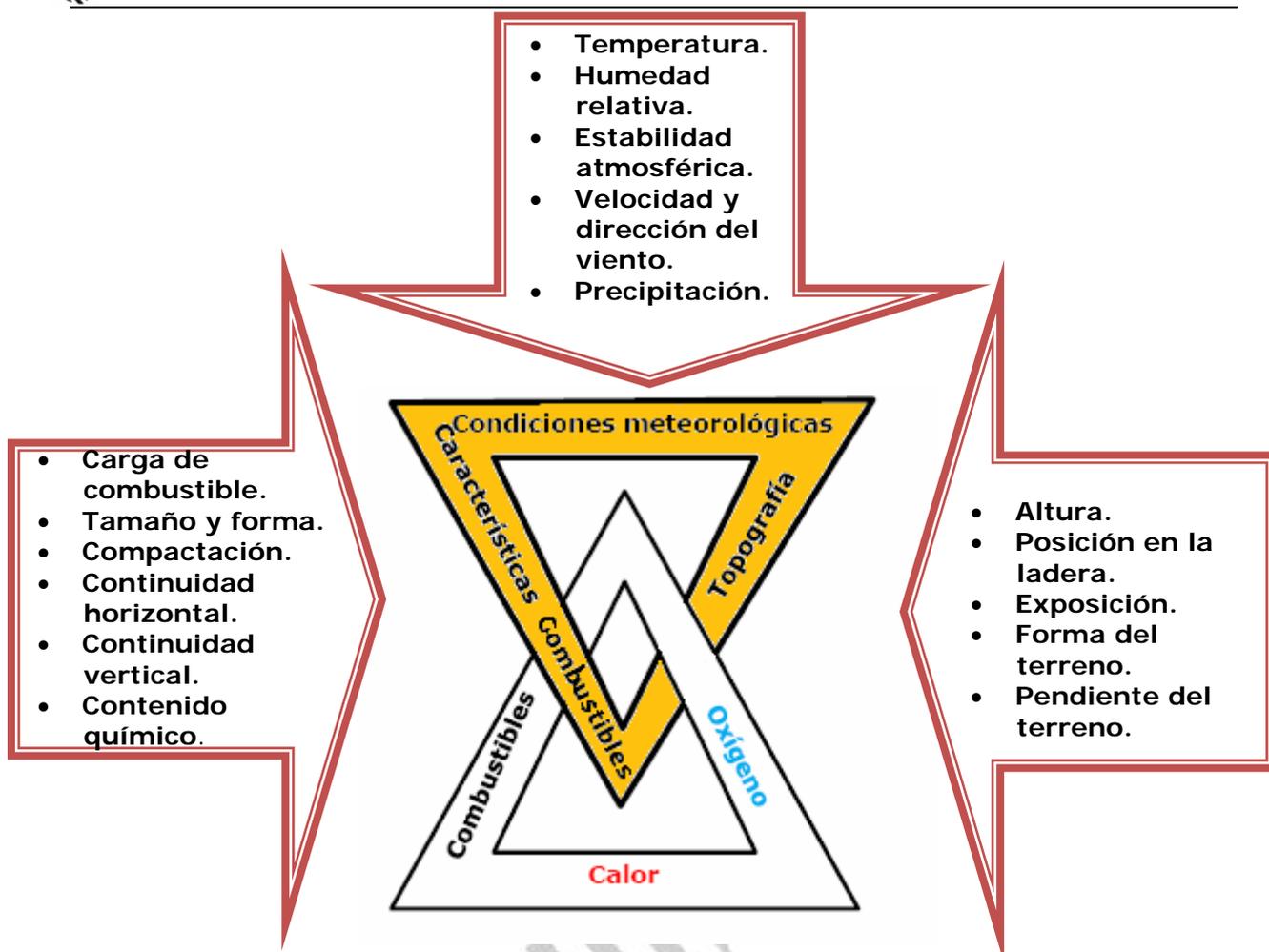
La tormenta genera únicamente corrientes de aire descendentes y la lluvia se hace más débil o para. La diferencia de temperatura entre la nube y el aire circundante se iguala y la nube se disipa.



2.7. Comportamiento del fuego.

El ambiente o la atmósfera propia del incendio, incluye todos los factores que le permiten iniciarse, quemar y propagarse. Hay 16 factores primarios que inciden en la forma en la que el incendio se va a desarrollar. La velocidad de propagación, intensidad y otras características están relacionadas con estos factores.

El ambiente propio del incendio influye en el comportamiento de este. Todos estos 16 factores interactúan entre sí, determinando el comportamiento del incendio en cada momento de su evolución. A medida que estos factores cambien, el comportamiento del fuego también cambia.



2.7.3. Velocidad de propagación.

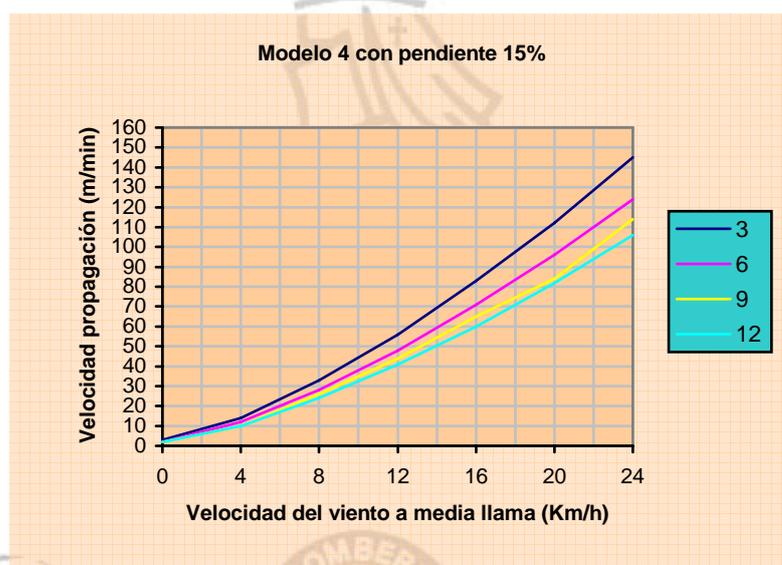
Es el espacio recorrido por el frente del incendio por unidad de tiempo. Está relacionada directamente con el viento y la pendiente, aunque también influyen en ella otros factores como son:

- **Intensidad del incendio:** a medida que aumenta, se incrementa el calor generado, provocando una mayor velocidad de propagación.
- **Velocidad del viento:** cuanto más fuerte es el viento, más inclinada está la columna de convección, por lo que el calor convectivo afecta a la vegetación que tiene por delante, desecándola e incrementando la velocidad de propagación.
- **Pendiente:** Cuanto más inclinada está la pendiente, sucede lo mismo que en el caso anterior, la columna de convección afecta en mayor medida al combustible que está sin quemar, incrementando la velocidad de propagación.



- **Cambios en los modelos de combustibles:** Dependiendo del combustible afectado, la velocidad de propagación será mayor cuanto más fino y seco se encuentre.
- **Presencia de barreras naturales o artificiales:** Estas pararán o frenarán el incendio.
- **Saltos de fuego:** si se producen saltos de fuego, estos influirán en la velocidad de propagación del incendio.

La velocidad de propagación del incendio puede calcularse de forma teórica mediante la utilización de programas como el BEHAVE, diseñado por Rothermel para realizar los cálculos de las características de los incendios forestales, o mediante la utilización de tablas y ábacos en los cuales se tiene en cuenta la Hcfm, la temperatura, la pendiente y la velocidad del viento a media llama.



2.7.4. Longitud de llama. Intensidad de calor.

La intensidad de calor es la cantidad de energía calorífica liberada durante la combustión. La intensidad de calor se mide de dos formas, por la intensidad de calor en la línea de fuego y por la altura de llama.

La intensidad de calor de la línea de fuego es la cantidad de calor liberada por unidad de longitud del frente de llamas y se expresa en kw/m.



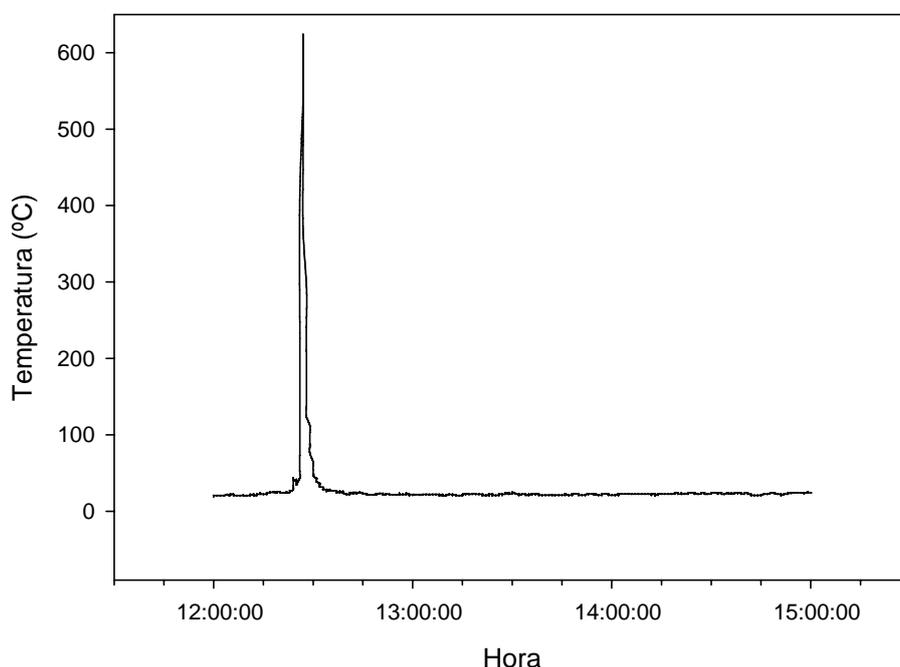
La longitud de llama es la distancia que hay entre la parte más alta de la llama hasta su base, en medio de la línea de fuego. Este parámetro puede proporcionar una rápida estimación de la intensidad del incendio.

La longitud de llama es un valor muy importante que podemos estimar de forma visual y que se puede utilizar para conocer como combatir el incendio. En el próximo capítulo, se utilizará para calcular las dimensiones de las zonas de seguridad.

EXINCIÓN DEL INCENDIO MEDIANTE LA INTERPRETACIÓN DE LA LONGITUD DE LLAMA	
Longitud de llama	Interpretación
Menos de 1 m	Los incendios pueden atacarse a la cabeza o por los flancos utilizando herramientas manuales.
De 1 a 2,5 m	Los incendios son demasiado intensos para atacar la cabeza con herramientas manuales. Autobombas, bulldozers y descargas de retardante son muy efectivas.
De 2,5 a 3,5 m	Los incendios presentan serios problemas para su control, antorchando, subiendo a copas y saltando. Los esfuerzos para controlar la cabeza pueden ser poco efectivos.
Más de 3,5 m	Los incendios de copas, los saltos de fuego y las deflagraciones son muy probables. Los esfuerzos por controlar la cabeza serán inútiles.

La intensidad de llama es otro factor que determina las limitaciones que puede presentar la línea de fuego a realizar diferentes tipos de ataque.

Como orientación se pueden mostrar las lecturas de los termopares de la quema controlada que se realizó en Vall de Alcalá (Alicante) en febrero de 2007, en donde se aprecia el calor generado por la vegetación arbustiva modelo 4, recogida por los termopares situados a 1 metro de altura del suelo.



Estas lecturas concuerdan con otras realizadas en otras zonas del mundo en los mismos modelos de combustible y que nos pueden dar una idea de la cantidad de calor generado y el tiempo en el que permanece activo el incendio en un determinado lugar.

2.7.5. Incendios dominados por viento.

Los incendios que están mostrando un comportamiento extremo se pueden clasificar en incendio dominados por viento e incendios dominados por columna, dependiendo del fenómeno que prevalezca frente al otro.

En los incendios dominados por viento la fuerza dominante es el viento y suelen ser los incendios de mayor extensión. En estos incendios se puede conocer más o menos la dirección de avance. La columna de convección está tumbada por efecto del viento, conduciendo la cabeza del incendio a los combustibles que permanecen sin arder. Los saltos de fuego son normales e influyen mucho en la propagación de estos.

Es bastante frecuente que se produzcan incendios de copas, si existe estrato arbóreo y estructura en escalera. Si el incendio tiene una gran intensidad de combustión, puede convertirse en un incendio dominado por columna en caso de que la fuerza de convección llegue a prevalecer frente a la velocidad del viento.



Como características se pueden citar:

- La velocidad de propagación es muy rápida.
- Pueden darse muchos saltos de fuego y algunos pueden producirse a grandes distancias.
- La dirección de propagación es predecible.
- Los flancos del incendio suelen ser zonas seguras para realizar los ataques.
- Los cambios de viento son la principal preocupación de los equipos de extinción.

2.7.6. Incendios dominados por columna.

Están dominados por la columna de convección y por las fuerzas que desarrollan este tipo de incendios. La dirección de avance y la velocidad de propagación son difíciles de predecir. Los saltos de fuego no suelen darse a grandes distancias, pero pueden ocurrir en cualquier dirección.

Los incendios dominados por columna:

- Pueden tener repentinos incrementos de la intensidad de fuego.
- Los saltos pueden darse en cualquier dirección.
- La dirección de avance es difícil de predecir.
- El desplome de la columna puede suponer el mayor riesgo de este tipo de incendios.





3. INDICADORES DE COMPORTAMIENTO EXTREMO DEL FUEGO.

3.1. Características de los combustibles.

Condición de los combustibles finos:

- Alta carga de combustibles muertos y caídos
- Estructura en escalera del combustible
- Espaciamiento pequeño entre las copas (<7 metros)

Condiciones especiales:

- Conatos de incendio con gran virulencia.
- Numerosos troncos.
- Estrato arbóreo precalentado.
- Vegetación congelada o vegetación tratada mediante fumigación.
- Carga de combustible fino anormalmente elevada.

Una relación alta entre el combustible muerto y vivo.

Humedad relativa:

- HR medida inferior (< 25%)
- HCFM 1 hr (<3%)
- Condiciones de sequía
- Sequedad estacional

FECHA: 17/07/2005 SERVICIO TERRITORIAL DE VALENCIA

OBSERVATORIOS FORESTALES

TOMA DE DATOS METEOROLÓGICOS REALIZADA A LAS 18:00 hrs.

Observatorio	Provincia	Altitud	Temperatura		HR	Viento		Lluvia	Nieve	Nubosidad	Visibilidad
			T.S.	T.H.		Vel.	Dir.				
El Gavilán	Valencia	1750	26		15	25	260	0	7	☐	Nuboso y Calima
La Travina	Valencia	1052	31		12	39	80	0	7	☐	Nubes claros y Calima
Pico del Remedio	Valencia	1037	31		23	11	322	0	7	☐	Nubes claros y Calima
Alto del Rno	Valencia	714	26		64	15	210	0	7	☐	Nuboso y Calima
Sierra Martés	Valencia	1060	32		13	13	310	0	7	☐	Cubierto y Calima
Sierra Negrete	Valencia	1303	30		15	25	280	0	7	☐	Nubes claros y Calima
Caroche	Valencia	1122	30		49	5	180	0	7	☐	Nuboso y Calima
Mondúber	Valencia	824	31		40	10	300	0	7	☐	Nuboso y Calima
Cerro Simón	Valencia	1221	31		48	14	260	0	7	☐	Cubierto y Calima
Vallada	Valencia	871	31		33	11	100	1	0	☐	Cubierto y Calima
Castilico	Valencia	1070	32		15	20	270	0	8	☐	Nubes y Calima

Altitud:	(Metros)
Temperatura:	T.S.: Termómetro seco(°C) T.H.: Termómetro húmedo(°C)
HR:	Humedad Relativa (%)
Viento:	Velocidad:(Km/h), rachas máximas Dirección:(Grados)
Lluvia:	Días: Nº días desde la última lluvia

Datos meteorológicos Valencia día accidente Guadalajara.



3.2. Características de la meteorología.

Temperatura.

Temperatura elevada (>30°C)

Alto % de los combustibles en solana.

Incremento en la temperatura de los combustibles (efecto del sol sobre ellos varía a lo largo del día según exposición).

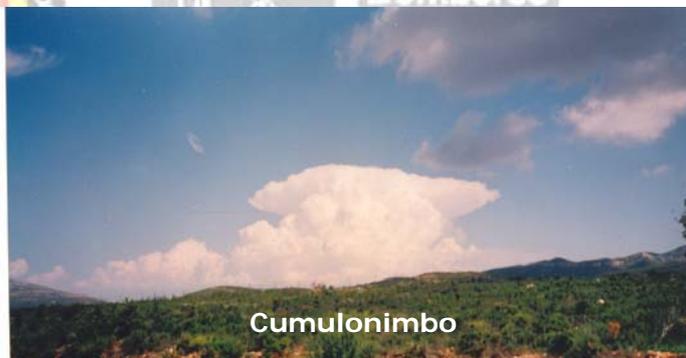


Viento.

Vientos a media llama superiores a 16 km/h (40 km/h viento dominante).

En condiciones de inestabilidad:

- Nubes lenticulares
- Nubes altas moviéndose rápidamente
- Aproximación de frentes fríos
- Cumulonimbos en desarrollo
- Calmas repentinas
- Vientos racheados o cambiantes





En condiciones de estabilidad observar:

- Buena visibilidad, humedad baja.
- Nubes cúmulos. Actividad convectiva.
- Vientos racheados y remolinos polvorientos. Actividad convectiva.
- Nubes castellatus antes de mediodía. Comienzo de actividad convectiva.
- Columnas de humo subiendo hacia arriba. Comienzo actividad convectiva.
- Cinturón térmico. Especialmente peligroso cuando la Inversión térmica comienza a levantar.



11:02 Rotura de cinturón térmico en Torremanzanas, agosto de 2005.



3.3. Condiciones de la topografía.

Pendientes (>50%).

Barrancos y chimeneas.

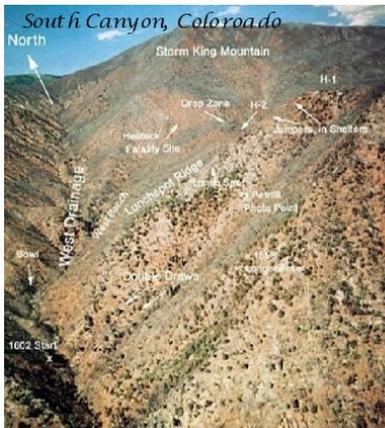
- Cañones cerrados.
- Cañones estrechos.
- Barrancos.



Accidente de Guadalajara



Accidente de Millares



Mann Gulch Fire, Montana



Cramer Fire, Idaho



Doxaro, Creta, julio 2007





3.4. Condiciones del comportamiento del incendio.

- Columna inclinada.
- Columna bien desarrollada.
- Columna cambiando.
- Árboles antorchando.
- Frecuentes reproducciones.
- Pequeños remolinos de fuego.
- Frecuentes saltos de fuego





4. DESCRIPCIÓN DE FENÓMENOS SORPRESIVOS

4.1. Lluvia de pavesas.

Los incendios forestales se pueden propagar por saltos de fuego. Este fenómeno sucede cuando material que está ardiendo es trasladado por la columna de convección o el viento a una zona donde todavía no ha llegado el incendio. Si las pavesas tienen la suficiente energía como para hacer que la vegetación donde se deposita comience a arder, se inician nuevos focos de incendio. Estas pavesas se desplazan por:

- Convección.
- Vientos.
- Gravedad.
- Por salto repentino de una parte de la vegetación por efecto del fuego (piñas).

Cuando las pavesas se desplazan por convección suponen un gran riesgo para los equipos de extinción, ya que pueden generar saltos de fuego a pequeñas o moderadas distancias, para más tarde, el frente principal atraer estos saltos hacia él, dejando a personal atrapado entre dos líneas de fuego. A medida que el poder convectivo de las columnas se incrementa, mayor es la cantidad de pavesas en suspensión que pueden trasladar.





El viento puede desplazar pavesas a grandes distancias, aunque los saltos más frecuentes los realiza bastante cerca del perímetro. El transporte de pavesas es horizontal, lo que puede provocar que rebase las líneas de control, tal como carreteras o pistas forestales sin ninguna dificultad. En presencia de viento, también se pueden crear pequeños torbellinos que pueden trasladar las pavesas a distancias considerables dentro de las zonas que todavía permanecen sin quemar.

El problema más grave se produce cuando se combinan la convección con el viento, ya que el primero absorbe gran cantidad de pavesas y el segundo lo desplaza a largas distancias como sucedió en el incendio de Oropesa, en abril de 1999, en donde un salto de fuego propagó el incendio a 2.400 metros de distancia.



Incendio de Oropesa, abril 1999.

Cuando el incendio coge gran virulencia en un determinado punto, o la columna de convección está afectando directamente a una zona que todavía se mantiene sin quemar, puede darse la que se denomina lluvia de pavesas, que consiste en una proyección masiva de pavesas incandescentes sobre una de las zonas de incendio, las cuales generan infinidad de pequeños focos de incendio, por lo que se puede afirmar que toda la vegetación comienza a arder a la vez, pudiéndose encontrar el personal metido "literalmente" dentro del incendio. Este fenómeno puede darse de forma más o menos rápida y supone una gran amenaza para el personal de extinción, que debe siempre estar atento a lo que está sucediendo a su alrededor y a la zona de influencia de la columna de convección.



Este fenómeno es el que sucedió en el incendio de Thirtymile, en donde todo el personal que estaba en la zona, incluidos dos excursionistas, debieron protegerse en sus refugios ignífugos.

6.2. Colapso de la columna de convección.

Hay dos tipos de vientos que pueden acompañar a los incendios dominados por columna, los que absorbe hacia arriba y los que pueden desplomarse sobre la base del incendio.

Los vientos en superficie que son absorbidos por la columna para reemplazar al aire caliente que desplaza hacia arriba la columna de convección, y que alimentan con oxígeno al frente de fuego, incrementando el calor convectivo y desecando los combustibles.

Este viento refuerza el ciclo de alimentación de la columna, cuando el viento aumenta, se incrementa la intensidad del fuego.

En ocasiones se pueden producir vientos descendentes debajo de la columna de convección. Estos vientos se producen cuando el aire caliente sube en la atmósfera, llegando a capas de aire frío en donde se enfrían y precipitan sobre la base de la columna. Cuando llegan al suelo se desplazan en todas las direcciones, pudiendo propagar el incendio en todas las direcciones. A este fenómeno se le denomina **“Desplome de la Columna de Convección”**.

El momento previo a este desplome tiene indicadores como son el comienzo de la lluvia o granizo y marcan el inicio de la formación de estos vientos descendentes. Los supervivientes de estos fenómenos han contado que momentos antes del desplome de la columna, se produce una lluvia débil y sensación de aire frío, a lo cual sigue un pequeño periodo de calma, antes de que el incendio explote en todas las direcciones.

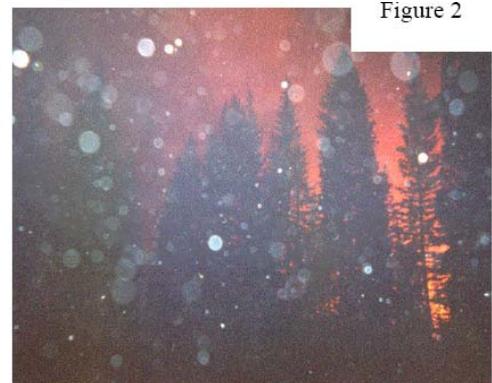


Figure 2



Este fenómeno dejó a 73 brigadistas atrapados en el incendio de Butte en 1985, los cuales se vieron obligados a desplegar sus refugios ignífugos, y no hubo que lamentar ninguna desgracia.

4.3.- Rotura del cinturón térmico.

En contra de la creencia que se tiene del fenómeno de inversión térmica y su relación con el comportamiento extremo de incendios forestales, no es necesario que el cinturón térmico esté anclado en las laderas del valle, sino que puede estar estabilizado en altura, afectando a la evacuación de gases contenidos en la columna de convección.

En cuanto se detecten las condiciones previas a la rotura del cinturón, todo el personal debe salir por sus rutas de escape a las áreas de seguridad. Los signos que alertarán de que se puede estar produciendo este fenómeno son:

- Aumento de la concentración del monóxido de carbono, que aunque es indetectable por los sentidos, se puede apreciar por la aparición generalizada de dolor de cabeza entre los miembros de los equipos de extinción.
- Disminución de la disponibilidad de oxígeno en el ambiente.
- Disminución de la visibilidad.
- Incremento súbito de la temperatura y repentina bajada de la humedad relativa.
- Comienzo de antorchado en el arbolado.

Normalmente el cinturón térmico rompe en torno a media mañana, como en este caso 09:00 hora solar. No existe una hora constante, ya que depende del calentamiento que el sol realice sobre la superficie terrestre, y esto, a su vez, depende de la época del año y de la exposición de las laderas.

En presencia de una inversión térmica, el personal de extinción debe ubicarse en zonas donde no pueda ser sorprendido por la rotura súbita del cinturón térmico y la posterior deflagración del combustible, especialmente en zonas de ladera ascendente y salidas de barrancos.



**Rotura de cinturón térmico
Torremanzanas, agosto 2007.**



Se deberá tener muy claro cuáles serán las rutas de escape, que no estarán comprometidas si se produce la rotura del cinturón. Las zonas de seguridad no estarán muy alejadas de la zona de trabajo, por lo que en muchas ocasiones se deberá emplear el ataque indirecto.

Cuando se elija una zona de seguridad dentro de la zona quemada, se tendrá en cuenta que todo el combustible esté quemado. Nunca serán válidas aquellas en las que sólo se haya quemado el matorral y no esté quemado el arbolado.

4.4.- Desplome de viento en las tormentas.

Como se ha visto en el punto 2.6.4., durante la fase de maduración de una tormenta se pueden producir corrientes de aire descendentes que pueden tener ráfagas de viento de hasta 90 km/h.

Si una tormenta afecta a una zona donde se está desarrollando un incendio forestal, como sucedió en los incendios de Moratillas (junio 2005) y el incendio de Xátiva (junio de 2005), puede provocar que el incendio se disemine erráticamente a lo largo de las líneas de control, provocando la reactivación de algunas zonas ya controladas.

Esta acción puede suponer que algunos de los equipos de extinción se vean atrapados entre dos líneas de fuego, por lo que hay que estar atento a las condiciones previas al desplome de viento, tal y como se abordó en el punto relativo a tormentas.

También puede darse el caso de que la velocidad de propagación del incendio se incremente mucho, llegando a deflagrar, con el consiguiente riesgo para el personal de extinción.

4.5.- Efectos de las condiciones de inestabilidad atmosférica.

El aire inestable puede empeorar el comportamiento del incendio incrementando:

- La posibilidad de que se den torbellinos y remolinos de fuego. Los remolinos son comunes bajo atmósferas inestables, y pueden esparcir el incendio e incrementar la posibilidad de que se den saltos de fuego. Los remolinos de fuego son menos habituales.



- El potencial de vientos racheados de superficie. Cuando la atmósfera es inestable, vientos muy fuertes pueden caer hacia la superficie de la tierra, generando vientos muy intensos racheados en superficie. Esto puede producirse de forma muy rápida, sorprendiendo al personal de extinción.
- La anchura y altura de las columnas de convección. Cuando la atmósfera es inestable, las columnas pueden crecer mucho a la mayor rapidez. Esto crea vientos muy fuertes en el interior de las columnas que incrementan la intensidad del incendio.
- La posibilidad de que se den saltos de fuego, ya que las columnas bien desarrolladas transportan mayor cantidad de pavesas en su interior, aumentando el número de saltos y la distancia a la que pueden producirse si se combinan con la acción del viento.

4.6. Deflagraciones.

La combustión deflagrante se define como aquella en la que la velocidad de propagación es superior a 1m/seg e inferior a la velocidad del sonido.

En el comportamiento extremo de los incendios forestales es habitual que se de este fenómeno, como resultado final de alguno o varios de los fenómenos antes descritos.

Frente a este comportamiento del incendio poco se puede hacer, sólo cabe la formación del personal en las normas de seguridad y en el análisis del comportamiento del fuego.

No siempre los incendios se pueden comportar así, esta forma de propagación está íntimamente relacionada con la humedad del combustible. Así como datos orientativos podemos analizar los factores medioambientales que se dieron en algunos incendios con accidentes trágicos:





Incendio (año)	Temp	Hr (%)	V.viento media llama	Pendiente	Hcfm	Nº de Víctimas
Mann Gulch (1949)	36	10	8	40	3	13
Loop (1966)	31	13	8	40 – 60	3	12
Gibson Creek (1977)	30,5	28	4,8	45	5	1
Spanish Ranch (1979)	29	27	8	40 – 60	5	4
Mack Lake (1980)	28	21	6,4	0 - 30	4	1
Golden Gate States (1985)	26,5	31	16	10	7	1
Lauder (1987)	26,5	20	6,4	70	7	1
Dude (1990)	32	8	6,4	10	2	6
Lorcha (1992)	-----	----	32	-----	---	2
Millares (1994)	45	6	6	40 - 60	1	7
South Canyon (1994)	30,5	9	21	50	2	14
Alhajar	30	28	4	47,5	4	4
Kates Basin (2000)	30	10	24	25	3	1
Thirtymile (2001)	30,5	13	4,8	5	3 -6	4
Cramer (2003)	36	15	32	65	3	2
Riba de Saélicas (2005)	32	9,5	4,32	40	1	11
Doxaro (2007)	-----	----	----	40	----	3

De este análisis se desprende que el mayor número de víctimas y los accidentes con mayor número de víctimas se han dado con incendios en los que la Hcfm es inferior al 3%.

EL COMPORTAMIENTO EXTREMO DEL INCENDIO, Y LOS FENÓMENOS DE DEFLAGRACIÓN, SUELEN DARSE CUANDO LA HUMEDAD DEL COMBUSTIBLE ES MUY BAJA.



5. ANÁLISIS DE ACCIDENTES.

5.1. Millares.

Este incendio se declara por la caída de varios rayos en una ladera, donde las **condiciones meteorológicas eran extremas** y la **combustibilidad** de la vegetación **muy alta**.

La brigada accede al lugar por una pista forestal que circula por la **parte alta de la ladera**, quedando el incendio por la parte baja de esta, a muchos metros de distancia.

En la zona se estaba desarrollando un **cumulonimbo**, que en su fase de maduración, por el **desplome de viento**, empuja el incendio que se encontraba en la parte baja del valle, por la **ladera ascendente**, produciéndose una **deflagración** que sorprende al personal de extinción que se encontraba en la parte alta de esta.



5.2. Lorcha.

Este accidente se produce en la parte contraria de la ladera por la que sube un incendio empuja por el viento.



La brigada de Lorcha estaba ubicada dentro de una pista que circula por la **parte alta de la ladera**, comenzando las operaciones de combate de incendio, cuando una **deflagración** les sorprendió cortándoles la **ruta de escape** hacia la zona donde estaban operando las autobombas.

Parte de la brigada salió hacia esta zona **buscando una ruta de escape a media ladera**, pero dos miembros de la esta, intentaron abandonar la zona por la **ladera descendente**, hacia el **fondo del barranco** que se encontraba en la parte contraria, en donde el incendio les dejó encerrados y sin posibilidad de salida.



5.3. Alhajar.

Este accidente se desarrolla en un **barranco**, en donde en una de sus laderas se produce un incendio. La vegetación de la zona tiene una **alta carga de combustible** y sobre ella hay una zona de **estabilidad atmosférica** con su consecuente **cinturón térmico**, pero que más tarde es afectada por una **inestabilidad atmosférica** que rige el comportamiento del fuego.

Por la parte baja de ladera hay una carretera que es el lugar en donde toma el helicóptero para dejar a la brigada, a cuyo mando había un Agente Forestal.

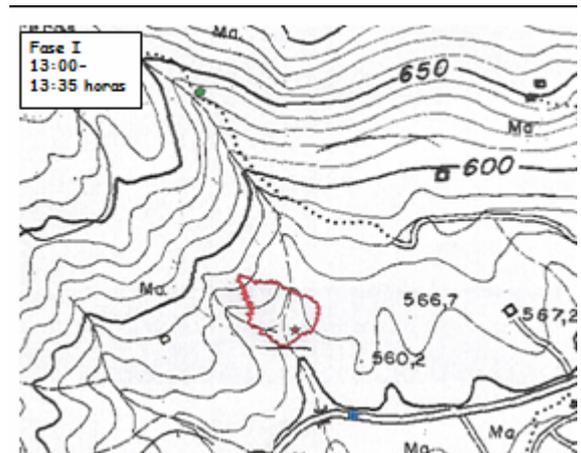
La brigada comienza a trabajar por la cola de incendio, y en un momento determinado se decide dividirla puesto que parece que se puede llegar al control atacando a los dos flancos simultáneamente.

Parte de la brigada con el Agente Forestal al frente, realiza un ataque por el flanco izquierdo y el resto de la brigada pasa a realizar un ataque por el flanco derecho.

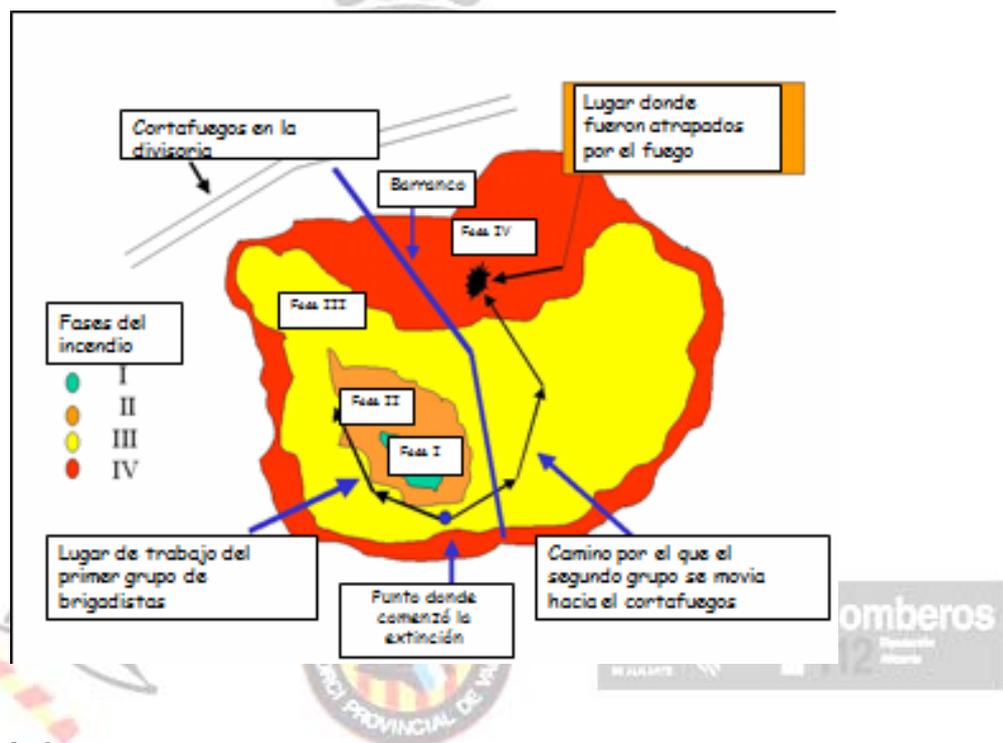
El personal que avanzaba por el flanco derecho, cruza **el fondo del barranco** para dirigirse a una senda que circula por la vertiente opuesta.



Cuando **rompe el cinturón térmico**, se produce la entrada **masiva de aire frío** sobre el incendio. Este había pasado de desarrollarse a un modelo de combustible mixto entre el 4 y el 7, por lo que coge gran virulencia, produciéndose una **deflagración**, que deja atrapado al personal de extinción en la senda de la ladera opuesta al punto de origen del incendio.



Esta deflagración se ve favorecida por la **vegetación** densa y compacta, el **barranco**, con su consecuente efecto chimenea, y la **ladera ascendente**.



5.3. Guadalajara.

El incendio de Guadalajara es una de los mayores incendios acontecidos en España en los últimos años, y en donde se dio una de las catástrofes más grandes sufridas por los equipos de extinción, ya que supuso la pérdida de 11 vidas humanas.



El accidente de Guadalajara se produjo en el término municipal de Santa María del Espino, en una zona de **barrancos con fuertes pendientes**.

Las **condiciones atmosféricas eran bastante desfavorables**, ya que si bien no hacía demasiado viento, la zona había estado sometida a un estrés hídrico muy importante a lo largo de todo el año, registrándose una **humedad relativa** en el momento del accidente en torno al **9%** la que suponía una **Hcfm del 1%**.

Además las **especies vegetales** reinantes en la zona, eran **altamente inflamables** por su contenido en resinas (*Pinus pinaster*, *Cistus ladanifer*, *Cistus salvifolius*, etc.).

El accidente se produjo cuando un contingente formado por dos agentes forestales, una brigada, un autobomba Pegaso y un nodriza, entraron en una **pista forestal** que circundaba por la **parte alta de la ladera**, para intentar parar el avance del incendio en esta pista.



La hipótesis más acertada parece ser que **el incendio les venía de cara**, y primero cogió una ladera de pinar, lo que les impidió seguir avanzando, por lo que **intentaron volver a salir por la pista** hacia la zona de donde venían, siendo **sorprendidos por una deflagración** que se había producido, como consecuencia de un **efecto chimenea** formado en un barranco anterior a su posición, que evolucionaba por un modelo 6 de vegetación de matorral.

5.4. Thirtymile.

El 10 de julio de 2001 cuatro miembros de los equipos de extinción del servicio forestal de USA, murieron cuando fueron sorprendidos por un incendio forestal dentro de sus refugios ignífugos.



La zona del incendio, en el estado de Washington, estaba marcada por una **gran sequía** lo que le hacía tener unos contenidos de **humedad muy bajos**. Además, las condiciones en las que se desarrolló el incendio eran extremas, con **temperaturas de 37°C**, que son totalmente anormales para este lugar.

El incendio salió de su punto de origen, motivado por una barbacoa, y comenzó a desarrollarse por el fondo del barranco, hacia la ladera del este. En principio querían utilizar la carretera como línea de control del incendio, pero el incendio comenzó a **propagarse por saltos de fuego**.

Surgió un salto del fuego al norte de la carretera, al cual enviaron personal para combatirlo. Otro equipo de extinción, compuesto por varias unidades, estaba trabajando en una zona más cercana al punto de origen de incendio, cuando vieron como **otro salto de fuego**, cruzaba la carretera, por lo que decidieron salir por sus **rutas de escape** en dirección hacia el punto de inicio, transmitiendo al equipo, compuesto por 14 personas, que estaba en el salto del norte esta circunstancia por radio.

Este equipo se encontraba apagando varios saltos de fuego entre el río y la carretera, a unos 400 metros de donde se produjo el salto, cuando recibieron la noticia de que su ruta de escape estaba comprometida.

10 de los 14 brigadistas, se subieron en sus vehículos y se dirigieron hacia el sur, los otros 4 fueron a por su vehículo. Los 10 brigadistas se encontraron con la carretera cortada por un fuego muy intenso, lo que les obligó a dar la vuelta, recibiendo instrucciones del director de extinción de donde tenían una zona de seguridad hacia el norte.

Al pasar junto a los otros 4 brigadistas, los recogieron y todos se dirigieron hacia la zona de seguridad indicada.

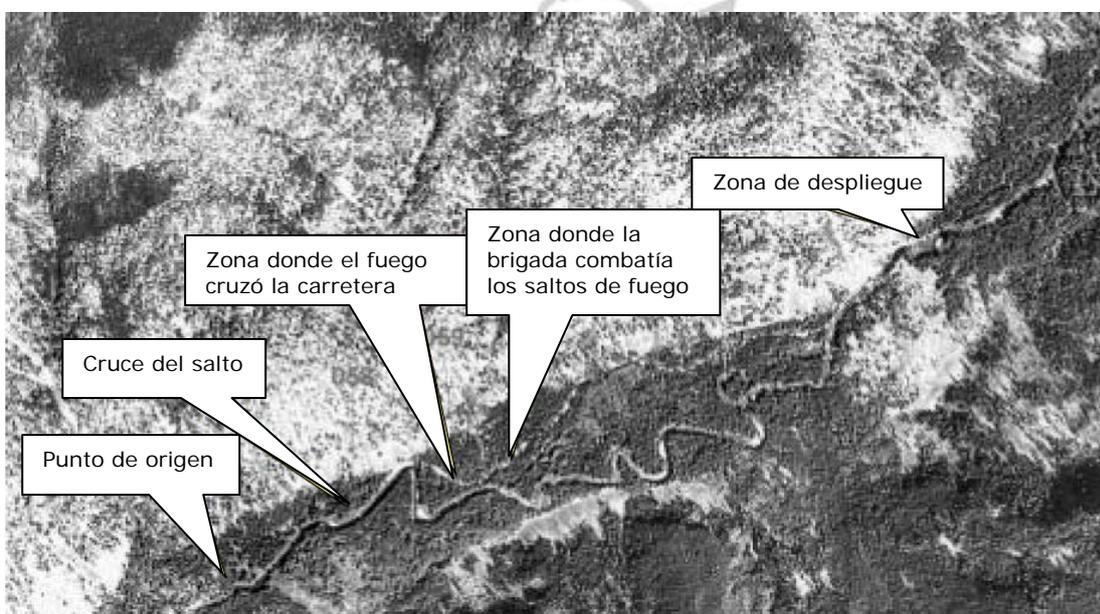
En estos momentos, aparecieron 2 campistas que alertados por las operaciones de extinción y viendo el humo del incendio, estaban abandonando la zona, pero que se encontraron con la carretera cortada por el incendio.

Una vez en la zona, el incendio llegó con mucha rapidez, una lluvia intensa de pavesas precedió a una ola de calor intenso, fuego, humo y viento.



Ocho de los brigadistas desplegaron sus refugios en la carretera, dando refugio a los 2 campistas, un jefe de unidad que se encontraba supervisando la evolución del incendio desde un punto alto, no pudo llegar a la carretera, por lo que se refugió en la parte contraria de la ladera, el resto del personal salió de la zona por la ladera hacia arriba y desplegó los refugios cerca de donde estaba el jefe de unidad.

Cuatro de los seis brigadistas que desplegaron sus refugios en la ladera murieron.



5.5. Incendio en South Canyon, más conocido como Stormking.

El 2 de julio de 1994 un incendio provocado por un rayo comenzó a propagarse por la zona quemando **vegetación herbácea y matorral sin afectar a las copas de los robles, pero desecándolas.**

El día 4 de julio había afectado a 1,5 ha, al final del día 5 de julio había afectado a unas 22 ha. En la mañana del día 6 afectaba a 57 ha, seguía quemando ladera hacia abajo, consumiendo los combustibles de superficie, pero sin afectar a la vegetación arbórea de forma continua.

A las 15:20 la zona se vio afectada por un **frente frío y seco, que dejó vientos en el fondo del barranco de entre 50 y 70 km/h.**

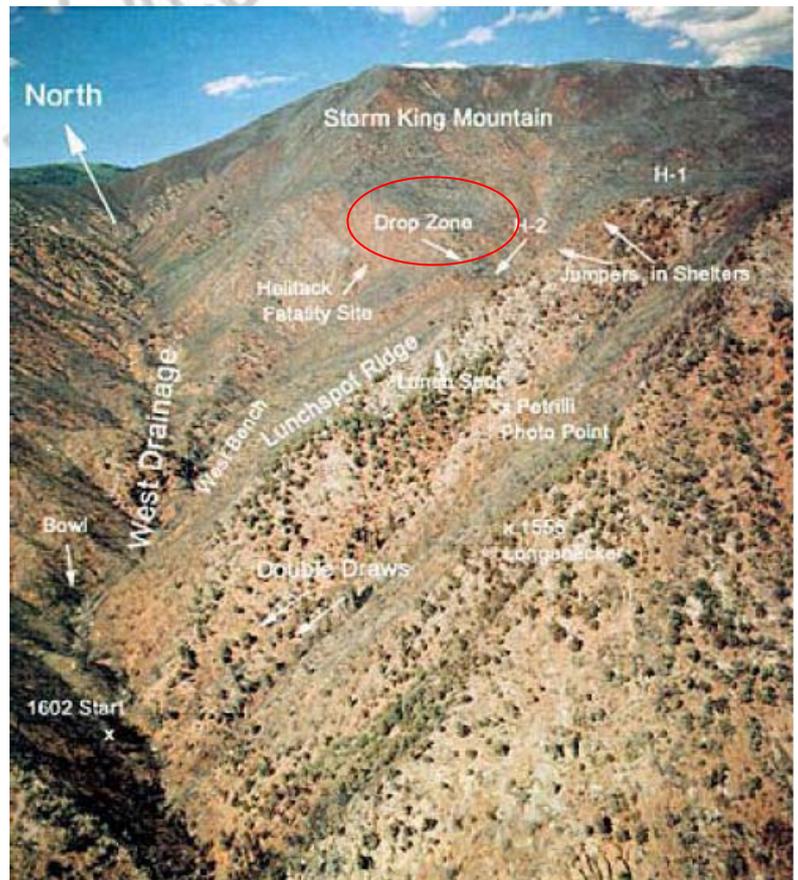


Alrededor de las 15:55 se dieron **varias deflagraciones en las laderas** del oeste en el pico suroeste dentro del incendio, que afectaban al pasto y a las coníferas.

Inmediatamente después de que se produjesen estas **deflagraciones**, los testigos observaron fuego en el fondo del barranco, directamente al oeste del punto de inicio en la divisoria. El fuego evolucionó **rápidamente por el fondo del barranco empujado por los vientos** que circulaban en su interior.

Al propagarse hacia el norte y el este, la combinación de los factores del combustible, la pendiente y las condiciones del viento dieron como resultado una propagación continua del incendio a través de las copas de los robles.

El incendio comenzó quemando con gran intensidad, realizando un movimiento continuo y rápido del frente de fuego. La **velocidad de propagación estima por el fondo del barranco hacia el norte era de 54 m/min**. Las elevadas pendientes y los potentes viento del oeste orientados hacia la ladera ascendente, empujaron al incendio hacia la parte más alta de la divisoria. **La velocidad de propagación del incendio en estas laderas era de 110 a 165 m/min**. Poco tiempo después, fallecieron 14 brigadistas.



J. Kautz, U.S. Forest Service, Missoula, MT.

5.6. Doxaro, Creta.

El 11 de julio de 2007, tres brigadistas murieron durante la extinción de un incendio forestal en Doxaro, Creta. Otro sufrió quemaduras muy graves.



En torno a las 13:20 horas, se declaró un incendio intencionado en una zona de matorral rodeado de cultivos agrícolas.

Al incendio fueron movilizadas 11 autobombas, un kamov, 2 canadair y 2 brigadas con 8 componentes.

El viento no era muy fuerte y el incendio no parecía peligroso. El accidente se dio a las 17:00 horas, aproximadamente.

Se encontraban atacando un incendio en el **fondo y ladera izquierda de un barranco con fuertes pendientes**, mediante tendido de mangueras, desde una autobomba situada en una pista forestal que discurría a media ladera, con el apoyo de dos Canadair 215 T y un Kamov.

Cuando lo tenían controlado y se disponían a recoger el tendido de mangueras, vieron unas **pequeñas llamas en la ladera opuesta del barranco**, dentro de la vegetación que no estaba afectada.

Cuatro bomberos y una brigada, se desplazaron hacia la zona para extinguir estas llamas mediante la utilización de extintores de mochila. De forma inesperada, el incendio se propagó a través de los combustibles al fondo del barranco, por debajo de la posición de los cuatro bomberos.

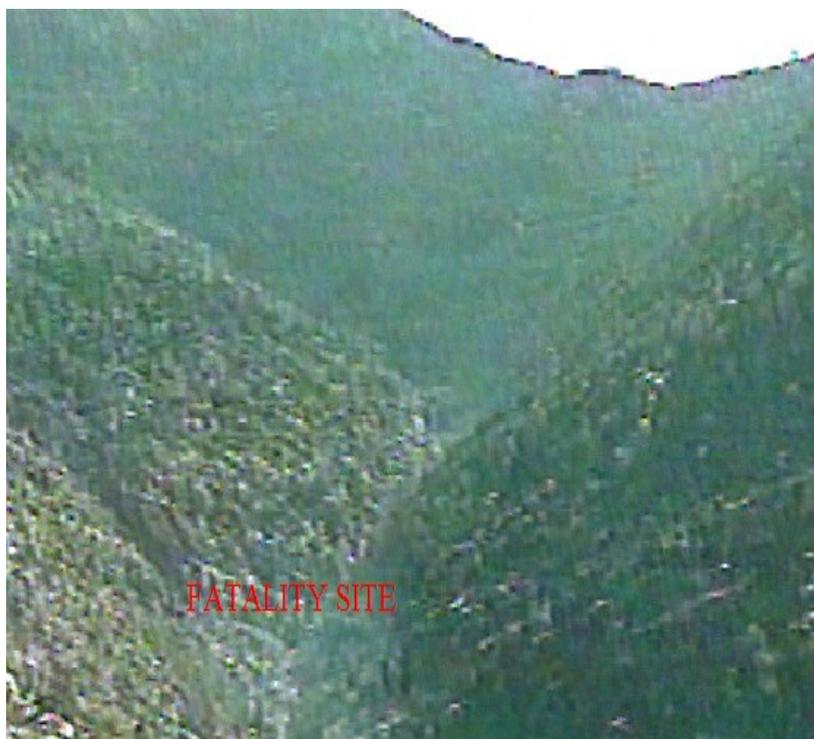
Esta propagación se produjo por los **combustibles finos** que había en la zona, las **pendientes superiores al 40%** y el efecto del "**viento racheado**", por lo que el incendio cogió gran virulencia y se dirigió hacia los cuatro bomberos.

Comenzaron a **escapar de la zona** corriendo, pero eligieron la opción de correr **por la ladera ascendente en dirección hacia el barranco en donde los combustibles permanecían sin arder**. El fuego aceleró detrás de ellos, pidieron auxilio por radio, pero sus compañeros no los podían localizar por la gran cantidad de humo que salía del barranco.

Los tres bomberos que murieron corrieron 200 metros hasta que los sorprendió el incendio, el cuarto sobrevivió porque se refugió en una pequeña cueva. Según los testigos, desde la deflagración hasta el accidente no pasaron más de 5 minutos.



En este accidente se está investigando la actividad del Kamov 32, por si fuese la causa que generó el viento que produjo la posterior deflagración en el fondo del barranco.



6. BIBLIOGRAFÍA.

- Arnaldos Viger, J., Navlón Nonell, X. **Manual de Ingeniería Básica para la Prevención y Extinción de Incendios Forestales.** Institut d'Edicions de la Diputació de Barcelona. Ediciones Mundi-Prensa. 2003.
- C. Teie, W. **Fire Officer's Handbook on Wildland Firefighting.** Deer Valley Press, California. 1997.
- Elvira Martín, M., Hernando Lara, C. Inflamabilidad y Energía de la Especies de Sotobosque. MAPA. 1989.
- Forest Service. **Thirtymile Fire Investigation.** U.S. Department of Agriculture. 2001.
- Forest Service. **Fire Behavior Associated with the 1994 South Canyon Fire on Storm King Mountain, Colorado.** U.S. Department of Agriculture. 1998.



- Haines Donald A., Lyon Jack L. **Horizontal Roll Vortices in Complex Terrain**. Fire Management Today, vol 63.No 4, Fall 2003. 54 p.
- NWCG. **Fireline Handbook**. National Wildfire Coordinating Group. National Interagency Fire Center. Marzo 2004.
- Quílez Moraga, R. **Descripción de la rotura de un cinturón térmico durante la extinción del incendio de Torremanzanas (Alicante) España, agosto de 2005**. Revista Incendios Forestales nº 14. Abril 2006.
- Quílez Moraga, R. **Influencia del índice de Haines en la evolución del incendio forestal ocurrido en Xàtiva (Valencia) España, el 22 de junio de 2005**. Wildfire 2007. Mayo 2007.
- Quílez Moraga, R. **Apuntes Curso de Seguridad en Extinción de Incendios Forestales y Comportamiento del Fuego para Agentes Medioambientales de la Comunidad Valenciana**. Junio 2007.
- Rodríguez Silva, F. **Incendio Forestal de Alhajar (Huelva), 30 de junio de 1999: Descripción del fenómeno explosivo que causó la muerte de cuatro brigadistas andaluces**. Missoula Technology Develop Center. 2003.
- Rothermel, R.C. **How to Predic the Spread and Intensity of Forest and Range Fires**. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Intermountain forest and Range Experiment Station Ogden. Report INT-143. 1983.
- Xanthopoulos, G. **Firefighter Fatalities in Crete, Greece**. Research Forester (Forest Fires). Athens, Greece. Agosto 2007.

