

Tipificación de los incendios forestales de Cataluña. Elaboración del mapa de incendios de diseño como herramienta para la gestión forestal

CASTELLNOU, M.¹, PAGÉS, J.¹, MIRALLES, M.¹, PIQUÉ, M.²

¹ Unidad Técnica GRAF. Direcció General de Prevenció, Extinció d'Incendis i Salvaments del Departament d'Interior Relacions Institucionals i Participació de la Generalitat de Catalunya

² Área de Gestión Forestal Sostenible. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya.

Resumen

El fuego forestal es hoy en día la perturbación dominante de la mayor parte de los paisajes mediterráneos. La gestión forestal en el siglo XXI y actual contexto de cambio global debe considerar más que nunca los incendios forestales. Para orientar la gestión forestal y desarrollar modelos de gestión que integren el fuego como condicionante es imprescindible un análisis específico de su recurrencia, intensidad y patrón espacial de afectación.

Se presenta el proceso para determinar las tipologías de incendios forestales de Cataluña y su relación con la determinación de zonas más vulnerables al fuego. Se han reconstruido y estudiado más de 2.000 incendios, desde el 1968 a la actualidad. Se han descrito para cada incendio, parámetros como la meteorología (situación sinóptica), el patrón de comportamiento (factor dominante, dirección principal, incendio de diseño) y el tiempo desde el último incendio o la estacionalidad.

Esta información ha permitido cartografiar el régimen de incendios caracterizando para cada zona, la recurrencia entre fuegos y los incendios de diseño. La caracterización del régimen de incendios permite sentar las bases para la planificación de la gestión forestal, tanto para aspectos relacionados con la rotación y la persistencia a nivel de finca, como para aspectos relacionados con la prevención y extinción de incendios a nivel de paisaje.

Palabras clave

Historia del fuego, patrón espacial, planificación, incendio de diseño.

1. Introducción

En Cataluña, la factura pagada por intentar eliminar el fuego forestal nunca ha sido tan alta como en estos últimos 30 años, y el resultado ha sido un paisaje cuya estructura y configuración viene determinada por los Grandes Incendios Forestales (GIF).

Esta situación es común para el conjunto de los países desarrollados con ecosistemas en los que el fuego juega un papel fundamental (desde la Europa mediterránea a Australia, pasando por USA, etc.). Para enfrentarse a los GIF los sistemas de prevención y extinción han definido una serie de políticas comunes respecto a la distribución de recursos antes y durante el incendio.

1. Respuesta inmediata. Sistema de vigilancia y sistemas de extinción distribuidos por todo el territorio sensible.
2. Distribución de los recursos según la predicción de riesgo. Creación de índices de riesgo que informan del potencial de gran incendio, y permiten la óptima distribución de recursos.
3. Según evolución esperada del gran incendio, gestión forestal de puntos críticos y estrategia de ataque durante el incendio. Anticipar lo que el fuego hará permite estar preparado cuando haya una oportunidad para apagarlo o reducir su potencial.



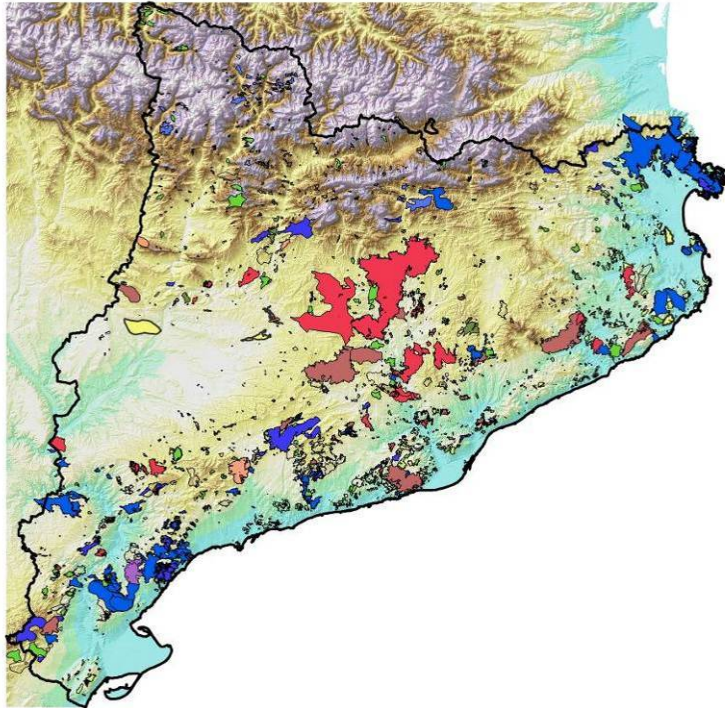


Figura 1: Perímetros de incendio en Cataluña clasificados por incendio tipo. En rojo y marrón los incendios de convección (sur y ponientes), en azul los de viento con relieve, en amarillo los de viento en planas y en verde los topográficos.

La distribución de recursos antes del fuego, tanto la estática como la dinámica, están desarrolladas, pero no durante el fuego. La anticipación de las oportunidades de ataque está lejos de ser de uso general para los sistemas de prevención y extinción.

Existen varias investigaciones antiguas y recientes que intentan avanzar en esta dirección:

- Desde los patrones de propagación que permiten identificar el factor dominante de los incendios y por tanto qué tipo de cambios van a generar oportunidades (desarrollados en la primera mitad del s.XX),
- Pasando por simuladores estáticos de comportamiento de fuego de superficie (Behave) (Andrews, 1986) o los simuladores espaciales de comportamiento de fuego (Finney, 1998), que permiten anticipar zonas de menor intensidad.
- Hasta los actuales simuladores basados en tiempo mínimo de recorrido, que permite localizar oportunidades (Finney et al, 2002; Finney, 2007),
- Análisis CPSL (Campbell Prediction System Language) para predecir donde cambiará el comportamiento (Campbell, 1995) o
- Incendios de diseño (Castellnou, 2000), gran incendio esperado en cada macizo, y provincias de fuego (Castellnou, 1996)
- La planificación basada en el fuego-problema “problem fire”, vinculado con la cuenca de fuego o “fireshed” (Bahro et al, 2007).

Los simuladores necesitan mucho tiempo, datos de modelos de combustibles precisos y un conocimiento preciso de la interacción de meteorología (principalmente viento) y topografía a pequeña y a gran escala. Por todo ello, son una herramienta útil para la planificación. Sin embargo, su aplicación está limitada en la extinción ya que los incendios habitualmente presentan una duración inferior a 48h (la mayoría de los que ocurren en la Europa mediterránea). En la planificación, los simuladores, nos permiten prever movimientos

generales y aproximados, siempre y cuando se cuente con una fuente de información de la interacción de viento y paisaje, ajustando el comportamiento en base a incendios históricos de la zona (Castellnou 1996, Finney et al 1997, Molina et al 2006, Bahro et al, 2007, Grillo et al. 2008).

En este trabajo, intentaremos profundizar en el concepto de patrones de propagación, a partir de herramientas de análisis de la propagación de los incendios forestales (Campbell, 1995, Grillo et al. 2008) y puntualmente de simuladores, para llegar a fuegos tipo en los que basar la planificación, y concretarlos en el territorio mediante el incendio de diseño. Este concepto ha nacido de la observación que ante la misma topografía y meteorología el fuego propagará de la misma manera (Castellnou, 2000; Expósito y Cordero, 2004), cambiando sólo su intensidad en función de la disponibilidad de combustible en ese día (mayor estrés hídrico acumulado, peor estructura de combustible ahora que hace 15 años en lugar, etc.).

La aproximación cualitativa a los patrones de propagación nos da una identificación clara de la existencia de los patrones clásicos sobre el territorio, pero éstos, presentan singularidades y diferencias geográficas de ocurrencia (ver adelante). Esto nos puede inducir a pensar que cada incendio es diferente y que no hay patrones. En cambio, adoptando una perspectiva global, comprobamos que la realidad es bien distinta, e incluso nos permite simplificar su estudio llegando a un conjunto de fuegos tipo.

Las primeras clasificaciones de patrones de propagación corresponden a la identificación del factor dominante de forma clara sobre los demás. En este concepto se entiende que todas las variables de meteorología, topografía y combustibles son importantes, pero una de ellas o un grupo de ellas son dominantes.

2. Objetivos

Fijar la metodología y conceptos que permitan identificar las tipologías de incendios forestales que afectan Cataluña, en términos de recurrencia, intensidad y patrón espacial de afectación, para así poder integrar la perturbación fuego y el estudio de su comportamiento, tanto en la gestión y planificación forestal como en la extinción, proporcionando para los gestores y cuerpos de extinción una herramienta que permite la mejora de su eficiencia.

El conocimiento de los tipos de incendios permitirá la integración real del fuego en la gestión forestal, a través del desarrollo de modelos selvícolas que integren el fuego, para las zonas identificadas como más vulnerables, asentando las bases para la planificación de la gestión forestal, en términos de estructuras resistentes al fuego, rotaciones más idóneas, etc. a nivel de finca, como para aspectos relacionados con la prevención y extinción de incendios a nivel de paisaje.

Para llevarlo a cabo se pasa por los pasos previos de:

- Definición de los diferentes incendios tipo para el territorio catalán, basados en los patrones de propagación clásicos y sus singularidades.
- Determinación de las condiciones sinópticas en que se da cada incendio tipo.
- Determinación de las zonas homogéneas de incendio y su régimen de fuego

3. Metodología

La zona de estudio es Cataluña y algunas partes de los macizos forestales circundantes.

3.1. Fases de la metodología

Las principales fases de la metodología son:

- Creación de la base de datos geográfica de perímetros de incendios históricos.
 - Reconstrucción de los perímetros de incendios
 - Datación y caracterización de los incendios.
 - Depurado y síntesis de la información inicial
- Identificación de las situaciones meteorológicas a nivel sinóptico para los incendios fechados. En los incendios en que está disponible, se analiza la traducción de estas situaciones sinópticas en situaciones meteorológicas locales, y en observaciones meteorológicas locales.
- Reconstrucción de la propagación de los incendios
 - Estudio de los esquemas de propagación y situaciones meteorológicas para:
 - La catalogación de los perímetros según el patrón de propagación dominante de los incendios.
 - la definición de una serie de incendios tipo, en base a los esquemas de propagación comunes para los incendios de los últimos 30 años en el macizo de Tivissa (Cataluña) analizados por Castellnou (1996), y los últimos 10 años de toda Cataluña, analizados in situ desde el aire y desde tierra.
 - Validación de los incendios tipo, con perímetros anteriores a los últimos 10 años, o incendios en otras regiones donde el cuerpo de bomberos catalán ha estado trabajando estos últimos 10 años: Sur de Francia, Castellón, Aragón, Galicia, Portugal, Grecia, Reino Unido,... Para ello se ha reconstruido el esquema básico de propagación, y se han catalogado según el incendio tipo
 - Caracterización de la propagación en cada macizo forestal según la interacción entre situaciones sinópticas de GIF y la topografía concreta del macizo, y las especificidades del macizo identificando los incendios de diseño.
- Localización y caracterización de zonas de régimen homogéneo según la metodología de Agee (1993). Para adaptar la metodología de Agee (1993) a un territorio ampliamente perturbado por el hombre, se ha dividido el territorio en pequeñas zonas homogéneas para generar cálculos, y agregar zonas colindantes:
 - Para generar las zonas homogéneas de régimen se parte del modelo digital de elevaciones (MDE) donde se calculan cuencas de un tamaño aproximado de 450 ha.
 - Se agrupan las diferentes cuencas hidrográficas según:
 - Existan macizos forestales identificados por el Departamento de Medio Ambiente
 - Contengan diferentes incendios clasificados dentro del mismo grupo de incendios tipo.
 - Contengan diferentes incendios con el mismo eje de propagación principal (SE-NO, N-S, etc.). La dirección de propagación viene condicionada por la interacción viento-topografía, y un mismo eje indica zonas donde esta interacción es homogénea.



3.2. Fuentes de información

En la tabla 1 se muestran las diferentes fuentes de información utilizadas en cada una de las cuatro fases de la metodología.

Tabla 1: Fuentes de información para la reconstrucción de perímetros, de condiciones meteorológicas y de propagación en Cataluña.

	Datos desde 1800 hasta 2007	
Base de datos geográfica de perímetros de incendios históricos	<p>Reconstrucción de perímetros En los incendios posteriores al año 2000 Bombers, con GPS a pie (en algunos de los mayores incendios; en incendios mayores a 100ha o con zonas inaccesibles, el perímetro se ha levantado con la ayuda de medios aéreos). En incendios previos a 2000 en base a:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fotointerpretación de ortofotomapas y fotografías aéreas, ▪ Reconstrucción de la edad de las estructuras forestales existentes, ▪ Archivos particulares, ▪ Entrevistas a bomberos, pastores, etc., y observaciones personales. 	<p>Datación y caracterización de incendios.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Base de datos de incendios (DMAH y Ministerio) desde 1968. ▪ Hemerotecas de La Vanguardia desde 1899, Diari de Tarragona, y otros. ▪ Archivos particulares ▪ Perímetros reconstruidos por satélite por el ICC (1992,1998) ▪ Incendios reconstruidos, en proyectos de la Universidad de Lleida coordinados por Bombers (Castellnou, 1997; Martínez, 2001; Galán, 2001; Pellisa, 2004; Martínez, 2004; Rodríguez,2006; Moyano et al, 2007)
Identificación de las condiciones meteorológicas	<p>A nivel sinóptico:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Situaciones sinópticas: (http://www.wetterzentrale.de) 	<p>A nivel meteorológico:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Observaciones meteorológicas. ▪ Condiciones meteorológicas: Servei Meteorològic de Catalunya
Reconstrucción de la propagación:	<p>Propia, durante el incendio:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Observaciones de la evolución del frente de aquellos incendios superiores a 30 ha desde tierra y aire. ▪ Observaciones puntuales desde la instalación forestal ▪ Análisis de la forma del perímetro respecto a la topografía desde tierra y desde el aire. ▪ Valoración de severidades de todos los incendios desde el helicóptero de mando en el momento del incendio y meses después. ▪ Fotos, videos, posiciones GPS de vehículos, entrevistas a bomberos y pastores 	<p>Propia, sin observación directa:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis de la forma del perímetro respecto a la topografía. ▪ Valoración de severidades de parte de los incendios a partir de bien ortofotomapas o bien vuelos propios del servicio de bomberos. En muchas ocasiones, esto sucede más de 10 años después del incendio forestal. ▪ Entrevistas a bomberos, vecinos y pastores, fotos y videos. ▪ Informes de incendios (Bombers de la Generalitat) ▪ Proyectos de la UdL citados
Localización de zonas de régimen homogéneo.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mapa d'usos del sòl de Catalunya 2002 del ICC en base a LANDSAT-TM ▪ Mapa d'hàbitats de Catalunya de 2002 del ICC. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mapa de PPP (Perímetres de Protecció Prioritària) del DMA ▪ Modelo digital del terreno

3.3. Variables estudiadas

En las tablas 2, 3 y 4 se recogen las variables estudiadas en las diferentes fases del trabajo.

Tabla 2: Variables estudiadas en la reconstrucción de perímetros y análisis posterior. La caracterización de las variables de la base de datos geográfica de incendios limita el posterior análisis

Fecha	Año	Perímetro del incendio
Los incendios con fecha asignada permiten el estudio de los incendios de diseño	Los incendios a los que sólo se le ha podido asignar el año, permiten el análisis de las recurrencias de los incendios históricos sobre cada punto del trabajo	El resto de incendios, sin fecha ni año, se han utilizado sólo para el cálculo de la frecuencia de fuego.

Tabla 3: Variables cualitativas estudiadas respecto a las condiciones meteorológicas a partir de las tres fuentes principales de observación: situación sinóptica, observaciones meteorológicas y datos de estaciones

Situación sinóptica	Observaciones meteorológicas	Datos de estaciones
Vientos topográficos, vientos generales de norte, entrada de aire caliente de sur o de poniente (Castellnou, 1996; Montserrat, 1998; Millán et al, 1998)	Presencia de elementos o accidentes geográficos que puedan modificar el comportamiento del fuego (tormentas, contravientos por efecto turbulencia mecánica, succiones de valle por efecto Venturi, etc.)	Tipo de viento: general, topográfico, topográfico de valle, brisa marina, terral o errático. Cambios bruscos de velocidad y dirección del viento día-noche,

Tabla 4: Variables cualitativas estudiadas respecto a los esquemas de propagación a partir de las tres fuentes principales de observación: observaciones personales de todo el incendio por parte de analistas, análisis de la forma del perímetro y informaciones puntuales estáticas

Observaciones personales de todo el incendio (desde el aire y desde tierra)	Análisis de la forma del perímetro	Evaluación de la severidad del incendio
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Patrón de propagación principal. ▪ Tipo de viento que domina esta propagación: Topográfico de ladera, de valle principal, brisas marinas, viento general sinóptico de norte, presencia de accidentes geográficos que favorecen la aparición de contravientos, incendios dominados por tormentas ▪ Dirección principal de propagación del incendio desde la zona de inicio respecto a las divisorias principales y a las cuencas hidrográficas a distintas escalas. ▪ Dirección de propagación del incendio vs. dirección de las carreras del incendio ▪ Análisis CPSL de la influencia de viento, pendiente y orientación respecto a las carreras principales y secundarias del incendio respecto a cabeza, flancos y cola en distintos momentos. ▪ Posiciones concretas del fuego en determinados momentos. ▪ Viento, topografía, combustibles, dirección y distancia de caída de focos secundarios masivos, descripción de la columna de humo del incendio, ▪ Efectos de la extinción en la forma final del perímetro. ▪ Efectos de las discontinuidades de vegetación en la forma del perímetro. Distancia de lectura de determinadas carreras del incendio. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Patrón de propagación principal. ▪ Dirección principal de propagación del incendio desde la zona de inicio y de sus principales carreras. ▪ Interacción de la topografía con la forma final del perímetro del incendio ▪ Análisis CPSL de la influencia de viento, pendiente y orientación respecto a las carreras principales y puntos críticos. ▪ Posición de puntos críticos teóricos según análisis CPSL respecto a la forma final del perímetro. ▪ Ángulo de apertura de los flancos en perímetros en zonas llanas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dirección principal de propagación del incendio y de sus principales carreras desde la zona de inicio ▪ Análisis CPSL de la influencia de viento, pendiente y orientación respecto a diferentes frentes en distintos momentos. ▪ Posiciones concretas del fuego en determinados momentos. ▪ Viento, topografía, combustibles, dirección y distancia de caída de focos secundarios masivos, cambios en la columna de humo ▪ Vientos en efecto directo y de tipo contrario (contravientos) en determinados puntos ▪ Efectos de la extinción en determinados puntos del perímetro. ▪ Efectos de las discontinuidades de vegetación en la propagación de algunas partes del perímetro.

4. Resultados y discusión

En la reconstrucción de los patrones, se ha usado los datos de incendios en Cataluña entre el año 1800-2008 (Tabla 5), incorporando perímetros de la zona fronteriza de Francia y de macizos compartidos con Aragón y Valencia.

Tabla 5: Incendios estudiados en Cataluña, en los dos períodos definidos. Nótese que incluyen la mayor parte de la superficie quemada en este período.

Datos (1800 – 2008)	Nº de incendios	% superficie quemada de la base de datos	AE (área total de los incendios estudiados)	AT (área quemada total en el período según DMAH)	AE /AT (%)
TODOS	2659	100%	580.151 ha	-	-
Con patrones de propagación	520	80%	464.883 ha	-	-
Con incendio tipo	513	78%	450.940 ha	-	-
Posteriores al 1968	1381	68%	396.323 ha	519.559 ha	76%
Posteriores al 2000	646	7%	41.399 ha	34.894 (2000 – 2007)	116%

La diversidad de fuentes de perímetros permite que la reconstrucción de los incendios de diseño se base en una superficie quemada significativa, pero también afecta a la calidad del levantamiento cartográfico y al porcentaje de incendios fechados. Los incendios posteriores al 2000 incluyen la superficie agrícola, en cambio en la estadística del DMAH está descontada esta superficie (agrícola) y el porcentaje de piedras del suelo.

Tabla 6. Evolución del número de perímetros disponible para distintos períodos, y a la superficie quemada por estos perímetros.

	Nº perímetros	S quemada (ha)
1800 - 1900	2	843
1901-1940	14	16.337
1941- 1960	34	9.411
1961-1967	23	28.400
1968 - 1974	52	8.139
1975-1981	107	48.936
1982-1988	184	132.493
1989-1995	267	130.458
1996-2002	325	49.392
2003-2007*	446	26.904

A medida que transcurre el tiempo la base de datos es más completa. A partir del 1968 la base de datos recoge la mayor parte de la superficie quemada en Cataluña según el DMAH. El número creciente de incendios refleja un número cada vez mayor de perímetros pequeños que se recogen en la base de datos (Tabla 6).

4.1. Patrones de propagación

En la tabla 7 se presenta la clasificación de patrones de propagación y la descripción del factor dominante que interviene en la propagación. En las tablas 8 y 9 se muestra el porcentaje de superficie quemada por patrón de propagación y por situación sinóptica.

Tabla 7: Patrones clásicos de propagación.

Tipología incendio	Factor dominante	Características del incendio
Topográficos	Dinámica local de vientos de convección originados por calentamiento solar diferenciado de la superficie terrestre	Incendios que cambian de dirección siguiendo las laderas soleadas y la intensidad en éstas de los vientos. Alta intensidad diurna y baja intensidad nocturna
De viento	Vientos sinópticos generales	Incendios que mantienen la velocidad y dirección mientras dura el episodio de viento sinóptico. No cambian ni giran. Mantienen intensidad y velocidad día y noche
De convección	Acumulación y disponibilidad de combustible que genera suficiente intensidad para generar ambiente de fuego y convección que domina el incendio 'plume dominated wildfires'	Incendios que no propagan por radiación. Lo hacen por convección. Desarrollan comportamientos extremos y avance por focos secundarios masivos.

Tabla 8: Porcentaje de superficie quemada principalmente con cada patrón de propagación respecto al total de superficie con patrón de propagación conocido.

	Incendios topográficos	Incendios de viento	Incendios de convección	Incendios de tormenta
% de superficie	18%	36%	25%	1%

Tabla 9: Porcentaje de superficie quemada principalmente con cada situación sinóptica respecto al total de superficie con situación sinóptica conocida.

	Viento, de NE a NW	Entradas de sur	Viento de poniente	Inestabilidad y tormenta con paso de frente
% de superficie	24%	67%	8%	1%

4.2. Categorización de incendios tipo

A partir de las variables identificadas para el estudio de los esquemas de propagación, se han identificado aspectos singulares y repetidos para cada uno de los patrones de propagación. A partir del estudio de los incendios históricos, hemos identificado ciertas coincidencias en el esquema de propagación de los incendios forestales. Estas coincidencias, son función o bien del episodio sinóptico meteorológico, o bien del relieve concreto. Estos esquemas de propagación repetidos, estas singularidades de los patrones de propagación, reciben el nombre de incendios tipo (Tabla 10).

Tabla 10: Incendio tipo y singularidades de propagación.

Patrón de propagación	Singularidad	Incendio tipo	Esquema de propagación y estrategias (u oportunidades de control)
Topográfico	Con vientos topográficos de ladera	Topográfico estándar	Sigue durante el día la máxima pendiente y las laderas insoladas. Forma de los perímetros: laderas y cuencas hidrográficas. Los puntos críticos son barrancos, nudos de barrancos, y el posicionamiento (que se sitúe en un punto con potencial de nueva carrera) de la cola o flancos, que puede generar nuevas carreras.
Topográfico	Con brisa marina	Topográfico litoral	Sigue la máxima pendiente y el giro de la brisa marina, definido y previsible. Abertura del flanco dominada por la brisa marina
Topográfico	Con vientos topográficos de valles principales	Topográfico cercano a valle principal o estrechos	La dirección principal de los perímetros es hacia el valle principal. Se produce una succión del incendio hacia el valle principal por efecto Venturi. Cambio en la succión de ascendente de día a descendente de noche.
Viento	En zonas llanas	Viento en los llanos	Sigue la dirección del viento, y se abren en un vano o abanico de 40-60°, según la fuerza del viento.
Viento	En zonas con relieve	Viento con relieve	En sierras alineadas con la dirección del viento sigue las crestas. En sierras perpendiculares a la dirección del viento, aparecen contravientos que facilitan la propagación ascendente debido a turbulencia mecánica en la ladera expuesta al viento de tipo contrario (no expuesta al viento en efecto directo). Oportunidades: al final de la divisoria (de aguas) o cuando ésta cambia de dirección, en sus bifurcaciones, o donde se manifiestan los contravientos.
Viento	En zonas de subsidencia. Con vientos generales que tocan tierra durante la noche, y se levantan durante el día.	Vientos con subsidencia	Fenómeno que se da en las sierras litorales del extremo sur de Cataluña y norte de Valencia, cuando los vientos topográficos diurnos son capaces de compensar el viento de norte, que se mantiene en altura. Ahora bien, durante la noche, los vientos topográficos son de carácter descendente, con lo cual el viento de norte sopla en superficie e incluso se ve reforzado por ese carácter descendente de los topográficos. De este modo, el incendio durante las horas diurnas se comporta como un topográfico y durante las nocturnas como uno conducido por viento. Esta dinámica implica además, que la cola del incendio diurno se transforma en cabeza durante la noche y viceversa, con las dificultades desde el punto de vista de gestión de la emergencia que ello supone.
Convección	Sin viento significativo	Convección estándar	Sigue la macro topografía y el viento. Oportunidades: Estrechar la cabeza o tratamientos para reducir la generación de focos secundarios.
Convección	Con viento significativo. En Cataluña, en situaciones de ponientes cálidos y muy ocasionalmente con entradas de sur	Convección con viento	Comportamiento convectivo, al que el viento le añade velocidad de propagación. El viento aumenta la distancia de lanzamiento de focos secundarios, creando nuevos puntos de ignición fuera de la zona de influencia de la columna convectiva y acelerando la propagación general del incendio. La columna y los focos secundarios seguirán la dirección del viento, pero el fuego irá quemando grandes ollas topográficas;
Convección	Con desplome de piro cúmulo	Convección con piro cúmulo	El piro cúmulo se desploma al condensar y ganar peso. Este desplome de la columna genera vientos que pueden arrancar árboles, lanzamiento masivo de focos secundarios, y ensanchamiento del incendio en todas direcciones.
Tormenta	Con una tormenta en zona cercana	Tormenta cercana	Las tormentas en formación succionan la masa de aire a su alrededor y en el momento que descargan la expulsan. Con ello, los incendios, en un primer momento experimentan un efecto succión hacia la tormenta y cuando ésta descarga, expulsión en sentido completamente opuesto. En definitiva, los incendios de tormenta tienen como factor de propagación el viento puesto que es el aire el que es succionado y expulsado de la tormenta
Tormenta	Con igniciones de rayo.	Tormenta seca	Simultaneidad de pequeños incendios de rayo.

4.3. Incendios de diseño

De esta primera aproximación y clasificación, se puede extraer que realmente los incendios si bien todos son diferentes se pueden agrupar en patrones definidos y con características similares y cuantificables. Este hecho nos permite poder predecir cuando tenemos condiciones que favorecen a un tipo concreto de incendio forestal. Además, como cada tipo de incendio se da con preferencia en zonas geográficas definidas, podemos concentrarnos en la zona de ocurrencia (Tabla 11).

Tabla 11: Zonificación de los incendios según las áreas conocidas de influencia de vientos topográficos, de norte y noroeste y entradas de sur y poniente en Cataluña.

Áreas de influencia de vientos topográficos	Áreas de influencia de vientos de norte y noroeste (Montserrat, 1998)	Entradas de masas de aire caliente (Montserrat, 1998)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Área de influencia de la brisa marina - Zona Litoral ▪ Área de influencia de vientos de valle: valle del Ebro, Llobregat, Segre, Cardener, Francolí. ▪ Todo el territorio catalán. De hecho, los vientos topográficos atienden a movimientos convectivos de las masas de aire asociados a gradiente térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Área de influencia de la tramontana en Gerona y Pirineo (contravientos) ▪ Área de influencia del mistral en el valle del Ebro, Tarragona y sur de Barcelona ▪ Zonas llanas influidas por el viento en Gerona, la depresión de Lleida y la zona dónde ésta limita con el valle del Ebro. ▪ Zonas con relieve influidas por el viento (el resto) ▪ Áreas a resguardo de vientos generales (el resto) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Áreas de influencia de vientos de poniente a priori (principales canales de poniente en Cataluña- valle del Ebro; Depresión Central; Cataluña Central; Francolí; Llobregat; zona situada entre el litoral y prelitoral catalán-Montnegre-Corredor y el Tordera). ▪ Áreas de influencia de masas de aire de componente sur (todo el litoral catalán y la Cataluña Central, principalmente).

4.4. Zonas de régimen homogéneo.

Para extender a todo el territorio la información que nos aportan los incendios históricos clasificados según incendio tipo. Es necesario un trabajo de extrapolación donde se presupone que toda una porción de territorio parecido puede originar, en las mismas condiciones meteorológicas, un mismo incendio tipo.

Estas porciones de territorio parecido deben responder igual a las características territoriales que rigen la propagación de los incendios:

- Orografía parecida
- Estar afectadas por el mismo régimen de vientos generales.
- El mismo régimen de vientos locales generados por una situación meteorológica general.
- Vegetación parecida.
- El mismo incendio tipo para toda la zona.

En la figura 2 se representan los diferentes incendios tipo que se han registrado en cada zona homogénea de régimen. Se trata de una representación cualitativa de la presencia o no de cada uno de estos incendios tipo.

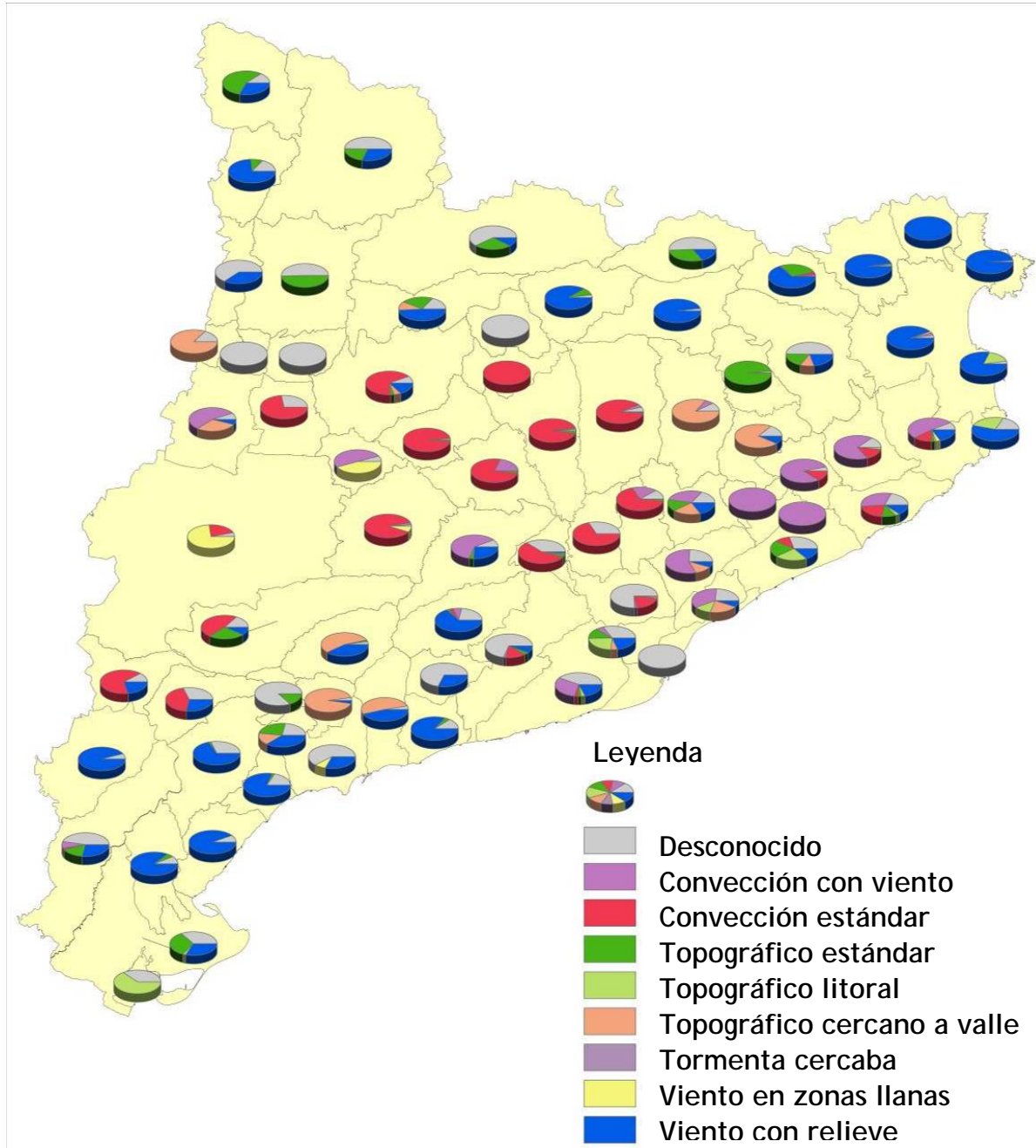


Figura 2: Imagen de las Zonas homogéneas de régimen de incendio forestal con los incendios estudiados superpuestos.

En la figura 3 se presenta una primera aproximación al régimen natural de incendios (Natural Fire Regim –NFR) en Cataluña, calculado a partir de la adaptación de la metodología de Agee (1993).

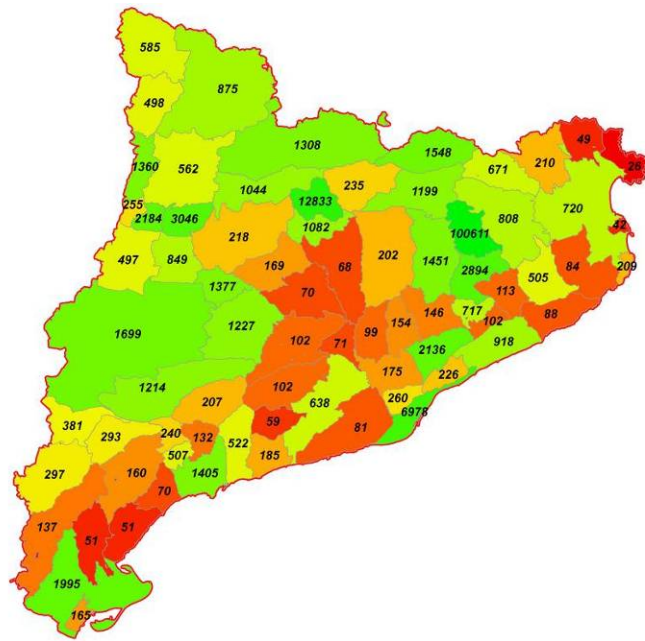


Figura 3: NFR de los últimos 40 años en cada zona homogénea de régimen. NFR refleja la proporción de superficie apta para quemar respecto a la quemada en un período concreto, que en este caso es de 40 años. O sea refleja el período de tiempo necesario para quemar toda la zona.

5. Discusión y conclusiones

5.1. Estudio de la propagación de incendios históricos

Durante mucho tiempo, en los años 80-90, la propagación de un gran incendio se considera impredecible (“el viento cambió de repente”, “los bomberos se vieron atrapados por un comportamiento excepcional e impredecible”). Mientras la propagación es impredecible, los esfuerzos se concentran en:

- La respuesta inmediata (puntos de agua distribuidos homogéneamente y fajas de baja carga de combustible en caminos y en puntos de alta recurrencia de incendios)
- Herramientas para atacar de forma efectiva incendios pequeños (por ejemplo áreas cortafuegos en partes altas de las pendientes)
- Estrategia de ataque respondiendo a las llamas de ahora, en lugar de invertir más donde hay una oportunidad segura y eficaz de control del perímetro del incendio.

Y el resultado es que los GIFs sistemáticamente saltan las infraestructuras construidas para la prevención de incendios y muestran un comportamiento que escapa o supera el límite de eficiencia del sistema de extinción.

A medida que se construyan herramientas que ayuden a predecir la propagación, cambiaremos de la respuesta reactiva en extinción a la respuesta pro-activa anticipando o analizando el cambio que podemos predecir en el comportamiento del frente de llamas. Esto es clave en la eficiencia del sistema de extinción (Campbell, 1995; Rifa y Castellnou, 2007; Molina et al, 2006). La existencia de patrones de propagación y incendios tipo ligados a un territorio concreto se basa en la constancia del relieve: La macro topografía, en su interacción con situaciones sinópticas asociadas a GIF, es el factor primario que controla la propagación del fuego en terrenos complejos (Taylor y Skinner, 2003; Expósito y Cordero, 2004; Iniguez et al, 2008). Esto permite identificar un “incendio problema” o “incendio de diseño”, base para la planificación (Castellnou, 2000; Bahro et al, 2007). Así, se identifican zonas donde los incendios tienden a tener un comportamiento homogéneo y a no ser sobrepasadas salvo

situaciones meteorológicas muy extremas (Castellnou, 1996, Taylor y Skinner, 2003; Bahro et al, 2007)

En el presente artículo, se define una serie de incendios tipo, asociados a su esquema de propagación, y se identifican 658 perímetros de incendio con alguno de estos incendios tipo. A más incendios históricos seamos capaces de estudiar en un territorio, más casos reales de interacción fuego-paisaje conocemos, y mejor conocemos el probable fuego futuro al que nos podemos enfrentar (Alexander y Thomas, 2003). Este es el mismo principio en el que están trabajando el Fire Lab de Missoula con el simulador FSPro (Finney, comunicación personal), simulaciones sucesivas en un paisaje para llegar a probabilidades de comportamiento de fuego.

Estos 658 perímetros repiten, pues, un total de 11 esquemas de propagación básicos. Incendios en otras zonas como Aragón, Valencia, Sur de Francia, Inglaterra, California, repiten una y otra vez estos esquemas de propagación. Algunos de estos incendios tipo han sido ya caracterizados: incendios de viento en planos, con formas alargadas (Anderson, 1983), incendios de convección y pirocúmulos (Rothermel, 1991).

Los incendios tipo se concentran en determinadas zonas, ya que las mismas situaciones sinópticas encuentran topografías distintas con las que interaccionan. Es decir, hay zonas con más predisposición a los distintos patrones de GIF y zonas con menos. Esta información ya era conocida, pero ahora tenemos una idea clara del cómo, cuándo y por qué. En todo caso, esta herramienta, ya testada en Cataluña desde 2003 se ha estado trabajando en Francia, Aragón, Valencia, Portugal y California y están apareciendo resultados similares.

Los tipos de incendio de diseño y los patrones de propagación aquí presentados son una importante herramienta para la integración del fuego y su comportamiento en la gestión y planificación forestal, así como en la prevención y extinción. En base a los tipos de incendios que afectan una zona se pueden desarrollar modelos de gestión que integren de una manera real el fuego, estableciendo estructuras forestales resistentes al fuego, rotaciones óptimas, etc. en las zonas identificadas como más vulnerables, tanto a nivel de rodal, como de paisaje.

Los incendios tipo están asociados a situaciones meteorológicas que los favorecen y los determinan. Son una herramienta que mejora la capacidad de predicción del comportamiento y la identificación las oportunidades de ataque al incendio, incrementando de este modo la eficiencia del sistema de prevención y extinción.

5.2. Concepto de incendio de diseño

La concreción en un territorio de estos incendios tipo en situaciones sinópticas determinadas se traduce en el concepto de incendio de diseño. Este se entiende como el incendio de referencia máximo o con capacidad de ser GIF. Esto es gran incendio forestal o aquel que presentará, de manera sostenida, un comportamiento que escapa a la capacidad del sistema de extinción. Estos incendios de diseño responden a unas condiciones precisas de meteorología y también a un esquema de propagación, a unos puntos críticos y a unos momentos del día clave. Y todo ello, conlleva unas implicaciones de seguridad, temporalidad y limitación espacial de las ventanas de actuación. Esto nos permite trabajar preparando extinción y/o prevención en base a un incendio conocido e identificado y no en base a un incendio al azar y desconocido. El sistema de prevención y extinción tiene incendios de referencia, sobre los que aplicar toda la experiencia previa, y traspasarla a aquellos que no estuvieron en el incendio, facilitando el aprendizaje constante y la transferencia de información.

La observación clara de los patrones de propagación y de los incendios de diseño (ID) nos permite definir estos últimos en base a los siguientes enunciados:

- Los incendios a planificar son los que pueden llegar a ser GIF, para los incendios pequeños la inversión en extinción es suficiente.



- Los GIFs en una zona se dan por disponibilidad de combustible bajo una meteorología concreta y una capacidad topográfica de permitir la propagación de ese patrón concreto. Es decir, asumimos que la meteorología pone el combustible disponible, pero es la topografía la que determina el potencial.
- En base a este potencial topográfico, cada zona es más susceptible a un tipo concreto de meteorología.
- Esta unión de Meteo y Topo nos da sólo unos incendios de referencia y siempre de un patrón similar.
- Una misma zona bajo diferentes condiciones meteorológicas puede tener diferentes incendios de diseño asociados.
- Las zonas homogéneas de régimen (ZHR) definen los ID que afectan a cada punto del territorio y cual es su recurrencia.
- Identificados para cada ZHR los ID podemos tener la base de datos de susceptibilidad por zona, lo que nos permite identificar las zonas más vulnerables y orientar la gestión forestal con el objetivo de aumentar la resistencia y resiliencia al fuego de las masas, así como planificar la extinción o prevención forestal.

6. Agradecimientos

A los compañeros que han participado reconstruyendo, datando y caracterizando perímetros de incendios, al proyecto FIRE PARADOX y al Centre de la Propietat Forestal del Departament de Medi Ambient i Habitatge.

7. Bibliografía

- AGEE, JK.; 1993. Fire ecology of Pacific North-West Forests. Inland Press. 493 pp. Washington, DC.
- ALEXANDER, ME; THOMAS, DA.; 2003. Wildlandfire behaviour case studies and analyses: value, approaches, and practical uses. In: Fire Management Today. Volume 63, No. 3, pp 4-9.
- ANDERSON, HE.; 1983. Predicting Wind-Driven Wild Land Fire Size and Shape. Intermountain Forest and Range Experiment Station. Research Paper INT-305. USDAFS
- ANDREWS P.L.; 1986. BEHAVE Fire behaviour prediction and fuel modelling system. Burn subsystem. USDA, Forest Service, Gen. Techn. Rep. INT196, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Ut.
- BAHRO, B; BARBER. KH; SHERLOCK, JW; YASUDA, DA.; 2007. Stewardship and fire assessment: a process for designing a landscape fuel treatment strategy. Restoring fire-adapted ecosystems: proceedings of the 2005 national silviculture workshop, Gen. Tech. Rep PSW-GTR-203, p. 41-54.
- BOMBERS DE LA GENERALITAT DE CATALUNYA. 2001-2007. Informes de incendios significativos en Cataluña.
- CAMPBELL, D.; 1995. The Campbell Prediction System: A Wild Land Fire Prediction System & Language. D. Campbell ed. 129 p.
- CASTELLNOU, M.; 1996. Reconstrucción de la progresión de los incendios históricos y su efecto modelador en la vegetación: Ribera de Ebro. Seminario sobre incendios forestales. 16-18 diciembre 1996. Ed. JM Gonzalez. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Pp 207-223. Solsona.
- CASTELLNOU, M.; 2000. Nuevas metodologías de prevención de incendios. Congreso Forestal Iberico. Castelo Branco. Portugal. Diciembre 2000.



- EXPOSITO, R; CORDERO, T.; 2004. Albiol fire. Did we learn at the third time? Proceedings of the IV International Fire Conference. Coimbra. Portugal.
- FINNEY, M.A.; 1998. FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation. USDA Forest Service, Research Paper RMRS-RP-4, Rocky Mountain Research Station, Ft. Collins, CO. 47 pages.
- FINNEY, MA.; SAPSIS, DAVID B.; BAHRO, BERNI.; 2002. Use of FARSITE for simulating fire suppression and analyzing fuel treatment economics. In: Sugihara, Neil G.; Morales, Maria E.; Morales, Tony J., eds. Proceedings of the symposium: fire in California ecosystems: integrating ecology, prevention and management; 1997 November 17-20; San Diego, CA. Misc. Pub. 1. Berkeley, CA: Association for Fire Ecology: 121-136.
- FINNEY, M.A.; 2007. A computational method for optimizing fuel treatment locations. Intl. J. Wildl. Fire. 16:702-711.
- GRILLO, F.; CASTELLNOU, M.; MOLINA, DM; MARTÍNEZ, ER; y FABABÚ, D. ; 2008. Análisis del Incendio Forestal: planificación de la extinción, Editorial AIFEMA, Granada 144 p (<http://.pdf>). ISBN 978-84-612-2150-9.
- INIGUEZ, JM; SWETNAM, TW; STEPHEN, RY.; 2008. Topography affected landscape fire history patterns in southern Arizona, USA. *Forest Ecology and Management* 256, pp295-303.
- MILLAN, M; ESTRELA, MJ; BADENAS, C.; 1998. Meteorological processes relevant to forest FIRE dynamics on the Spanish Mediterranean COAST. *Journal of Applied Meteorology*. Ed. American Meteorological Society. Vol. 37, no1, pp. 83-100.
- MOLINA-TERREN, DM.; MARTINEZ-LOPEZ, ER. & GARCIA-MARCO, D.; 2006. Farsite simulations for cost-efficient wildland fire planning: Case studies in Spain. Proceedings of V International Conference on Forest Fire Research held in Figueira de Foz (Portugal). D. X. Viegas (Ed.). *Forest Ecology and Management* 234S (2006) S217.
- MOYANO, A; MIRALLES, M; MOLINA, DM.; 2007. Plan de gestión de fuegos de la zona periurbana de Tarragona, Cataluña, España. IV International Wildland Fire Conference, Seville, Spain -<http://www.eufirelab.org/toolbox2/library/upload/2082.pdf>
- MONTSERRAT, D.; 1998. La predicció dels Grans Incendis Forestals. *Catalunya Rural i Agrària*, 54, pp 5-13.
- RIFA, A; CASTELLNOU, M.; 2007. El modelo de extinción de incendios forestales catalan. IV Internacional Wildfire Conference 2007. Sevilla. Spain.
- ROTHERMEL, R.C.; 1991. Predicting behaviour and size of crown fires in the Northern Rocky Mountains. Res. Pap. INT-438. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. 46 p.
- TAYLOR, AH; SKINNER, CN.; 2003. Spatial patterns and controls on historical fire regimes and forest structure in the Klamath Mountains. *Ecological Applications*. 13(3), pp 704-709.

