



Extreme Wildfire Events Data Hub for Improved Decision Making

Convocatoria del Mecanismo de Protección Civil de la Unión Europea (UCPM): *Knowledge For Action in Prevention and Preparedness*, UCPM-2023-KAPP-PREP, Número de Proyecto: 101140363

Título del entregable	D2.2. Directrices y recomendaciones para la planificación estratégica ante incendios forestales extremos
WP contribuyente	WP2 – Intercambio de conocimiento
Nivel de difusión	PU
Fecha de entrega contractual	31-12-2025
Fecha de entrega real	30-12-2025
Editor	Brian Verhoeven (NIPV)
Colaboradores	Pau Guarque (PCF), Jonathan Troncho (PCF), Núria Prat-Guitart (PCF), Marc Castellnou (CFRS), Zisoula Ntasiou (HFS), Chiel van Heerwaarden (WU), Ove Stokkeland (GFRS).

Historial del documento			
Versión	Fecha	Modificaciones	Fuente
D_v.1	25/11/2025	Borrador inicial	NIPV
R_v.1	15/12/2025	Revisión	CFRS, PCF, HFS, WU
F	29/12/2025	Versión final	NIPV

NIPV - Nederlands Instituut Publieke Veiligheid; CFRS - Bombers de la Generalitat de Catalunya; FPC – Fundació Pau Costa; HFS - Hellenic Fire Service; WU – Universidad de Wageningen.

Índice

Índice de figuras	3
Índice de tablas.....	4
Lista de siglas	5
Resumen ejecutivo	7
1. Introducción	8
1.1. Visión general.....	8
1.2. Objetivo de las directrices	8
1.3. Guía de lectura	8
1.4. Conocimientos básicos necesarios para utilizar el contenido del EWED	9
1.5. Por qué centrarse en los EWEs: el incendio de Varnavas (Grecia) de 2024 como ejemplo.....	10
1.5.1. Comportamiento previsto del fuego	10
1.5.2. Comportamiento observado del fuego.....	10
1.5.3. Consecuencias y desafíos operativos	11
1.5.4. Implicaciones más amplias (Otras implicaciones (??))	12
2. Directrices y recomendaciones	13
2.1. Análisis de incendios forestales históricos.....	13
2.1.1. El concepto de tipos de incendio	14
2.1.2. La información necesaria para analizar incendios forestales históricos	16
2.1.3. Vinculación con el concepto de tipos de incendio como herramienta operativa	18
2.1.4. Lista de verificación para el análisis de incendios forestales históricos	19
2.2. Gestión de la incertidumbre durante EWEs	20
2.3. Equipos de recogida de datos.....	21
2.3.1. Recogida general de datos	22
2.3.2. Recogida de datos durante los EWEs	22
2.4. Herramientas de modelización para prever la ocurrencia de EWEs	22
2.4.1. El uso del modelo CLASS.....	22
2.4.2. Uso de observaciones reales para mejorar las evaluaciones	23
2.4.3. Modelo CLASS: recomendaciones prácticas para profesionales de incendios	24
2.5. Conocimiento y datos en el WDP	25
2.6. Formación internacional e intercambio de conocimientos	27
3. Referencias.....	29

Índice de figuras

Figura 1. La columna de humo del incendio forestal de Varnavas de 2024. Fuente: Servicio de Extinción de Incendios de Grecia (HFS - Hellenic Fire Service).....	11
Figura 2. Vista de la columna de humo convectiva del incendio forestal de Varnavas de 2024 desde uno de los medios aéreos. Fuente: Servicio de Extinción de Incendios de Grecia (HFS - Hellenic Fire Service). ...	12
Figura 3. Fotografías de la columna de humo del incendio forestal de Strabrechtse Heide (2010) en los Países Bajos. Fuente: Hans Stans.	14
Figura 4. Distribución de diferentes tipos de incendio en diversas regiones de la Comunidad Autónoma de Cataluña (España). Fuente: [10].	19
Figura 5. Ejemplo de resultado del modelo CLASS, basado en una simulación simplificada del caso del incendio de Martorell, disponible a través del WDP. El gráfico de la izquierda muestra una serie temporal del nivel de condensación (LCL en el eje vertical de los gráficos) para tres simulaciones de la columna de humo, mientras que el gráfico de la derecha muestra la evolución temporal de la altura de dicha columna en las mismas tres simulaciones. Fuente: Wildfire Data Portal.	24
Figura 6. Captura de pantalla de la página web donde se pueden acceder y visualizar los vídeos didácticos (Knowledge Clips) del proyecto EWED. Fuente: Wildfire Data Portal.....	26
Figura 7. Captura de pantalla de la página web de uno de los casos de incendios forestales disponibles (El Valle 2, Chile) en el WDP. Fuente: Wildfire Data Portal.....	27
Figura 8. Participantes de Grecia colaboran durante un ejercicio del evento formativo presencial del proyecto EWED utilizando el modelo CLASS, con el apoyo de un miembro del equipo de la Universidad de Wageningen. Fuente: Proyecto EWED.....	28

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de incendio con descripción del esquema de propagación y estrategias u oportunidades para su control. Fuente: Tabla basada en [2] y adaptada para los incendios dominados por convección a partir de [4].	15
Tabla 2. Ejemplos de información relevante sobre las condiciones en las que se ha producido un incendio. Fuente: Tabla elaborada a partir de la información de [8].	17
Tabla 3. La matriz de incertidumbre. Fuente: [6].	20

Lista de siglas

ABL	Capa Límite Atmosférica (Atmospheric Boundary Layer)
CLASS	Chemistry-Land-Atmosphere-Soil-Slab
EWED	Extreme Wildfire Events Data Hub for Improved Decision Making
EWE	Incendio Forestal Extremo (Extreme Wildfire Event)
IUF	Interfaz Urbano-Forestal
NCA LCL	Nivel de Condensación por Ascenso (Lifting Condensation Level)
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index)
pyroCb	Pirocumulonimbo
pyroCu	Pirocúmulo
WDP	Wildfire Data Portal

Resumen ejecutivo

Este informe proporciona directrices y recomendaciones a las organizaciones que abordan los retos que plantean los Incendios Forestales Extremos (EWEs). Para ello, se comparten conocimientos clave, así como procesos relevantes y herramientas operativas. El informe subraya la importancia de analizar incendios forestales históricos, gestionar la incertidumbre durante los EWEs, recopilar datos, utilizar herramientas como el modelo *Chemistry-Land-Atmosphere-Soil-Slab* (CLASS) y el *Wildfire Data Portal* (WDP), y fomentar el intercambio de conocimientos a través de formaciones internacionales.

En resumen, el informe incluye las siguientes recomendaciones clave:

1. Análisis de incendios forestales históricos:

Desarrollar bases de datos de perímetros de incendios forestales pasados, identificar los distintos tipos de incendio y analizar los patrones de propagación para apoyar la toma de decisiones en futuros eventos.

2. Gestión de la incertidumbre:

Utilizar la matriz de incertidumbre para evaluar los factores conocidos y desconocidos en los escenarios de incendio y en los sistemas de respuesta de emergencia, con un enfoque en la seguridad y la eficacia operativa.

3. Equipos especializados en recogida de datos:

Establecer equipos dedicados a la recopilación de datos en tiempo real sobre las condiciones atmosféricas, la columna de humo y el comportamiento del fuego durante los EWES, mejorando la conciencia situacional y reduciendo la incertidumbre.

4. Herramientas de modelización:

Aplicar el modelo CLASS para evaluar rápidamente las condiciones ambientales bajo las cuales puede desarrollarse una columna de humo de un incendio forestal, utilizando observaciones reales para mejorar la precisión.

5. *Wildfire Data Portal* (WDP):

Utilizar los datos de casos históricos (?) de incendios forestales en acceso abierto, así como acceder a los *Knowledge Clips*, para mejorar la comprensión de las condiciones atmosféricas y de los pirocúmulos.

6. Formación internacional e intercambio de conocimientos:

Fomentar la colaboración entre profesionales de incendios y científicos mediante actividades formativas que contribuyan a generar una comprensión compartida de los EWES a través de un lenguaje operativo común.

1. Introducción

1.1. Visión general

En los últimos años se ha observado un número creciente de grandes incendios forestales cuyo comportamiento ha sido distinto del esperado. Ejemplos de este tipo de fuegos, clasificados como Incendios Forestales Extremos (EWEs), incluyen, entre otros, Fort McMurray (Canadá), Pedrógão Grande (Portugal) y varios incendios ocurridos en Grecia durante las campañas de 2021, 2023 y 2024 (véase el capítulo 1.5).

Este tipo de incendios no puede abordarse únicamente con el conocimiento tradicional basado en fuegos dominados por el viento, la topografía y el combustible. Requieren integrar las interacciones fuego-atmósfera en el análisis y en la planificación operativa. La toma de decisiones debe incorporar la incertidumbre asociada a los EWEs y establecer estrategias y tácticas que maximicen el beneficio en relación con el coste, definiendo escenarios de resolución acordes con la complejidad del evento. Esto supone un cambio de paradigma, pasando de estrategias reactivas a enfoques proactivos.

Para lograr este cambio de paradigma, es necesario disponer de más datos procedentes de este tipo de incendios, centrándose no solo en los parámetros del comportamiento del fuego en superficie, sino también en los parámetros de la estructura vertical de la atmósfera. No obstante, también es fundamental poder procesar y comprender adecuadamente estos datos para que resulten útiles en la toma de decisiones. Por ello, el trabajo de recopilación de datos y el incremento del conocimiento sobre los EWEs han sido líneas prioritarias del proyecto EWED, dando lugar a diversos resultados, como informes disponibles públicamente en la página web del proyecto.

1.2. Objetivo de las directrices

Este documento tiene como finalidad informar a profesionales de incendios, servicios de extinción u otras instituciones de ámbito regional, nacional o europeo, sobre aspectos que, a partir de la experiencia del proyecto EWED, se consideran importantes o esenciales para mejorar la preparación ante EWEs. Entre estos aspectos se incluyen el conocimiento, los procesos y determinadas herramientas de carácter operativo. Por ello, este documento presenta una serie de directrices y recomendaciones que pueden servir de base a dichos profesionales e instituciones para reforzar su preparación frente a los EWEs..

1.3. Guía de lectura

Este documento está dirigido a profesionales de incendios y a organizaciones (por ejemplo, servicios de extinción), a quienes proporciona recomendaciones y directrices básicas para mejorar la preparación y la respuesta ante los EWEs. Con este objetivo, las secciones siguientes detallan procesos que pueden ser incorporados por personas e instituciones para reforzar sus capacidades y competencias frente a este tipo de eventos.

Un aspecto clave en este proceso es la colaboración entre profesionales de incendios y científicos, tal como se ha promovido a lo largo del proyecto EWED. Mediante la identificación clara de las necesidades y vacíos de conocimiento por parte de los operativos, los científicos pueden orientar mejor su trabajo para dar respuesta a esas necesidades. Al mismo tiempo, los científicos pueden colaborar con los operativos para profundizar en la comprensión de determinados procesos (principalmente atmosféricos) que aún no están plenamente entendidos, utilizando los datos recogidos por el propio personal operativo.

Cabe destacar que estas directrices y recomendaciones se centran en señalar qué conocimientos y capacidades son importantes disponer o adquirir. Su finalidad es ofrecer una orientación básica, y no constituyen instrucciones exhaustivas de aplicación, ya que los enfoques específicos pueden variar entre instituciones en función de su escala y de las estructuras de gobernanza. Para quienes busquen orientaciones

más detalladas y operativas, las referencias citadas a lo largo de este documento incluyen materiales completos y protocolos especializados que pueden servir como recursos complementarios para ampliar estas recomendaciones.

1.4. Conocimientos básicos necesarios para utilizar el contenido del EWED

Para utilizar eficazmente los recursos del EWED, las organizaciones y los profesionales deben contar con una base sólida en el análisis y la evaluación de incendios. Este conocimiento permite transformar datos clave en información operativa útil para la toma de decisiones estratégicas, tácticas y operativas. A continuación, se describen los elementos recomendados para que las organizaciones y su personal puedan desarrollar sus capacidades y avanzar desde un enfoque reactivo hacia una gestión proactiva basada en escenarios.

Para que una **organización** integre con éxito el contenido del EWED, se recomienda no tratar el análisis de incendios como una tarea secundaria, sino como una capacidad estratégica central.

- Un primer paso fundamental es lograr una comprensión compartida del contexto de los EWEs. Esto implica reconocer cómo la evolución de los regímenes de incendios ha dado lugar a eventos que superan con frecuencia los límites de control tradicionales [1]. Comprender que nos enfrentamos a una nueva generación de incendios forestales capaces de sobrepasar la capacidad de extinción convencional [2] es esencial para aplicar eficazmente las herramientas del EWED.
- Las capacidades de análisis de incendios deben integrarse en el proceso de toma de decisiones en diferentes niveles. Cada organización debería adaptar su estructura de mando para garantizar que los análisis alimenten directamente tanto la planificación estratégica como la ejecución táctica.
- La creación de unidades especializadas es una forma altamente eficaz de aportar certidumbre en situaciones de emergencia por incendios forestales. Estas unidades actúan como memoria colectiva, combinando lecciones aprendidas con incendios anteriores con nuevos conocimientos, y traduciendo datos técnicos en directrices claras para todo el personal.
- Comprendiendo la interacción entre el fuego y la atmósfera, las agencias pueden avanzar desde estrategias reactivas hacia enfoques basados en la anticipación, identificando cuándo y dónde un incendio puede evolucionar hacia un EWE, y definiendo o ajustando las estrategias de forma proactiva.

Para los **equipos y profesionales** implicados en el proceso de análisis, se recomienda una progresión de competencias que permita afrontar la complejidad técnica de los regímenes de incendios actuales:

- La meteorología, la topografía y los combustibles son los pilares del comportamiento del fuego. Esto implica comprender su interacción y evolución a lo largo de la temporada de incendios, así como su impacto directo en las operaciones [3].
- El uso de una terminología operativa clara y coherente es fundamental para una comunicación eficaz. Durante las emergencias, la ambigüedad puede provocar demoras o decisiones inseguras. Un lenguaje operativo compartido garantiza que los análisis sean comprendidos y aplicados rápidamente en todos los niveles operativos.
- Los EWEs caracterizan por una fuerte interacción fuego-atmósfera. Los analistas deben aprender a identificar prototipos de piroconvección y a comprender cómo la columna de humo interactúa con la capa límite atmosférica (ABL). Esto permite anticipar fenómenos como cambios repentinos en el comportamiento del fuego, que los modelos estándar no suelen predecir [4].

- Los analistas deben combinar diversas fuentes de datos (observaciones meteorológicas, comportamiento del fuego en tiempo real, características locales...), filtrando al mismo tiempo el ruido externo [5]. Esta capacidad implica traducir datos complejos en orientaciones operativas claras, reduciendo la incertidumbre y alineando los objetivos tácticos con la capacidad de extinción disponible (véase el capítulo 2.2 sobre gestión de la incertidumbre durante los EWEs). Al anticipar transiciones hacia comportamientos extremos y comunicar los resultados de forma eficaz, los analistas contribuyen a mejorar tanto la seguridad del personal como la eficacia global de la respuesta.

En definitiva, disponer de estos conocimientos básicos es fundamental, ya que los recursos del EWED no son soluciones automatizadas, sino herramientas avanzadas de apoyo a la toma de decisiones. Asegurar que las organizaciones y los profesionales cuentan con estas competencias esenciales permite aplicar adecuadamente los contenidos, transformando datos complejos en una visión estratégica orientada a la gestión de los riesgos inherentes a los **EWEs**.

1.5. Por qué centrarse en los EWEs: el incendio de Varnavas (Grecia) de 2024 como ejemplo

El [incendio forestal de Varnavas, ocurrido en agosto de 2024 en Grecia](#), constituye un claro ejemplo de cómo el comportamiento extremo del fuego puede generar importantes desafíos, especialmente en lo que respecta a la forma en que la incertidumbre resultante afecta a la estrategia operativa.

El incendio se produjo a mediodía en la región de Ática, que atravesaba un periodo prolongado de sequía y altas temperaturas, lo que permitió que el incendio evolucionara rápidamente hasta convertirse en uno de los más complejos de la temporada griega. Aunque las condiciones del día ya habían sido clasificadas como “Riesgo de Incendio 5” (el nivel máximo de riesgo en Grecia), el comportamiento del fuego en Varnavas superó ampliamente las expectativas del servicio de extinción según las previsiones disponibles.

1.5.1. Comportamiento previsto del fuego

El día del incendio, las previsiones meteorológicas indicaban temperaturas en torno a los 32°C, baja humedad relativa y vientos fuertes del norte. Estas condiciones favorecían el desarrollo de incendios con velocidad de propagación rápida, alineados con la dirección del viento. Se preveían velocidades de propagación moderadas a altas, pero no se esperaba un desarrollo vertical significativo de la columna de humo. Los datos atmosféricos de la región también apuntaban a una atmósfera estable.

Desde el punto de vista operativo, el servicio de extinción había planificado un ataque inicial rápido, apoyado por medios aéreos, con la posibilidad de controlar el incendio durante la noche, momento en que normalmente las condiciones meteorológicas mejoran. Se anticipaba que la intensidad de la línea de fuego se mantendría dentro de un rango que permitiría realizar acciones de ataque directo en los flancos y en la cola del incendio.

1.5.2. Comportamiento observado del fuego

El incendio de Varnavas, a diferencia del comportamiento previsto, pasó rápidamente de ser un incendio gobernado/condicionado por el viento a un incendio dominado por la columna convectiva. Pocos minutos después de la ignición, se observó la formación de un breve pirocúmulo-. A medida que la columna ganaba fuerza, el fuego se aceleró de forma notable, alcanzando por momentos una velocidad de propagación de hasta 4,5 km/h, cuando el pirocúmulo en formación modificó las condiciones atmosféricas locales. Esto también provocó tasas de crecimiento más elevadas que las previstas, alcanzando [hasta 2750 ha/h](#), en comparación con las condiciones meteorológicas superficiales previstas.

El comportamiento del fuego fue aún más inusual durante la noche. A pesar de que se preveía una disminución del viento nocturno, este se mantuvo fuerte, lo que permitió que el incendio conservara una alta intensidad y velocidad de propagación durante toda la noche, eliminando así la ventana de oportunidad prevista para trabajar eficazmente sobre el fuego.

El incendio quemó un total de 10.414 hectáreas, afectando a más de 30 comunidades.



Figura 1. La columna de humo del incendio forestal de Varnavas de 2024. **Fuente:** Servicio de Extinción de Incendios de Grecia (HFS - Hellenic Fire Service)

1.5.3. Consecuencias y desafíos operativos

El comportamiento inesperado del fuego en el incendio de Varnavas de 2024 tuvo un impacto inmediato en la estrategia de extinción. Tras la ignición, el incendio amenazó rápidamente la interfaz urbano-forestal (IUF), obligando a cambiar la estrategia de ataque directo por una centrada en la protección de las zonas habitadas. Más de 30 núcleos de población requirieron evacuación o medidas de protección.

Debido a la intensidad en la cabeza del incendio, posicionar a los equipos de extinción directamente frente al fuego habría sido demasiado peligroso, especialmente considerando la baja visibilidad y las condiciones erráticas del viento y del propio incendio, provocadas por el comportamiento del fuego dominado por la columna convectiva.

Las operaciones aéreas, aunque se activaron rápidamente, pronto se vieron dificultadas por el crecimiento de la columna y la turbulencia en las inmediaciones del incendio. Las aeronaves tuvieron problemas con la visibilidad reducida y el aire inestable (turbulencia), lo que limitó su capacidad para frenar el avance del fuego durante sus fases más extremas.



Figura 2. Vista de la columna de humo convectiva del incendio forestal de Varnavas de 2024 desde uno de los medios aéreos. **Fuente:** Servicio de Extinción de Incendios de Grecia (HFS - Hellenic Fire Service).

1.5.4. Implicaciones más amplias (Otras implicaciones (??))

El incendio forestal de Varnavas en Grecia puso de manifiesto los límites actuales en la predicción del comportamiento del fuego durante eventos dominados por la piroconvección. El comportamiento piroconvectivo del incendio no fue anticipado, lo que provocó una falta de anticipación ante un aumento de la velocidad del viento y, en consecuencia, una aceleración del frente de fuego.

Desde el punto de vista operativo, el incendio de Varnavas subrayó la necesidad de contar con información atmosférica en tiempo real más ágil, incluyendo el uso de radiosondas cerca de los incendios activos, así como de sistemas de predicción que integren la dinámica de las columnas de humo de incendio. También reforzó el creciente reto que supone proteger zonas densamente pobladas en la IUF frente a incendios que presentan un comportamiento extremo del fuego. Este comportamiento extremo y errático puso de manifiesto cómo la incertidumbre del escenario puede afectar a la estrategia, a las tácticas y, por tanto, a la seguridad del personal operativo.

A medida que este tipo de eventos se vuelve más frecuente, será fundamental prepararse para incendios dominados por la piroconvección, en lugar de basarse únicamente en la comprensión clásica del comportamiento del fuego basada en las condiciones meteorológicas superficiales y la topografía. Esto resultará clave para una gestión eficaz y segura de los incendios forestales en el futuro.

En conclusión, existe una necesidad urgente de planificar estratégicamente frente a los EWEs. Aunque el escenario de un incendio pueda permanecer incierto debido al comportamiento extremo del fuego, gestionar la respuesta de emergencia considerando esta incertidumbre resulta esencial.

2. Directrices y recomendaciones

2.1. Análisis de incendios forestales históricos

El periodo inmediatamente posterior a la ignición de un incendio forestal está marcado por numerosas incertidumbres. ¿Dónde se encuentra exactamente el punto de ignición? ¿Cuál es el comportamiento actual del fuego? ¿Hacia dónde se está propagando? ¿Existen puntos críticos o infraestructuras cercanas? ¿Es accesible la zona afectada? Hasta que los primeros recursos llegan al lugar, el nivel de incertidumbre es elevado. Sin embargo, con los datos que se recogen desde el inicio del incendio, los servicios de extinción pueden reducir esa incertidumbre [6].

Una parte esencial de este proceso consiste en comparar las condiciones actuales del fuego y su localización con las de incendios históricos. Cuando se identifican similitudes, los analistas o el personal operativo pueden utilizar la información de esos incendios anteriores, como el comportamiento del fuego o las condiciones de propagación (velocidad de propagación, dirección de avance, entre otros), para prever el desarrollo del incendio actual. Por ello, disponer de datos y conocimiento sobre los incendios históricos de un país o región es importante (véase también el capítulo 1.4) no solo para extraer lecciones aprendidas tras los eventos, sino también para utilizarlos operativamente durante episodios actuales o futuros. En los subcapítulos siguientes, este aspecto se desarrolla con mayor detalle.

La importancia de analizar y conocer los incendios históricos de una región también puede ilustrarse con un ejemplo de los Países Bajos. El 2 de julio de 2010, hacia las 14:00 (hora CET), se inició un incendio forestal en la zona natural de Strabrechtse Heide. Según la información disponible en los Países Bajos hasta la fecha, este ha sido el único incendio forestal en los últimos años en el país que mostró un comportamiento de fuego de copas activo. Aunque los informes mencionan vientos fuertes y cambios de dirección, confirmados también por los equipos de extinción sobre el terreno, no se hacía referencia a la situación sinóptica, al estado vertical de la atmósfera ni a la clasificación del tipo de incendio [7]. Sin embargo, tras nuevos análisis posteriores al incendio, basados en grabaciones inéditas del fuego y de la columna de humo, se constató que el incendio de Strabrechtse Heide en 2010 fue un incendio convectivo, ya que se observó claramente la formación de un pirocúmulo. Este fenómeno explica probablemente los vientos intensos y los cambios repentinos de dirección percibidos por el personal próximo al incendio. Gracias a esta información, y considerando la situación sinóptica (viento moderado del sur, condiciones secas e inestables, y un contexto de sequía dentro del 5 % de los años más secos registrados en los Países Bajos), este incendio puede servir para anticipar futuros escenarios de incendios convectivos si se pronostican condiciones similares. Además, el estudio de este tipo de casos no solo permite aprender de la experiencia propia, sino también beneficiarse de las experiencias de países vecinos.



Figura 3. Fotografías de la columna de humo del incendio forestal de Strabrechtse Heide (2010) en los Países Bajos. **Fuente:** Hans Stans.

2.1.1. El concepto de tipos de incendio

Para el análisis de incendios forestales históricos, se recomienda utilizar el concepto de "tipos de incendio" [2]. Este concepto constituye un marco metodológico que clasifica los incendios forestales según sus patrones típicos de propagación, basándose principalmente en la interacción entre las condiciones meteorológicas y el paisaje o la topografía.

El concepto de tipos de incendio puede ser útil en las operaciones de extinción, ya que permite analizar un incendio actual aprovechando el conocimiento sobre cómo se propagaron incendios históricos en condiciones meteorológicas similares y en entornos comparables. Sin embargo, este concepto también puede aplicarse en la planificación forestal, al ayudar a identificar zonas críticas u oportunidades estratégicas a partir de incendios pasados, lo que permite orientar medidas preventivas como el tratamiento de combustibles en zonas estratégicas.

Se han identificado cuatro patrones principales de propagación en los que se basan los distintos tipos de incendio:

- Incendios topográficos
- Incendios de viento
- Incendios convectivos
- Incendios dominados por tormentas

Estos patrones principales se subdividen en varios tipos de incendio, en función del factor predominante que impulsa la propagación del fuego. Para cada tipo, se ofrece una descripción de sus características típicas de propagación, así como de las oportunidades más relevantes para la extinción. La Tabla 1 presenta una descripción completa de estos aspectos por tipo de incendio.

Tabla 1. Tipos de incendio con descripción del esquema de propagación y estrategias u oportunidades para su control. **Fuente:** Tabla basada en [2] y adaptada para los incendios dominados por convección a partir de [4].

Patrón de propagación	Factor dominante	Tipo de incendio	Esquema de propagación
Topográfico	Relieve y dinámica de vientos topográficos locales	Incendio topográfico estándar	Sigue las laderas más pronunciadas y con mayor insolación diurna. El perímetro se define por las cuencas hidrográficas. Los puntos críticos son los barrancos, sus intersecciones y las posiciones de cola y flancos con potencial de nuevos avances.
	Brisa marina	Incendio topográfico litoral	Sigue la ladera más pronunciada y el giro predecible de la brisa marina. La apertura de los flancos o de la cola del incendio está dominada por la brisa marina.
	Efecto succión de los valles principales	Incendio topográfico en valles y cañones principales	La dirección principal del perímetro sigue el valle principal. Se genera una succión hacia el valle por efecto Venturi, que cambia de ascendente durante el día a descendente por la noche.
Impulsado por el viento	En terreno llano	Incendio impulsado por el viento en terreno llano	Sigue la dirección del viento, abriéndose en ángulo de 30 a 60 grados según su intensidad.
	En terreno montañoso	Incendio impulsado por el viento en terreno montañoso	En cordilleras alineadas con la dirección del viento, sigue las líneas de cresta. En cordilleras perpendiculares al viento, se generan contravientos que favorecen la propagación ascendente en las laderas opuestas debido a las turbulencias, aunque no estén directamente expuestas al viento. Oportunidades: al final de la divisoria de aguas, cuando esta cambia de dirección, en las bifurcaciones o cuando se producen contravientos.
	En zonas de subsidencia. Caracterizadas por vientos generales en superficie durante la noche y con posibles vientos locales ascendentes durante el día	Incendio conducido por vientos de subsidencia	Fenómeno característico de cordilleras costeras situadas frente a grandes mesetas con relieves abruptos (como en la costa centro-oriental de la península ibérica, la costa de California o el Peloponeso griego). En estas regiones, los vientos topográficos diurnos pueden llegar a compensar los vientos sinópticos. Cuando esto ocurre, los vientos topográficos descienden durante la noche, mientras que los vientos sinópticos también descienden a nivel de superficie y se ven reforzados por los vientos locales. En consecuencia, el incendio se comporta como un incendio topográfico durante el día y como un incendio impulsado por el viento durante la noche. Esta dinámica implica que la cola del incendio diurno se convierte en su cabeza por la noche, y viceversa, lo que complica notablemente la gestión operativa del incendio.
Dominado por la convección	Sin vientos significativos	Incendio de convección estándar	Sigue la macrotopografía y el viento (moderado). Oportunidades: confinamiento de la cabeza del incendio o aplicación de medidas para reducir el lanzamiento de focos secundarios.
	Con viento significativo, a menudo con masas de aire cálido	Incendio de convección con viento	Comportamiento convectivo, combinado con la influencia del viento en su propagación. El viento aumenta la distancia de los focos secundarios, generando nuevos puntos de ignición fuera de la zona de influencia de la columna convectiva y acelerando la propagación general del incendio.

			Tanto la columna como los focos secundarios siguen la dirección del viento. Sin embargo, el incendio acaba afectando grandes cuencas topográficas.
	Con formación de <i>overshooting</i> pirocúmulo	Convección seca con <i>overshooting</i> pirocúmulo	Comportamiento convectivo del fuego con nubes de pirocúmulo (pyroCu) de corta duración que suelen formarse en una ABL relativamente estable, donde el nivel de condensación por ascenso (LCL) se sitúa por encima de la altura de la ABL.
	Con formación de pirocúmulo resiliente	Convección húmeda con pirocúmulo resiliente	Comportamiento convectivo del fuego con una nube de pirocúmulo (pyroCu) resiliente desarrollándose en una ABL inestable, en la que el LCL se sitúa por debajo de la altura de la ABL. El crecimiento vertical de la nube se ve limitado por la cizalladura del viento o por la estabilidad en la troposfera libre.
	Con formación de pirocumulonimbo	Convección húmeda con pirocumulonimbo	Comportamiento convectivo del fuego con una nube profunda y persistente de pyroCu o pirocumulonimbo (pyroCb), alimentada por convección libre en una troposfera libre inestable. La columna convectiva puede colapsar cuando el incendio pierde intensidad, lo que puede provocar ráfagas descendentes intensas (secas), focos secundarios masivos, aumentos extremos en la velocidad de propagación y expansión del incendio en todas las direcciones.
Dominado por tormentas	Tormenta cercana al incendio	Tormenta (eléctrica) cercana	Cuando se forman tormentas o se aproximan a un incendio forestal activo, este puede verse afectado por la succión de aire (<i>inflow</i>) generada por la propia tormenta. La tormenta también puede expulsar aire frío y, a menudo, húmedo (<i>outflow</i>). La propagación del fuego se ve influida por estos vientos variables. Puede producirse un comportamiento errático y, en general, impredecible del incendio. El paso de vientos de <i>inflow</i> a <i>outflow</i> puede suponer un cambio significativo en la dirección de propagación.
	Tormenta seca con rayos sin lluvia	Tormenta seca	Además de los vientos de <i>inflow</i> y <i>outflow</i> , las tormentas secas pueden provocar nuevas igniciones (múltiples) de incendios, dando lugar a un escenario con incendios simultáneos, generalmente en una misma región.

2.1.2. La información necesaria para analizar incendios forestales históricos

2.1.2.1. Las condiciones en las que se produce el incendio

Al analizar incendios forestales históricos, lo primero que se debe considerar son las condiciones en las que se produjo el incendio. La Tabla 2 muestra ejemplos de este tipo de información.

Tabla 2. Ejemplos de información relevante sobre las condiciones en las que se ha producido un incendio.
Fuente: Tabla elaborada a partir de la información de [8].

Condiciones meteorológicas	Estado del combustible	Topografía
Meteorología sinóptica: - Distribución general de presiones - Análisis de los frentes - Mapas de masas de aire a 500 hPa y temperatura a 850 hPa Condiciones meteorológicas en superficie: - Temperatura - Humedad relativa y punto de rocío - Dirección y velocidad del viento - Precipitaciones pasadas - Nubosidad Condiciones atmosféricas en altura (temperatura, humedad y viento): - Perfiles verticales modelizados - Perfiles verticales observados (si están disponibles) - Indicadores visuales de las condiciones de la ABL, como la presencia de nubes tipo cúmulo	- Modelo(s) de combustible - Disponibilidad de combustible muerto y vivo (observada o basada en indicadores visuales) - Condiciones estimadas del combustible, como la carga de combustible	- Altitud (sobre el nivel del mar) - Pendiente - Orientación - Rugosidad

Es importante señalar que la información anterior no siempre debe definirse de forma precisa y cuantitativa. Por ejemplo, para el seguimiento del grado de sequedad del combustible a escala de paisaje, a menudo se recurre al uso de teledetección o de indicadores visuales como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index), en lugar de depender de un muestreo intensivo en campo, ya que las muestras puntuales pueden resultar costosas y difíciles de interpretar en paisajes heterogéneos.

2.1.2.2. El comportamiento observado del fuego

Para poder prever adecuadamente el comportamiento del fuego en incendios forestales futuros o inminentes, se considera fundamental disponer de datos sobre incendios históricos [9]. Estos datos deberían incluir, siempre que sea posible, al menos los siguientes elementos:

1. Información sobre la ignición

- Hora aproximada de la ignición
- Ubicación de la ignición
- 2. Comportamiento y dinámica del fuego
 - Evolución del perímetro en isócronas, preferiblemente con intervalos horarios
 - Superficie total quemada (perímetro final)
 - Duración total del incendio, desglosada por fases (activo, estabilizado, controlado y extinguido)
 - Tipo observado de estrato vegetal afectado (subsuelo, superficie, copa o combinación)
 - Velocidad de propagación (en m/h)
 - Tasa de crecimiento (ha/h)
 - Intensidad del fuego:
 - Longitud de la llama (m)
 - Profundidad del frente de llamas (m)
 - Anchura del frente de llamas (m)
 - En caso de fuego de copas, tipo observado [por ejemplo, pasivo (*torching*) o activo]
 - Distancia de los focos secundarios, diferenciando entre la distancia de focos secundarios masivos y los focos secundarios puntuales (distancia máxima)
 - Consumo de combustible:
 - Combustible muerto - categorías de 1, 10, 100 y 1000 horas
 - Combustible vivo

2.1.3. Vinculación con el concepto de tipos de incendio como herramienta operativa

Una vez que se dispone de una lista de incendios forestales históricos en un país o región determinada, estos pueden vincularse a los tipos de incendio, como los presentados en la Tabla 1. Al analizar la previsión meteorológica, se puede prever que posibles incendios muestren comportamientos y patrones de propagación similares a los observados en incendios históricos que ocurrieron bajo condiciones meteorológicas y topográficas semejantes, ya que estas coinciden con un tipo de incendio concreto.

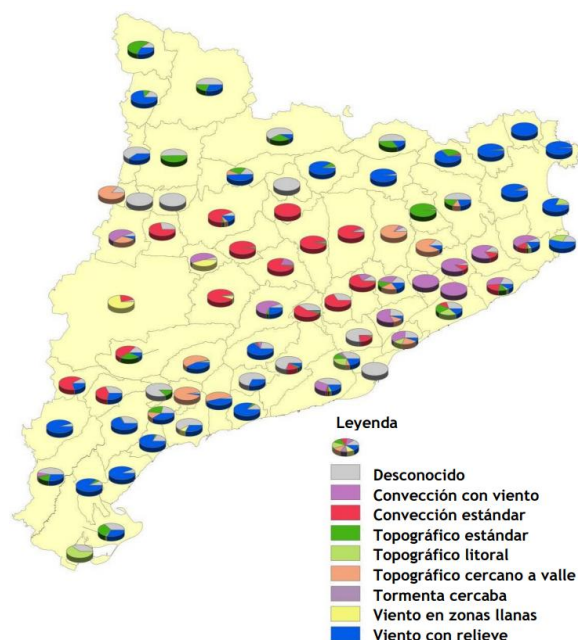


Figura 4. Distribución de diferentes tipos de incendio en diversas regiones de la Comunidad Autónoma de Cataluña (España). **Fuente:** [10].

La comparación entre las condiciones previstas y la base de datos de incendios históricos, vinculada a los tipos de incendio, permite también realizar análisis sobre, por ejemplo, las zonas con mayor riesgo y complejidad en el comportamiento. Esto requiere un análisis de la distribución de regiones con regímenes homogéneos de fuego, basado en el concepto de tipos de incendio, como se muestra en el ejemplo de Cataluña en la Figura 4. A partir de esta información, los servicios de extinción pueden adaptar su planificación operativa, por ejemplo, mediante el preposicionamiento de medios (terrestres y aéreos) en las zonas de mayor riesgo, o reforzando el ataque inicial tras la primera alerta de incendio mediante el envío de más recursos en la fase inicial. También puede influir en las tácticas iniciales de las primeras unidades que llegan al lugar del incendio, como decidir anclar directamente el incendio en lugar de atacar el frente, si se anticipa que este tiene potencial para superar la capacidad de extinción, priorizando así la seguridad del personal operativo.

2.1.4. Lista de verificación para el análisis de incendios forestales históricos

A continuación, se presenta una lista de verificación sencilla que, a partir de los datos e información previamente descritos, puede servir como guía básica para aplicar la metodología de caracterización de tipos de incendio.

- 1. Crear una base de datos de perímetros de incendios históricos:**
 - a. Reconstruir los perímetros de incendios históricos, por ejemplo, mediante datos satelitales
 - b. Establecer la fecha de ocurrencia y caracterizar los perímetros identificados
 - c. Recopilar y sintetizar la información inicialmente disponible sobre los incendios
- 2. Identificar la situación meteorológica a nivel sinóptico para cada incendio**
- 3. Reconstruir los patrones de propagación del fuego:**
 - a. Analizar los distintos esquemas de propagación vinculados a situaciones meteorológicas:
 - i. Catalogar los perímetros según sus patrones de propagación
 - ii. Determinar los diferentes tipos de incendio vinculados a los patrones de propagación y a las situaciones meteorológicas sinópticas
 - iii. Clasificar todos los incendios forestales de acuerdo con los tipos de incendio
- 4. Localizar y caracterizar zonas con regímenes de fuego homogéneo mediante la identificación de tipos de incendio recurrentes.**

2.2. Gestión de la incertidumbre durante EWEs

Los EWEs se caracterizan por cambios rápidos en el comportamiento del fuego y, como consecuencia, por una capacidad de control que a menudo se ve limitada [1]. Por ello, una gestión eficaz pasa por reconocer aquello conocido y aquello desconocido respecto a dos componentes principales que constituyen la base de la matriz de incertidumbre [6]:

- Lo que se conoce y se desconoce en relación con la respuesta ante la emergencia (cuál es la capacidad disponible y qué se puede o no se puede hacer con ella).
- Lo que se conoce y se desconoce sobre el escenario del incendio (si se sabe o no qué quiere hacer el fuego y qué puede llegar a hacer).

A continuación, en la Tabla 3, se presenta un resumen de la matriz de incertidumbre:

Tabla 3. La matriz de incertidumbre. **Fuente:** [6].

		Escenario del incendio	
		Escenario conocido	Escenario desconocido
Capacidad de respuesta	Conocida	Escenario conocido. Se aplican protocolos de seguridad y existe cierta previsibilidad.	Escenario incierto, pero la respuesta operativa es conocida y predecible. No se detectarían fenómenos extremos inesperados (cisnes negros). Es necesario modificar el escenario.
	Desconocida	Escenario conocido, pero con respuesta operativa incierta. Se deben adaptar las tácticas para desarrollar escenarios seguros.	Situación incierta. Se desconoce tanto la evolución del escenario como la respuesta operativa. Es necesario replantear la situación.

En cualquier fase de un EWE, los responsables de la toma de decisiones deben evaluar en qué medida se comprenden el comportamiento del fuego, las condiciones ambientales, así como las capacidades y limitaciones del sistema de respuesta ante emergencias. Al hacerlo, y mediante el uso de la matriz de incertidumbre, pueden identificarse cuatro situaciones principales:

1. Tanto el escenario del incendio como la capacidad de respuesta son conocidos: Conocido–Conocido
2. La capacidad de respuesta es conocida, pero el escenario del incendio es desconocido: Conocido–Desconocido
3. El escenario del incendio es conocido, pero la capacidad de respuesta es desconocida: Desconocido–Conocido
4. Tanto el escenario del incendio como la capacidad de respuesta son desconocidos: Desconocido–Desconocido

Aplicar tácticas de extinción estándar en un contexto con factores desconocidos implica incertidumbre y, por tanto, riesgos operativos, tanto en términos de eficacia como de seguridad. Por ello, los responsables deben siempre procurar mantener la operación dentro de una situación Conocido–Conocido.

Durante los EWEs, es especialmente el escenario del fuego el que puede pasar rápidamente a ser desconocido, ya que los cambios en el comportamiento del incendio pueden ser extremadamente inciertos.

Intentar controlar ese incendio con la capacidad disponible puede fácilmente derivar en una situación Desconocido–Desconocido.

En tales circunstancias, se puede restablecer una situación Conocido–Conocido mediante las siguientes estrategias:

- Aceptar que el control directo del fuego puede no ser posible en ese momento, lo que condiciona la resolución del incendio.
- Priorizar la seguridad de los equipos de intervención y de la población frente a la protección de infraestructuras o bienes materiales.
- Garantizar márgenes suficientes para realizar evacuaciones si fuera necesario, especialmente porque el fuego puede intensificarse y acelerar su propagación durante los EWEs. Si no puede garantizarse una evacuación segura, el confinamiento preventivo en edificaciones protegidas puede ser una mejor alternativa, evitando así que la población quede atrapada durante la evacuación.

2.3. Equipos de recogida de datos

Se recomienda que los países o regiones (incluidas las comunidades autónomas) cuenten con equipos especializados de recogida de datos, especialmente durante los EWEs. Los bomberos de primera línea deben centrarse en la seguridad, las tácticas y las labores directas de extinción, lo que implica que rara vez disponen del tiempo o la capacidad necesarios para recopilar información detallada sobre parámetros atmosféricos, columnas de humo y comportamiento del fuego. Por ello, contar con equipos dedicados a esta tarea se considera una buena práctica recomendada, ya que garantiza que la recogida de datos no interfiera con las tareas de control. Estos equipos también pueden contribuir a mejorar la consciencia de la situación mediante sus observaciones y mediciones, sin interferir directamente en las operaciones [11]. Además, aseguran una recogida sistemática de datos, a diferencia de la recopilación ocasional y no estructurada que pueda realizar el personal de extinción involucrado en las tareas operativas.

Dado que los EWEs implican interacciones complejas entre el fuego y la atmósfera, estos equipos deben estar formados en el uso de radiosondas, interpretación de columnas de humo, observación del comportamiento del fuego y análisis básico. Esta especialización va más allá de las funciones estándar de extinción.

Los equipos de recogida de datos, específicamente formados, permiten:

- Seleccionar correctamente el lugar de lanzamiento de las radiosondas, garantizando al mismo tiempo la seguridad.
- Saber cuándo y cómo recopilar datos atmosféricos, meteorológicos y de comportamiento del fuego.
- Documentar y estructurar los datos de forma coherente, compatible con herramientas como el [Wildfire Data Portal \(WDP\)](#).

Al centrarse específicamente en la recogida y análisis en tiempo real de estos datos, estos equipos especializados pueden ayudar a identificar con antelación posibles transiciones hacia comportamientos de fuego más extremos. Por tanto, no solo aportan datos valiosos para el análisis posterior al incendio, sino que también ofrecen información operativa en tiempo real durante la fase activa del fuego, contribuyendo a mejorar la planificación y a reducir la incertidumbre del escenario.

A continuación, se profundiza brevemente en algunos aspectos adicionales relacionados con estos equipos, incluyendo la recogida de datos durante los EWEs. Un análisis más completo puede consultarse en [9].

2.3.1. Recogida general de datos

Los equipos de recogida de datos deben centrarse en recopilar información sobre las variables que mejor describen la evolución de las condiciones atmosféricas, de la columna convectiva, del comportamiento del fuego y de los cambios en el combustible o en el paisaje. En general, se recomienda recopilar la mayor cantidad de información posible. Estos datos no solo contribuyen a mejorar el conocimiento de la situación durante el incidente, sino que también permiten realizar análisis posteriores del incendio.

En la Tabla 2 se presenta un resumen de la información que debe recopilarse. Los parámetros indicados también corresponden a los requisitos definidos para el seguimiento de la evolución del incendio, tal como se describe en [9].

2.3.2. Recogida de datos durante los EWEs

Durante los EWEs, la recopilación de datos mediante el uso de radiosondas resulta fundamental. Lanzar radiosondas tanto dentro de la columna de humo como en el entorno próximo al incendio permite comparar la atmósfera modificada por el fuego con la atmósfera ambiente, proporcionando información útil sobre las condiciones actuales del incendio, así como sobre las condiciones que podrían desarrollarse. Por ejemplo, si la medición muestra que la columna del incendio puede seguir creciendo verticalmente hasta alcanzar el nivel de condensación o profundizar la nube piroconvectiva ya existente. Para ello, y según [9] y [11], los equipos deben:

- Lanzar radiosondas con frecuencia, desde distintas posiciones en torno al incendio (cabeza, flancos y cola).
- Complementar cada lanzamiento en la columna de humo con otro en la atmósfera ambiente, realizado no más de una hora antes o después.
- Registrar la ubicación GPS exacta del punto de lanzamiento, la hora del lanzamiento y la posición relativa respecto al incendio (por ejemplo, desde el flanco izquierdo).
- Realizar documentación visual (fotos y vídeos) del lanzamiento, para facilitar la contextualización de los datos obtenidos.

2.4. Herramientas de modelización para prever la ocurrencia de EWEs

La planificación operativa en incendios forestales se puede beneficiar del uso de herramientas capaces de combinar observaciones con modelos físicos rápidos. El [Wildfire Data Portal](#) contribuye a ello al vincular las observaciones en incendios con un entorno específico de modelización. Una de las herramientas operativas disponibles a través del portal es el modelo CLASS (*Chemistry-Land-Atmosphere-Soil-Slab*). Este modelo ha sido desarrollado para simular las condiciones atmosféricas, así como el comportamiento de la columna de humo de un incendio forestal bajo condiciones concretas. La información presentada a continuación se basa en la experiencia adquirida a través del proyecto EWED y en [12].

2.4.1. El uso del modelo CLASS

El modelo CLASS es un modelo atmosférico simplificado que se centra en la capa límite diurna, donde se espera que ocurran la mayoría de las interacciones entre los incendios forestales y la atmósfera. Este modelo simula la evolución diurna de la temperatura, humedad, viento y estabilidad atmosférica, y cómo estos factores interactúan con la columna convectiva del incendio forestal. El modelo permite a los usuarios estimar la altura y profundidad de la columna bajo condiciones meteorológicas y de fuego específicas. Es una herramienta destinada a apoyar a los técnicos con competencias en análisis de incendios, permitiéndoles evaluar el potencial convectivo del incendio.

El modelo CLASS también puede utilizarse para ensayos rápidos de escenarios, por ejemplo, aumentando la energía liberada por un incendio para analizar el efecto de un fuego más grande o más intenso sobre la dinámica de la columna de humo y comportamiento del fuego. También es posible modificar las condiciones atmosféricas, como aumentar la humedad del aire para simular el posible efecto de una brisa marina al entrar en el perímetro del incendio y modificar la evolución de la columna de humo.

A diferencia de los modelos atmosféricos convencionales, que pueden tardar horas en ejecutarse y requieren recursos informáticos especializados y costosos, CLASS realiza los cálculos en segundos o minutos. Esto lo hace especialmente adecuado para su uso operativo, sobre todo en situaciones de incendios forestales que evolucionan rápidamente, donde la información en tiempo real es esencial.

2.4.2. Uso de observaciones reales para mejorar las evaluaciones

Una de las principales fortalezas del modelo CLASS es su capacidad para integrar datos de observación reales. Las mediciones de radiosonda realizadas dentro de la columna de humo de un incendio o en la atmósfera circundante proporcionan información valiosa sobre la estructura atmosférica. Estas observaciones pueden utilizarse para ajustar y afinar las simulaciones del modelo CLASS, garantizando que los resultados reflejen de forma realista las condiciones reales del incendio. Al ejecutar el modelo con estas observaciones, los técnicos pueden, por ejemplo, comprender mejor cuán cerca se encuentra la atmósfera o la columna de humo del incendio de los umbrales asociados a un comportamiento extremo del fuego. Un ejemplo sería analizar cuán próxima está la columna a alcanzar el nivel de condensación, lo que indicaría la posible formación de un pirocúmulo, fenómeno que probablemente modificaría de forma significativa el comportamiento del incendio.

La Figura 5 muestra un gráfico generado con el modelo CLASS, con dos series temporales: una del nivel de condensación (izquierda) y otra de la altura de la columna de humo (derecha), para distintos valores de liberación de calor, basados en el caso del incendio forestal de Martorell. Al comparar los resultados del modelo con las condiciones reales observadas de la columna del incendio, estos gráficos permiten analizar si el incendio está próximo a alcanzar la condensación y, en consecuencia, a modificar su comportamiento.

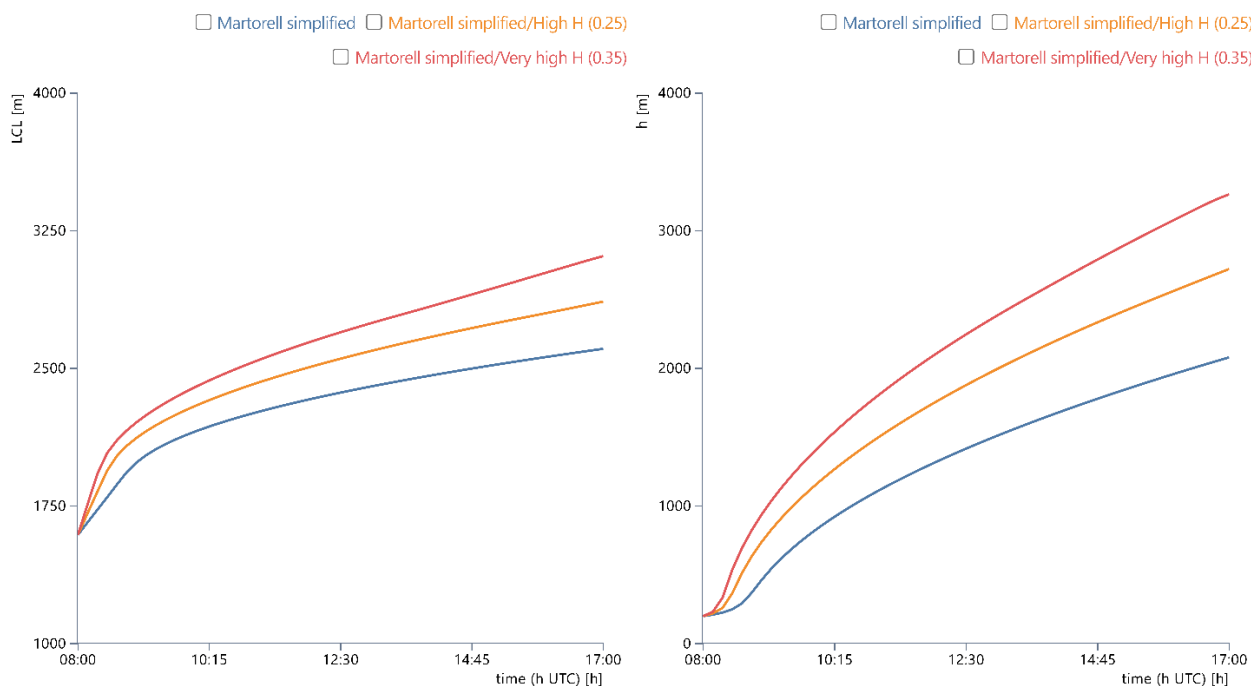


Figura 5. Ejemplo de resultado del modelo CLASS, basado en una simulación simplificada del caso del incendio de Martorell, disponible a través del WDP. El gráfico de la izquierda muestra una serie temporal del nivel de condensación (LCL en el eje vertical de los gráficos) para tres simulaciones de la columna de humo, mientras que el gráfico de la derecha muestra la evolución temporal de la altura de dicha columna en las mismas tres simulaciones. **Fuente:** Wildfire Data Portal.

2.4.3. Modelo CLASS: recomendaciones prácticas para profesionales de incendios

Para facilitar el uso operativo del modelo CLASS, se presentan a continuación una serie de recomendaciones clave dirigidas a profesionales con experiencia en análisis de incendios:

1. **Usar el modelo CLASS para adaptarse rápidamente a condiciones cambiantes**
Aplicar el modelo CLASS cuando se necesite información rápida para adaptarse a condiciones cambiantes y cuando las herramientas habituales sean probablemente demasiado lentas.
2. **Centrarse en el comportamiento de la columna de humo, no en información meteorológica detallada**
El modelo CLASS está diseñado para evaluar la altura y profundidad de la columna de humo y las interacciones entre el fuego y la atmósfera. El modelo no está construido para modelizar directamente los patrones de propagación del fuego ni las condiciones meteorológicas variables en superficie. Su mejor aplicación es la identificación y el análisis de umbrales de EWEs, como la proximidad de la columna al nivel de condensación.
3. **Observar los umbrales de los EWEs**
Las columnas de humo de incendios forestales pueden ser sensibles a cambios relativamente pequeños en la estabilidad atmosférica, por ejemplo, una variación de temperatura por encima de la ABL. Asimismo, un cambio en la intensidad del fuego puede tener un impacto significativo en la dinámica de la columna de humo. Por tanto, es fundamental centrar en el uso del modelo CLASS en análisis de umbrales de los EWEs, como la distancia de la columna al nivel de condensación o la facilidad con la que esta puede penetrar.
4. **Usar radiosondeos reales siempre que sea posible**
Los perfiles atmosféricos observados mediante radiosondas proporcionan la entrada más precisa y

operativamente relevante. Cuando estén disponibles, deben emplearse para maximizar la precisión del modelo CLASS.

5. Comparar escenarios, no resultados individuales

Los cambios relativos entre simulaciones en el modelo CLASS pueden ser más significativos que una única simulación o centrarse únicamente en valores absolutos. Por ello, es importante realizar un análisis de sensibilidad. Por ejemplo, considerar cambios en la intensidad del fuego en el modelo para tener en cuenta posibles variaciones en el comportamiento del incendio.

Cuando no utilizar el modelo CLASS:

No se debe utilizar el modelo CLASS para realizar previsiones meteorológicas locales detalladas ni para modelizar la propagación del fuego, ya que es una herramienta diseñada para una interpretación rápida y para análisis de sensibilidad en el contexto de la previsión de condiciones ambientales bajo las cuales se forma una columna convectiva y puede interactuar con la atmósfera. Las predicciones numéricas meteorológicas y la modelización de la propagación del fuego implican cálculos más complejos y, en general, responden a objetivos distintos.

2.5. Conocimiento y datos en el WDP

Otra recomendación es aprovechar el conocimiento y los datos disponibles en el WDP, desarrollados en el marco del proyecto EWED [13]. Esta información puede dividirse en dos partes principales.

La primera parte corresponde a los *Knowledge Clips* (vídeos didácticos) que están disponibles gratuitamente en el WDP. Estos vídeos, que generalmente tienen una duración total de 10 a 15 minutos cada uno, introducen de forma concisa aspectos clave relacionados con los EWEs. Los primeros vídeos (1 a 3) presentan la física y el entorno de las columnas piroconvectivas. Los siguientes vídeos (4 a 7) explican los diagramas Skew-T, que pueden utilizarse para analizar las condiciones atmosféricas en altura, lo cual puede ayudar a prever situaciones de piroconvección. Finalmente, los últimos vídeos (8 a 10) se centran en mediciones reales en incendios convectivos, y presentan un nuevo concepto: el de variables conservadas, que pueden emplearse para analizar eventos piroconvectivos reales.

Los vídeos tienen la siguiente estructura y títulos:

1. ¿Por qué ascienden las columnas de humo?
2. Capa Límite Atmosférica (ABL)
3. Nivel de Condensación por Ascenso (LCL)
4. ¿Cómo leer diagramas Skew-T?
5. La ABL y el LCL en un Skew-T
6. Diagramas Skew-T con incendios forestales
7. Herramientas en línea para los Skew-T
8. Prototipos de piroconvección
9. Variables conservadas
10. Sondeos en situaciones reales

Science

EWED KNOWLEDGE CLIPS

SCIENTIFIC PUBLICATIONS

PLUME VISUALISATIONS

MODELLING

EWED Knowledge Clips

In the following video series, we explore the physics and prediction of pyro-convective plumes and subsequent pyro-clouds that occur during extreme wildfire events. We start with the physics and environment of pyro-convective plumes (videos 1 to 3). To enable the prediction of pyro-convection, we introduce the skew-T, demonstrating how to interpret it with real-world case studies and where to access it (videos 4 to 7). Finally, the series shifts focus to actual measurements of pyro-convection using soundings (Video 8), introducing the concept of conserved variables needed to interpret sounding data (Video 9), and concluding with an analysis of actual pyro-convection observations (Video 10).



1. Why do plumes rise?

To better understand the formation and shape of pyro-convective plumes, we dive into the ancient Greek principle of buoyancy. Using a football and water, we can demonstrate the



2. Atmospheric Boundary Layer

This video explores the vertical structure of the atmosphere, focusing on the atmospheric boundary layer.

Figura 6. Captura de pantalla de la página web donde se pueden acceder y visualizar los vídeos didácticos (Knowledge Clips) del proyecto EWED. **Fuente:** Wildfire Data Portal.

La segunda parte del WDP es el propio portal de datos. En él se ofrece una recopilación de distintos casos de incendios forestales, para los cuales se comparte la mayor cantidad posible de información en acceso abierto. Para cada incendio se incluyen datos sobre el comportamiento del fuego, perímetros horarios, fotografías del incendio y de la columna de humo, así como una breve descripción del incendio. También se ponen a disposición las observaciones realizadas con radiosondas en el lugar del incendio. Por último, se comparten publicaciones relacionadas y simulaciones del modelo CLASS.

Estos casos de estudio y sus datos asociados pueden utilizarse para diversos fines. Por ejemplo, permiten analizar el comportamiento del fuego comparándolo con las condiciones en las que se produjo. Asimismo, los datos de acceso abierto disponibles en el WDP pueden emplearse para investigaciones científicas adicionales.

Wildfire Data Portal

El Valle 2

General information

Category: Wildfire
Fire classification: Overshooting PyroCu
Country: Chile
Year: 2025

GENERAL INFORMATION ↓

FIRE BEHAVIOUR AND SURFACE
OBSERVATIONS ↓

BALLOON SOUNDINGS ↓

FIRE SURFACE DATA ↓

MODELLING ↓

PUBLICATIONS ↓

DOWNLOAD DATA ↓



El Valle 2, 11/02/2025 19:10 h (local time)



El Valle 2, 11/02/2025 18:43 h (local time)

The El Valle 2 fire starts in a upslope run in a forested area, that generates high intensity, burning more than 300ha/h, until the fire reached the top of the slope and slowed down. By the end of the day, the fire stops in a downslope to the river. The following day (11th), the right flank of the fire reignited early, before 11 a.m., with a spotting that jumped the river and quickly spread uphill with high intensity. From midday onwards, the fire

Figura 7. Captura de pantalla de la página web de uno de los casos de incendios forestales disponibles (El Valle 2, Chile) en el WDP. **Fuente:** Wildfire Data Portal.

2.6. Formación internacional e intercambio de conocimientos

Por último, se recomienda fomentar activamente la participación en formaciones e intercambios internacionales. Estas actividades son clave para prepararse ante los EWEs, ya que contribuyen a reducir la brecha entre el conocimiento científico y la toma de decisiones operativas en contextos inciertos y de rápida evolución. Los eventos formativos del proyecto EWED demostraron que reunir a investigadores, analistas de incendios, comandantes de incidentes y otros profesionales del ámbito de los incendios forestales de distintos países favorece una comprensión compartida de las complejas interacciones fuego-atmósfera, de la dinámica de las columnas de humo y de la gestión de la incertidumbre asociada a los EWEs [14].



Figura 8. Participantes de Grecia colaboran durante un ejercicio del evento formativo presencial del proyecto EWED utilizando el modelo CLASS, con el apoyo de un miembro del equipo de la Universidad de Wageningen.
Fuente: Proyecto EWED.

Una ventaja clave de formaciones como los *EWED Training Events* es que refuerzan la interoperabilidad del conocimiento adquirido y de las herramientas disponibles, al permitir que los participantes compartan un lenguaje operativo común que trasciende las fronteras regionales o nacionales. Los momentos de intercambio informal, los ejercicios colaborativos y las reflexiones conjuntas sobre casos reales de incendios forestales permiten a los profesionales aprender de distintos paisajes, regímenes de fuego y estructuras organizativas, reconociendo que los EWEs representan un riesgo creciente, incluso en países con experiencia histórica limitada frente a este tipo de eventos. Organizar y participar regularmente en estas actividades resulta fundamental para seguir preparándose ante los EWEs. Por ello, este tipo de eventos deberían continuar organizándose más allá del proyecto EWED, con el fin de mantener el intercambio internacional de conocimientos, llegar a más profesionales del fuego y estar al día de los avances más recientes.

3. Referencias

- [1] Castellnou M, Nebot E, Estivill L, , et al. *D1.1. Transfer of lessons learned on extreme wildfire events to key stakeholders*. Proyecto FIRE-RES; 2022. Disponible en: https://fire-res.eu/wp-content/uploads/2024/01/D1.1_FIRE-RES_Transfer_of_LL_on_EWE.pdf
- [2] Costa P, Larrañaga A, Castellnou M, Miralles M, Kraus PD. *Prevention of Large Wildfires using the Fire Types Concept*. Proyecto Fire Paradox. GRAF Technical Unit Editorial Office; 2011. Disponible en: <https://lessonsonfire.firelogue.eu/document/guide-prevention-of-large-wildfires-using-the-fire-types-concept/>
- [3] Castellnou M, Miralles M, Nebot E, Estivill L. *Guidelines of fire analyst competencies and skills*. Proyecto AFAN; 2021. Disponible en: <https://dsp.interior.gencat.cat/handle/20.500.14007/2957#page=1>
- [4] Castellnou M, Bachfischer M, Miralles M, Ruiz B, Stoof CR, Vilà-Guerau de Arellano J. Pyroconvection classification based on atmospheric vertical profiling correlation with extreme fire spread observations. *J Geophys Res: Atmos*. 2022;127(22):e2022JD036920. doi:10.1029/2022JD036920
- [5] Castellnou M, Nebot E, Saavedra J, et al. *D1.4. IA 1.2 brief: Testing key inputs for atmospheric data analysis using new knowledge and expertise on EWE*. Proyecto FIRE-RES; 2024. Disponible en: <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e50f294185&appId=PPGMS>
- [6] Castellnou, M., Prat-Guitart, N., Arilla, E., et al. Empowering strategic decision-making for wildfire management: avoiding the fear trap and creating a resilient landscape. *Fire Ecol*. 2019;15(1):31. doi:10.1186/s42408-019-0048-6
- [7] Inspectie Openbare Orde en Veiligheid. *Rapport brand strabrechtse heide – Deel 2: De feitelijke bestrijding van de natuurbrand*. Gobierno de los Países Bajos; 2011. Disponible en: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-112359.pdf>
- [8] Quílez Moraga R. *Incendios Forestales. Análisis y Operaciones para su combate: Meteorología, tipos de incendios, motores y seguridad*. Barcelona: Fundación Pau Costa; 2021.
- [9] Castellnou M, Nebot E, Arilla E, et al. *D3.1. Protocols for data collection on Extreme Wildfire Events*. Proyecto EWED; 2024. Disponible en: https://civil-protection-knowledge-network.europa.eu/system/files/2024-11/ewed_d3.1_protocols-for-data-collection-on-ewe_0.pdf
- [10] Castellnou M, Pages J, Miralles M, Piqué M. *Tipificación de los incendios forestales de Cataluña. Elaboración del mapa de incendios de diseño como herramienta para la gestión forestal*. En: Actas del 5º Congreso Forestal Español; 2009; Ávila, España.
- [11] Castellnou Ribau M, Bachfischer M, Guarque P, et al. Integrating fireline observations to characterize fire plumes during pyroconvective extreme wildfire events: implications for firefighter safety and plume modeling. *Atmos Meas Tech*. 2025;18(24):7805-7831. doi:10.5194/amt-18-7805-2025
- [12] Van Heerwaarden C, Castellnou M, Guarque P. *D.4.2 Conceptual model*. Proyecto EWED; 2025. Disponible en: <https://civil-protection-knowledge-network.europa.eu/projects/ewed#inpage-section-outputs-results>
- [13] Prat-Guitart, N., Troncho, J., Vilà, J., et al. *D3.3. Open Data Portal*. Proyecto EWED; 2025. Disponible en: <https://civil-protection-knowledge-network.europa.eu/projects/ewed#inpage-section-outputs-results>

- [14] Verhoeven B, Troncho J, de la Riva L, van Heerwaarden C. *D2.1 Training Events*. Proyecto EWED; 2025. Disponible en: <https://civil-protection-knowledge-network.europa.eu/projects/ewed#inpage-section-outputs-results>