Extreme Wildfire Events Data Hub for Improved Decision Making

D3.1 Protocolos para la recogida de datos en eventos de incendios forestales extremos

Convocatoria del 'Union Civil Protection Mechanism' (UCPM) 'Knowledge for Action in Prevention and Preparedeness', UCPM-2023-KAPP-PREP, Número de proyecto: 101140363

Paquete de trabajo: WP3 – Recogida de datos de incendios forestales extremos

Entidad beneficiaria líder: Bombers de la Generalitat de Catalunya

Entidad beneficiaria colaboradora: Fundación Pau Costa

Financiado por la Unión Europea

Financiado por la Unión Europea. Las opiniones y puntos de vista expresados solo comprometen a su(s) autor(es) y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea. La Unión Europea no puede ser considerada responsable de ellos.

Historial del documento			
Versión	**Fecha**	**Modificaciones**	**Fuente**
D_v.1	16/04/2024	Primer borrador	CFRS
R_v.1	23/04/2024	Revisión	WUR, PCF
F_v.1	29/04/2024	Versión final	CFRS

Abril 2024

Entidad beneficiaria líder	Entidad beneficiaria colaboradora
Bombers de la Generalitat de Catalunya:	Fundación Pau Costa:
Castellnou, Marc	**Guarque**, Pau
Nebot, Edgar	
Arilla, Etel	
Bachfisher, Mercedes	
Castellarnau, Xavier	
Castellvi, Jordi	
Cespedes, Jose	
Estivill, Laia	
Ferragut, Aniol	
Larrañaga, Asier	
Miralles, Marta	
Pagès, Jordi	
Pallàs, Pepe	
Rosell, Martí	
Ruiz, Borja	

Cómo citar: Castellnou, M., Nebot, E., Arilla, E., Bachfisher, M., Castellarnau, X., Castellvi, J., Cespedes, J., Estivill, L., Ferragut, A., Larrañaga, A., Miralles, M., Pagès, J., Pallàs, P., Rosell, M., Ruiz, B., Guarque, P. (2024). *Protocolos para la recogida de datos en eventos de incendios forestales extremos*. Extreme Wildfire Events Data Hub for Improved Decision Making (EWED).

Índice

Lista de figuras 4
Lista de tablas 4
Lista de acrónimos 5
Resumen ejecutivo 6
Introducción 7

1. Antecedentes 10

2. Especificaciones en la recogida de datos 13
2.1. Incendios forestales de interés 13
2.2. Perfil vertical atmosférico 13
2.2.1. Perfil vertical de la atmósfera influenciada por el incendio forestal 13
2.2.2. Perfil vertical de la atmósfera fuera de la influencia del incendio forestal 14
2.2.3. Condiciones en la zona de lanzamiento 14
2.3. Datos de la columna de humo 15
2.3.1. Altura de la columna de humo 15
2.3.2. Evolución de la columna de humo 15
2.4. Evolución del incendio forestal 16
2.4.1. Perímetros del incendio 16
2.4.2. Comportamiento del fuego 17
2.5. Escenario del incendio forestal 17

3. Estandarización de datos 19
3.1. Datos sobre las condiciones de los incendios forestales 19
3.2. Datos de la posición de lanzamiento de las radiosondas 20
3.3. Datos de las condiciones atmosféricas 20

4. Herramientas de recogida de datos 22
4.1. Perfiles verticales atmosféricas 22
4.1.1. Radiosondas atmosféricas 22
4.1.2. Modelos de perfil vertical de la atmósfera 23
4.2. Condiciones en la superfície 23
4.3. Disponibilidad de combustible e índices de riesgo de incendio 24

5. Lecciones aprendidas del proceso de recogida de datos 26
5.1. Experiencias previas 26
5.2. Lecciones aprendidas y recomendaciones 27

6. Conclusiones 30

7. Referencias 32

Anexos
1. Metodología de la recogida de datos con radiosondas en incendios forestales 34
2. Metodología de la altura de la columna de humo con la aplicación SmokeMeter 53

Lista de figuras

Figura 1. Matriz de incertidumbre basada en el escenario y la capacidad de respuesta. 10

Figura 2. Posición de lanzamiento de una radiosonda en un incendio forestal. A: desde la cola del incendio, B: desde los flancos, C: desde la cabeza del incendio. 14

Figura 3. Ejemplos de imágenes ideales de columnas de humo de incendios forestales. 16

Figura 4. Evolución del perímetro del incendio de Pont de Vilomara (Cataluña, 2022). 17

Figura 5. Equipo de lanzamiento de radiosondas. 22

Figura 6. Interfaz de radiosondas Meteociel con estaciones de radiosondeo y ejemplo de datos. 23

Figura 7. Izquierda: Definición de la longitud de la llama. Derecha: Definición de la anchura y profundidad del frente de fuego en una imagen Sentinel 2 del incendio forestal de Ávila (agosto de 2021,España). 24

Figura 8. Imágenes del lanzamiento de las radiosondas en Cataluña. 26

Figura 9. Lanzamiento de radiosondas por parte de los colaboradores del proyecto durante el Taller de Cataluña en Can Feliu 2 PB. 26

Figura 10. Discusión sobre el uso y funcionamiento de las radiosondas durante el taller de Cataluña en el parque de bomberos de Manresa. 27

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación de eventos de incendios forestales basada en el comportamiento del fuego y la capacidad de control 10

Tabla 2. Formato y unidades de las variables de las condiciones de los incendios forestales 19

Tabla 3. Formato y unidades de las variables de lanzamiento de radiosondas... 20

Tabla 4. Formato y unidades de las variables de las condiciones atmosféricas 20

Lista de acrónimos

ABL	Atmospheric Boundary Layer / Capa límite atmosférica
AFAN	Advanced Fire Analysis Network
AGL	altitude Above Ground Level / Altitud sobre el nivel del suelo
CFRS	Catalan Fire and Rescue Service / Bombers de la Generalitat de Catalunya
CONAF	COrporación NAcional Forestal, Chile
COST	European Cooperation in Science and Technology
DC	Drought Code / Indice de sequía
EFFIS	European Forest Fire Information System
EGIF	Equipo de Gestión de Incendios Forestales
EWE	Extreme Wildfire Event / Incendio forestal extremo
EWED	Extreme Wildfire Events Data Hub for Improved Decision Making
FA	Fire Analyst / Analista de incendios
FFMC	Fine Fuel Moisture Content / Contenido de humedad del combustible fino
FIRE-RES	Innovative technologies and socio-ecological-economic solutions for FIRE-RESilient territories in Europe
FWI	Fire Weather Index / Índice meteorológico de incendios
GIS	Geographic Information System / Sistema de información geográfica
GRAF	GRup d'Actuacions Forestals, Bombers de la Generalitat de Catalunya
LCL	Lifting Condensation Level / Nivel de condensación por ascenso
MODIS	MODerate resolution Imaging Spectroradiometer
MSL	altitude above Mean Sea Level / Altitud sobre el nivel del mar
NERO	European Network on Extreme fiRe behaviOr
NOA	National Observatory of Athens
PCF	Pau Costa Foundation
ROS	Rate Of Spread / Velocidad de propagación
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

Resumen ejecutivo

En la última década se ha producido un aumento de la frecuencia e intensidad de los incendios forestales extremos (Extreme Wildfire Events, EWEs) en Europa y en todo el mundo **[4]**. Esto provoca situaciones de incertidumbre tanto para la población civil como para los dispositivos de gestión de emergencias, que ven mermada su capacidad de respuesta ante estas situaciones. Para reducir esta incertidumbre, es esencial generar conocimiento y mejorar la comprensión de estos fenómenos, especialmente en lo que respecta a la interacción fuego-atmósfera.

El objetivo principal del proyecto EWED es **recopilar datos sobre estos fenómenos, estudiar y analizar sus causas y simular sus consecuencias de forma detallada y precisa**. Todo esto, con la intención de mejorar los conocimientos existentes y, finalmente, la capacidad de respuesta de los servicios de bomberos europeos. Para lograr este objetivo, el proyecto propone una metodología novedosa en el análisis de los EWEs, iniciada por el cuerpo de Bombers de la Generalitat de Catalunya. Esta metodología permite adquirir un conocimiento profundo de estos procesos a escala mundial.

Este protocolo se centra principalmente en la **recopilación de datos sobre el perfil vertical de la atmósfera, pero también en datos sobre el comportamiento del fuego, las características de las columnas de humo y las propiedades de los incendios forestales.** Este conjunto de datos debe ser homogéneo para que pueda incluirse en la base de datos del proyecto EWED, para convertirse en una base de datos mundial pionera para el análisis de incendios forestales.

Para la elaboración de este documento, se ha utilizado la experiencia adquirida en la implementación de esta metodología por el GRAF (Grup d'Actuacions Forestals, 'Grupo de actuaciones forestales') del cuerpo de Bombers de la Generalitat de Catalunya desde la campaña de incendios forestales de 2021, implementada durante los incendios forestales en Cataluña, así como en algunas partes de España y durante la campaña de incendios forestales de 2023 en Chile. Se ha complementado con las lecciones aprendidas en el taller de Cataluña del proyecto EWED, en el que se definieron los datos necesarios para el estudio de los EWEs y el formato de los datos a recoger.

Introducción

El documento 'Protocolos para la recogida de datos' resume cómo y qué datos deben ser recogidos durante EWEs para que puedan ser cargados en el portal de datos abiertos (Open Data Portal) y así ser utilizados para ampliar el conocimiento sobre estos eventos con el fin de mejorar la respuesta de los sistemas de emergencia europeos anteeventos de incendios forestales extremos. Este entregable 3.1 Protocolos para la recogida de datos pertenece al WP 3. Recopilación de datos en incendios forestales extremos, cuyo objetivo es **recopilar datos sobre el comportamiento del fuego, la interacción fuego-atmósfera y la evaluación de los tipos de columnas de humo y su evolución.**

El principal objetivo del proyecto EWED es **crear una plataforma abierta para recopilar datos de EWEs de diferentes países europeos y mejorar el conocimiento, la comprensión y la capacidad de respuesta ante estos incendios forestales.** Esta base de datos (Tarea 3.3) permite cargar los datos recogidos durante los incendios forestales y, mediante modelos y algoritmos, proporciona un análisis y seguimiento de los incendios forestales en tiempo real, facilitando la toma de decisiones estratégicas.

Para que estos datos recogidos se carguen en la base de datos deben ser homogéneos entre todos los colaboradores del proyecto. Esta homogeneización de datos debe permitir el diseño de una base de datos y una estructura sencillos, facilitar el uso de modelos y algoritmos de simulación y dar robustez científica a los resultados del proyecto. Además, es necesario estandarizar esta recogida de datos y recopilarlos en este documento, ya que representa una nueva metodología en el campo de los incendios forestales, especialmente con el uso de radiosondas para obtener datos sobre el perfil vertical de la atmósfera durante los EWEs **[2]**.

Para recoger toda esta información, este documento se ha dividido en tres secciones distintas:

- La sección 2 presenta una descripción preliminar de la justificación de la recopilación de estos datos y de las variables específicas de interés en el estudio de los EWEs.
- La sección 3-4 contiene información técnica relacionada con la estandarización de los formatos de recolección de datos e instrucciones para su recolección, tanto a nivel de superficie, como de la atmósfera.
- La sección 5 describe las experiencias de Bombers de la Generalitat de Catalunya en el uso de radiosondas en incendios forestales y el taller de Cataluña del *proyecto EWED*, que sirvió como prueba piloto en la que se discutieron los fundamentos de la base de datos y se definieron las principales características de la recogida de datos.

Este documento responde a la pregunta de qué datos son esenciales para el estudio de los EWE y en qué formato deben recopilarse. Sin embargo, no define dónde ni cuándo deben recopilarse estos datos.

Responder a esta pregunta requiere un cierto nivel de conocimientos y una capacidad de análisis de incendios forestales basada en la experiencia de los responsables de la recogida de datos.

En los anexos se detallan los procedimientos de recogida de datos utilizando el software Windsond para obtener el perfil vertical de la atmósfera a partir de las radiosondas y la APP SmokeMeter para calcular la altura de la columna de humo.

Concluyendo, los principales objetivos de este documento son:

- Garantizar que todos los profesionales del sector de los incendios que recopilan datos en EWEs utilicen la misma metodología y el mismo formato de datos.
- Facilitar el uso de estos datos recogidos en la base de datos por parte de investigadores y responsables de la toma de decisiones en situaciones de emergencia causadas por incendios forestales.

Sugerencias y recomendaciones: Se sugiere el uso de estas herramientas, pero se puede utilizar cualquier herramienta siempre que el formato de los datos obtenidos sea compatible con los protocolos de este documento. Bombers de la Generalitat de Catalunya han estado utilizando radiosondas Windsond durante las últimas tres campañas de incendios debido a su idoneidad para la recogida de datos atmosféricos en incendios forestales. Una de sus ventajas es que pueden utilizarse para recoger datos sobre pequeñas variaciones (como inversiones y cambios en la velocidad de ascenso, por ejemplo) que no serían posibles con radiosondas de mayor tamaño. Además, su construcción ligera reduce los riesgos potenciales asociados a las operaciones aéreas. Otra ventaja es su reducido precio, así como la posibilidad de recuperación y reutilización, lo que la convierte en una solución más rentable. Además, los datos recogidos mediante el software y las radiosondas Windsond son útiles para el análisis de los procesos de piroconvección. Por último, se trata de un producto europeo que ofrece un servicio de atención al cliente fiable en caso de problemas técnicos o necesidades de mejora.

1

1. Antecedentes

Desde 2016, se ha producido un aumento significativo del número de grandes incendios forestales a escala mundial que no responden al comportamiento esperado del fuego observado anteriormente. Incendios forestales como el de Fort McMurray (Canadá), la campaña de incendios de 2017 en Chile, Pedrógão Grande (Portugal), California (2017, 2018, 2020, 2021), Australia (2019-2020), Grecia y Turquía (2021) o los incendios recientes de Canadá y Grecia en 2023, son algunos ejemplos de incendios forestales que se comportan muy por encima de lo que se consideran incendios normales, con parámetros y procesos de comportamiento del fuego que permiten clasificarlos como eventos de incendios forestales extremos (EWEs). [7]

Tabla 1. Clasificación de eventos de incendios forestales basada en el comportamiento del fuego y la capacidad de control. Referencia: [7].

	Fire Category	Real Time Measurable Behavior Parameters			Real Time Observable Manifestations of EFB				Type of Fire and Capacity of Control *
		FLI* (kWm^{-1})	ROS (m/min)	FL (m)	PyroCb	Downdrafts	Spotting Activity	Spotting Distance (m)	
Normal Fires	1	<500	<5 [a] <15 [b]	<1.5	Absent	Absent	Absent	0	Surface fire Fairly easy
	2	500–2000	<15 [a] <30 [b]	<2.5	Absent	Absent	Low	<100	Surface fire Moderately difficult
	3	2000–4000	<20 [c] <50 [d]	2.5–3.5	Absent	Absent	High	≥100	Surface fire, torching possible Very difficult
	4	4000–10,000	<50 [c] <100 [d]	3.5–10	Unlikely	In some localized cases	Prolific	500–1000	Surface fire, crowning likely depending on vegetation type and stand structure Extremely difficult
Extreme Wildfire Events	5	10,000–30,000	<150 [c] <250 [d]	10–50	Possible	Present	Prolific	>1000	Crown fire, either wind- or plume-driven Spotting plays a relevant role in fire growth Possible fire breaching across an extended obstacle to local spread Chaotic and unpredictable fire spread Virtually impossible
	6	30,000–100,000	<300	50–100	Probable	Present	Massive Spotting	>2000	Plume-driven, highly turbulent fire Chaotic and unpredictable fire spread Spotting, including long distance, plays a relevant role in fire growth Possible fire breaching across an extended obstacle to local spread Impossible
	7	>100,000 (possible)	>300 (possible)	>100 (possible)	Present	Present	Massive Spotting	>5000	Plume-driven, highly turbulent fire Area-wide ignition and firestorm development non-organized flame fronts because of extreme turbulence/vorticity and massive spotting Impossible

Note: [a] Forest and shrubland; [b] grassland; [c] forest; [d] shrubland and grassland; *FLI classes 1–4 follow the classification by Alexander and Lanoville [125].

En el entregable 1.1 del proyecto FIRE-RES [4], los EWEs se definen como *incendios forestales con interacciones complejas a gran escala entre el fuego y la atmósfera que generan un comportamiento piroconvectivo, acoplando procesos que dan lugar a un comportamiento del fuego rápido, intenso, incierto y rápidamente cambiante, que excede los límites técnicos de control. Además, en algunos momentos, el comportamiento del fuego observado supera el esperado, sobrepasando las capacidades de toma de decisiones del sistema de emergencias.*

Desde entonces, a escala global, existe una situación de incertidumbre respecto a los EWEs, en la que no se conocen ni las condiciones del escenario ni la capacidad de respuesta de los operativos de extinción [5], representada en la matriz de incertidumbre de la Figura 1. Este hecho pone en peligro tanto a la sociedad como a los sistemas de emergencia implicados en la extinción de incendios forestales. En la actualidad, se carece de un conocimiento exhaustivo del proceso de piroconvección cuando el fuego interactúa con la atmósfera. El proyecto EWED tiene como objetivo aumentar el conocimiento sobre estos eventos de incendios forestales extremos con el fin de adaptar la respuesta de los sistemas de extinción y aumentar la certidumbre en la toma de decisiones estratégicas.

		Escenario	
		Certidumbre	Incertidumbre
Sistema de gestion de emergencia s	Certidumbre	Escenario de certidumbre. Protocolos de seguridad y trabajo de predictibilidad	Escenario de incertidumbre, pero la respuesta operativa es conocida y previsible. "Cisnes negros" no serían detectados. El escenario debe ser modificado
	Incertidumbre	Escenario de certidumbre, pero respuesta operativa incierta. Las tácticas deben modificarse para desarrollar escenarios de certeza.	Situación incierta. No se conoce la evolución del escenario ni la respuesta operativa. Hay que reconsiderar la situación.

Figura 1. Matriz de incertidumbre basada en el escenario y la capacidad de respuesta. Referencia: [5].

Para identificar y describir esta interacción fuego-atmósfera, es necesaria la recogida de datos durante los incendios forestales para proporcionar datos empíricos sobre estos procesos. Para ello, es esencial que la recogida de estos datos (tanto de radiosondas, archivos gráficos y otros datos relevantes) sea continua durante todo el incidente, permitiendo estudiar la evolución del incendio y definir el potencial de ocurrencia del fenómeno de piroconvección. Es de vital importancia, ya que este fenómeno puede tener un impacto directo en el comportamiento del fuego en superficie, como un aumento de la velocidad de propagación (Rate Of Spread, ROS), o un cambio repentino de dirección. Es importante conocer estas características para poder responder a algunas preguntas:

- ¿Las características en la superficie favorecen la propagación del fuego?
- ¿O es la atmósfera?

La comprensión de esta información permitirá a los sistemas de emergencia reducir la incertidumbre sobre la evolución a corto plazo del incendio e identificar futuras situaciones de riesgo. También permitirá establecer una estrategia que se ajuste a la evolución del incendio en función de las condiciones observadas.

El proyecto EWED se centra principalmente en la recogida de datos sobre las condiciones del perfil vertical de la atmósfera, siguiendo la metodología iniciada en Cataluña por los Bombers de la Generalitat de Catalunya a través de sus unidades GRAF (especialistas en incendios forestales), durante la temporada de incendios forestales de 2021 **[2]**. Además, ese mismo año también se recogieron datos utilizando radiosondas en los incendios forestales de Sierra Bermeja (España) y durante la campaña de incendios de Chile en 2023.

El equipo de los Bombers de la Generalitat de Catalunya que estaba recopilando datos en Chile formaba parte de la Célula de Análisis e Investigación de Incendios Forestales (liderada por Jordi Pagès y Jordi García) del Equipo de Gestión de Incendios Forestales (EGIF). EGIF fue un programa de intercambio de conocimientos y metodologías de trabajo a nivel internacional auspiciado por la COrporación NAcional Forestal de Chile (CONAF) y llevado a cabo por la Fundación Pau Costa (Pau Costa Foundation, PCF) durante las temporadas de incendios 2022 y 2023.

Las tres campañas de incendios forestales en las que se han utilizado radiosondas para obtener datos de las condiciones atmosféricas han permitido a los Bombers de la Generalitat identificar las características necesarias tanto de las radiosondas como de los lanzamientos para obtener datos fiables. Además, la experiencia en más de 20 años de análisis de incendios forestales, con la recogida de datos de campo y reconstrucciones de incendios, junto con esta recogida de datos del perfil vertical de la atmósfera, han permitido desarrollar este protocolo de recogida de datos de EWEs, que garantizará que dichos datos se ajusten a las necesidades de la base de datos del proyecto EWED.

Hay otros proyectos en marcha en paralelo que también abordan la gestión de los EWEs:

- **El proyecto FIRE-RES** (Innovative technologies and socio-ecological-economic solutions for FIRE-RESilient territories in Europe **FIRE-RES Website**) es un proyecto de 4 años que tiene como objetivo desarrollar acciones innovadoras relacionadas con los 4 pilares del proyecto: motores del proceso/comportamiento de EWEs (combustible en el ecosistema en t/ha, atmósfera, emisión de energía en kW/t); gestión de emergencias e incendios; paisaje y economía; y gobernanza, sociedad, comunicación y concienciación de riesgos. Durante los primeros talleres del proyecto, se estableció el modelo, identificando los retos actuales, las lecciones aprendidas y casos de EWEs. Los resultados pueden consultarse en **D1.1 Transferencia de las lecciones aprendidas sobre EWEs a las partes interesadas clave**. Además, se han identificado aportaciones para el análisis de datos atmosféricos utilizando nuevos conocimientos y experiencia sobre EWEs. El entregable 1.2. incluirá los resultados de este trabajo y estará disponible en la página web del proyecto.

- **NERO** es la Red Europea sobre Comportamiento Extremo del Fuego (**NERO Website**). La Acción COST está liderada por el Observatorio Nacional de Atenas (NOA) y tiene como objetivo cultivar una cultura europea que fomente el intercambio transfronterizo eficaz de conocimientos expertos, incluyendo datos y herramientas. NERO pretende tender un puente entre los descubrimientos científicos y la aplicación práctica, promoviendo una gestión eficiente de los incendios forestales basada en la ciencia. El objetivo general de NERO es crear y coordinar una red internacional que reúna a científicos y profesionales en el campo de los incendios forestales para abordar el reto de comprender y predecir el comportamiento extremo de los incendios.

2

2. Especificaciones en la recogida de datos

Los incendios forestales son fenómenos complejos y dinámicos en los que influyen un importante número de variables. En esta sección se definen los incendios forestales más idóneos en los que recoger datos para la investigación de EWEs, así como para ejecutar los modelos y algoritmos desarrollados a lo largo del proyecto. Asimismo, se describen las variables clave, junto con las instrucciones para su recogida.

Utilizar estos métodos como base garantizará la homogeneidad de los datos recopilados y facilitará que los participantes del proyecto y los colaboradores externos los recojan con las mismas pautas.

2.1. Incendios forestales de interés

Los incendios forestales objeto para la toma de datos son aquellos que presentan comportamientos convectivos en superficie, es decir, aquellos en los que la columna de humo es convectiva o tiene potencial para convertirse en convectiva. Estos incendios forestales, bajo condiciones atmosféricas que lo permitan, pueden tener la capacidad de iniciar procesos de piroconvección, con corrientes ascendentes y descendentes, que tendrán un impacto directo en el comportamiento del fuego en la superficie, pudiendo llegar a convertirse en un EWE.

Por tanto, es crucial monitorizar la situación meteorológica diaria, tanto en superficie como a nivel atmosférico. Hay que prestar atención a los días con temperaturas altas, baja humedad y con poca recuperación de la humedad por la noche, y con vientos moderados. Estas condiciones aumentan significativamente la disponibilidad de combustible, dotando al fuego de una mayor capacidad para liberar energía.

2.2. Perfil vertical atmosférico

La recogida de datos sobre el perfil vertical de la atmósfera es esencial para comprender si existe un potencial de interacción entre el fuego y la atmósfera, y para estudiar la naturaleza de esta interacción. Hay varias consideraciones que deben tenerse en cuenta para garantizar que los datos recogidos se ajustan a las necesidades de los modelos y algoritmos y son útiles para el análisis de EWEs.

2.2.1. Perfil vertical de la atmósfera influenciada por el incendio forestal

El lanzamiento de radiosondas dentro de columnas de humo de incendios forestales permite recoger datos del perfil vertical de la atmósfera que está siendo modificado por el incendio forestal. Esto incluye datos meteorológicos recogidos desde el interior de la columna de humo, como temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, etc. Además, las radiosondas recogen datos como la posición y la altitud, lo que facilita el cálculo de la velocidad vertical de la radiosonda, que puede utilizarse para estudiar las corrientes ascendentes y descendentes de la columna de humo.

Para adquirir un conocimiento exhaustivo del perfil vertical atmosférico, es importante lanzar radiosondas **frecuentemente**, especialmente cuando se observen **cambios relevantes en el comportamiento del fuego**, y desde diferentes partes del incendio forestal. Esta frecuencia permitirá identificar cambios en las condiciones atmosféricas y predecir cambios en el comportamiento del fuego de superficie debidos a la interacción fuego-atmósfera. También es interesante lanzar radiosondas en momentos en los que se esperan **cambios meteorológicos**, ya que esto permite conocer cómo afectan estos cambios al perfil vertical de la atmósfera influenciado por el incendio forestal.

Los datos recogidos sobre el perfil vertical de la atmósfera durante los incendios forestales varían considerablemente dependiendo de dónde se lance la radiosonda. Cuando se lanza desde la cola del incendio forestal, es habitual obtener datos sobre las características de toda la columna de humo, ya que la radiosonda es succionada por la corriente de aire. Lanzando desde la cabeza del incendio forestal, debido a la proximidad con el frente de fuego, se registran altas temperaturas, la mayoría a pocas decenas de metros, lo que es útil, entre otras cosas, para medir la intensidad del frente de fuego. Y, por último, el lanzamiento desde los flancos también da buenos resultados si los rotores laterales succionan la radiosonda hacia el centro de la columna.

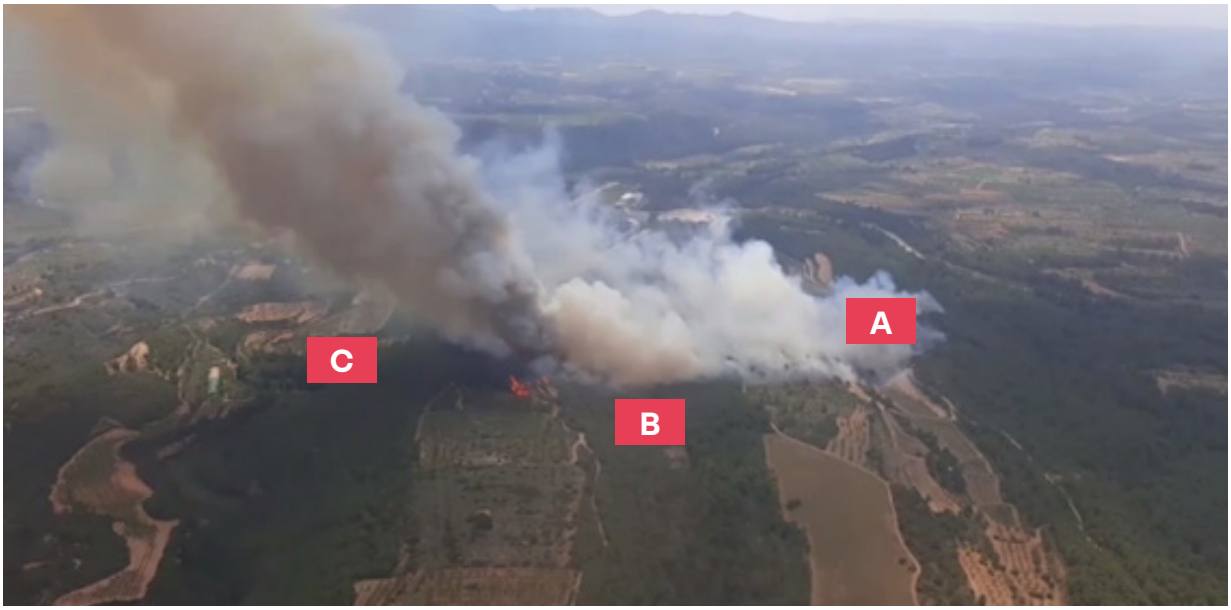


Figura 2. La posición de lanzamiento de un radiosonda en un incendio forestal. A: desde la parte trasera de un incendio, B: desde los flancos, C: desde la cabeza del incendio. Referencia: CFRS.

2.2.2. Perfil vertical de la atmósfera fuera de la influencia del incendio forestal

Es importante lanzar una radiosonda fuera de la columna de humo del incendio y lejos de su influencia durante la misma hora, llamada **radiosonda de control**. El objetivo de este lanzamiento es recoger los datos que permitan comparar si el incendio forestal está modificando la estructura atmosférica. Además, proporciona información sobre el perfil vertical de la atmósfera en una zona no afectada por el incendio. Este lanzamiento de radiosonda de control permite validar las predicciones de los modelos atmosféricos con los datos de campo, y definir si pueden considerarse como una fuente fiable ese día.

Siempre que sea posible, es importante lanzar esta radiosonda de control antes de entrar en el incendio forestal y fuera de su influencia para garantizar que los datos del perfil vertical de la atmósfera no se vean alterados por el fuego. También es importante lanzar radiosondas de control con frecuencia durante un evento prolongado para asegurar una buena comprensión de la evolución del perfil vertical de la atmósfera fuera de la influencia del incendio. Lo ideal es que **no transcurra más de 1 hora entre el lanzamiento de la columna de humo y el de la radiosonda de control.**

Durante el taller en Cataluña, se planteó la idea de utilizar los datos del perfil de descenso de la radiosonda siempre que caiga fuera de la zona de influencia del incendio para recoger estos datos. Sin embargo, siempre que sea posible, se recomienda que la radiosonda de control se lance fuera de la zona del incendio forestal. De este modo se garantiza la recogida de datos durante todo el ascenso (a veces el radiosondeo se pierde durante la caída de la radiosonda) y que los datos no se vean alterados por el incendio.

2.2.3. Condiciones en la zona de lanzamiento

Para escoger el lugar de lanzamiento, es importante saber cómo se comporta el incendio. Es clave haber realizado un análisis del incendio o estar en contacto continuo con quienes supervisan la evolución del fuego **[3]**. Esto garantiza que el lugar de lanzamiento escogido es **seguro** y proporciona datos valiosos.

A fin de que sea útil para el análisis del EWE, el lanzamiento de las radiosondas debe ir acompañado de una descripción del escenario del incendio, del comportamiento del mismo en el lugar de lanzamiento en ese momento, y de la descripción de la ubicación. Esta información contextual es crucial para interpretar los datos recogidos y comprender cómo la dinámica del incendio forestal puede influir en las condiciones atmosféricas observadas.

Es necesario registrar **la posición exacta del lanzamiento de la radiosonda** (utilizando coordenadas UTM), que puede ser extraída del software Windsond (ver *Anexo 1*), así como su **posición relativa al incendio** (cabeza, flancos, cola o radiosonda de control) y la **posición del frente del incendio**. Asimismo, la **hora exacta de lanzamiento** de cada una de las radiosondas utilizadas.

Se deben describir las características de la columna de humo, especialmente su **color** y la presencia o ausencia de **rotores**. Es importante **grabar un video** del momento de lanzamiento de cada radiosonda, mostrando su trayectoria y el comportamiento del fuego en ese momento. Esta grabación permite correlacionar el perfil vertical de la atmósfera obtenido con el comportamiento observado del incendio, ayudando a identificar si sigue el patrón esperado. Lo ideal es que el vídeo muestre el momento del lanzamiento hasta que la radiosonda es succionada por la corriente interna de la columna de humo ydesaparece del campo de visión.

Además de registrar el lanzamiento de la radiosonda, es importante recopilar información sobre **el comportamiento del fuego en el lugar de lanzamiento** (más información en la sección 2.4.2 Comportamiento del fuego):

- Longitud de la llama
- Tipo de frente de fuego
- Localización exacta del frente de fuego
- Posición relativa respecto al fuego (cabeza, flancos, cola)
- Focos secundarios (presencia o no y distancia)
- Antorcheo (presencia o no y porcentaje)
- Medidas aproximadas de la profundidad y anchura del frente de fuego (si hay medios aéreos que puedan consultarse, su visión sobre estos datos puede ser de gran utilidad).

2.3. Datos de la columna de humo

Las características de la columna de humo están relacionadas con los fenómenos piroconvectivos que se producen en el incendio y proporcionan información relevante para el estudio de los EWEs. Por lo tanto, es esencial recopilar datos sobre la columna de humo durante todo el incendio forestal. Las características de la columna de humo están relacionadas con los fenómenos piroconvectivos que se producen en el incendio y proporcionan información relevante para el estudio de los EWE. Por lo tanto, es esencial recopilar datos sobre la columna de humo durante todo el incendio forestal.

2.3.1. Altura de la columna de humo

Si se conoce la estructura del perfil vertical de la atmósfera, es interesante obtener datos sobre la altura a la que se sitúa el límite máximo de la columna de humo. Esta información ayuda a predecir posibles cambios en el comportamiento del incendio en la superficie. Por ejemplo, permite determinar si la columna de humo ha alcanzado el límite de la capa límite atmosférica (Atmospheric Boundary Layer, ABL) o si está cerca del nivel de condensación por ascenso (Lifting Condensation Level, LCL), lo que podría dar lugar a un proceso de piroconvección húmeda.

Estos datos pueden obtenerse a partir de la APP **SmokeMeter**, que cuenta con una interfaz de usuario intuitiva y calcula la altura de la columna de humo de forma sencilla. El *Anexo 2* contiene una explicación detallada del funcionamiento de esta aplicación. La APP se puede descargar desde el siguiente enlace: **SmokeMeter - Apps on Google Play**.

Es importante guardar la imagen utilizada por la APP (mediante una captura de la pantalla cuando se toma la altura) y registrar la hora en que se tomó. De este modo, se puede identificar y seguir claramente la evolución de la columna del incendio forestal.

2.3.2. Evolución de la columna de humo

Los documentos gráficos de la columna de humo, tanto imágenes como vídeos, ayudan a identificar los fenómenos que se están produciendo en el incendio forestal, y a relacionarlos con el comportamiento del fuego. Además, si se realizan con frecuencia a medida que avanza el incendio, es posible hacerse una idea clara de su evolución.

Aunque las imágenes tomadas por los medios aéreos de apoyo a las operaciones de extinción también aportan información interesante, las imágenes tomadas desde tierra son más útiles para identificar los diferentes procesos piroconvectivos y prototipos.

Al realizar una foto o un vídeo de la columna de humo, hay que tener en cuenta lo que se quiere mostrar, si se trata de toda la columna o de una parte interesante de la misma que sea relevante para el estudio del fenómeno convectivo. Principalmente, para la base de datos de EWED será más útil una imagen completa de la columna de humo, que deberá tener las siguientes características:

- Si es posible, debe ser visible **toda la columna de humo**, desde la superficie del incendio hasta el punto más alto.
- Es preferible **una imagen o vídeo horizontal** (siempre que se garantice el punto anterior), ya que permite apreciar mejor cómo se comporta la columna cuando llega a su límite (se expande lateralmente).
- Es necesario **guardar la hora de la foto o video** e identificarla en el nombre del archivo. Esto permite identificar la evolución del incendio. Es fácil encontrar esta información en los metadatos de la imagen/vídeo. Existen aplicaciones móviles que ayudan a registrar estos datos en la imagen (Timestamp o Conota, por ejemplo).
- Indicar dónde se tomó la imagen o el vídeo en relación con el incendio forestal.

Figura 3. Ejemplo de imágenes ideales de columnas de humo de incendios forestales. Referencia: CFRS.

Sin embargo, también puede ser de interés captar una imagen o vídeo de una zona concreta de la columna de humo, es decir, un cambio de condiciones en una de las zonas de la columna, rotores laterales, detalle de focos secundarios debajo de la columna de humo, etc. En este caso, es de vital importancia que, como en el caso anterior, se identifique en el nombre del archivo la hora de la foto o video, así como la posición en relación con el incendio desde la que se tomó.

Otra forma de capturar la evolución de la columna de humo, que no tiene por qué ser realizada por el equipo de radiosondeo, es hacer o recoger (de otros participantes en incendios, por ejemplo) **secuencias de vídeo *timelapse*** de la columna de humo evolucionando durante un largo periodo de tiempo. Esto será muy útil en el análisis de incendios si el archivo incluye la hora en que se grabó y la duración de la grabación.

2.4. Evolución del incendio forestal

Además de comprender el perfil vertical de la atmósfera y los cambios provocados por el incendio, también es importante recoger datos sobre la evolución de la zona quemada y el comportamiento del fuego en la superficie. En esta sección se definen los principales datos que deben recogerse.

2.4.1. Perímetros del incendio

Para obtener una visión clara de la evolución del incendio, es útil dibujar los perímetros cada hora. Ayudan a determinar otras variables como la velocidad de propagación o el número de hectáreas quemadas por hora. Existen distintos métodos para obtenerlos, que pueden utilizarse conjuntamente. Independientemente del método utilizado, es importante seguir estas especificaciones para generar los datos:

- Siempre que sea posible, se debe trazar el perímetro del incendio correspondiente a cada hora (isócronas como perímetros horarios).
- Las diferentes isócronas deben dibujarse como un polígono, no como una línea.
- El formato de la información horaria que contienen los distintos polígonos en referencia a las isócronas de avance del incendio deben ser de tipo Fecha y hora, no numérico.
- Incluir tantos detalles como sea posible (útil para calcular la velocidad de propagación y el consumo de la vegetación, por ejemplo).

El método más detallado consiste en utilizar las posiciones reales de los distintos miembros del dispositivo de extinción en el incendio, a partir de la geolocalización de sus emisoras (tanto de los vehículos como del personal). Estas posiciones se registran y pueden visualizarse en directo si el

sistema de gestión de la emergencia lo permite, lo que facilita el mapeo del perímetro en tiempo real. Un método alternativo para trazar perímetros horarios es utilizar imágenes aéreas georreferenciadas y disponibles durante toda la duración del incendio forestal.

2.4.2. Comportamiento del fuego

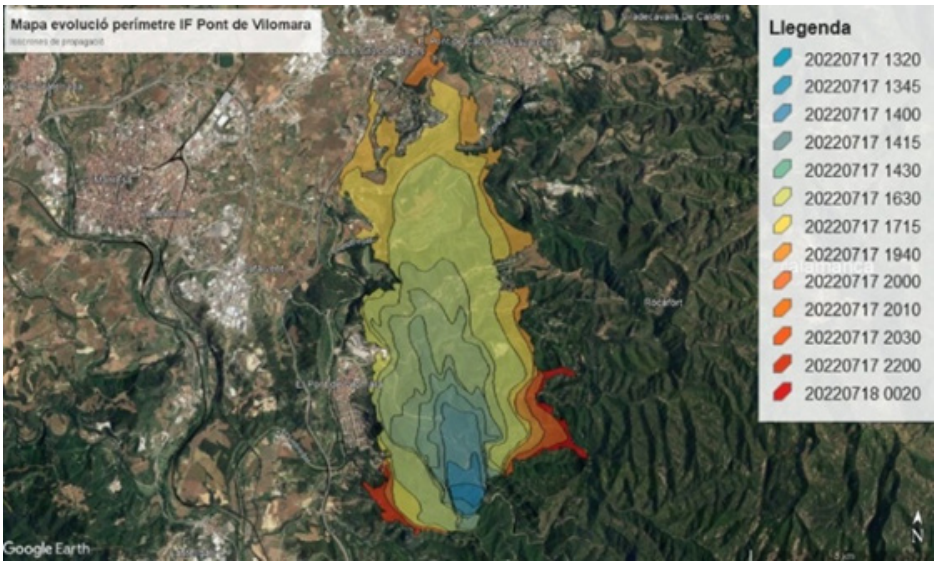


Figura 4. Evolución del perímetro del incendio forestal de Pont de Vilomara (Cataluña, 2022). Reference: CFRS.

Comprender las características del comportamiento del fuego observado en la superficie es esencial para correlacionar el perfil vertical de la atmósfera con los posibles cambios en el incendio. Hay algunos datos que son relativamente fáciles de recoger y que proporcionan mucha información útil para el funcionamiento de los distintos modelos y algoritmos. Algunos de ellos son los mismos datos de comportamiento del fuego que deben recogerse en la zona de lanzamiento de la radiosonda (*sección 2.2.3 Condiciones en el lugar de lanzamiento*), pero a escala global del incendio forestal.

- Longitud de la llama (m): media y máxima
- Velocidad de propagación (m/h): media y máxima
- Tasa de crecimiento (ha/h): media y máxima
- Lanzamiento de focos secundarios (m): distancia media y máxima
- Antorcheo (%): presencia o no y porcentaje

2.5. Escenario de incendio forestal

Conocer las condiciones del escenario y del combustible en el momento del incendio forestal permite correlacionar situaciones entre distintos incendios forestales, lo que puede ayudar a predecir el comportamiento y las situaciones de los EWEs. Por lo tanto, es importante que se registren con precisión.

Una de ellas es la **disponibilidad de los combustibles**, tanto vivos como muertos. Por un lado, es necesario conocer el tipo de combustible muerto disponible, categorizado cómo 1h, 10h, 100h o 1000h. Esta información se puede obtener en el propio incendio que se está estudiando o en incendios recientes. También se puede ajustar en función de las condiciones meteorológicas de las últimas horas, especialmente la humedad relativa. Por otro lado, el estado del combustible vivo se puede obtener conociendo la situación de sequía de la zona del incendio. Esto nos da una idea del estrés hídrico de la vegetación viva y de su disponibilidad para quemar.

Deben recogerse datos sobre las **condiciones meteorológicas** en el momento del incendio y durante los días anteriores, ya que influyen en el comportamiento del fuego. Variables como la temperatura, la humedad relativa, el punto de rocío, la velocidad y la dirección del viento son necesarias para un análisis completo. También debe determinarse la **situación sinóptica** en la zona del incendio para contextualizar las condiciones meteorológicas generales.

La estructura forestal influye mucho en el avance de los incendios forestales. Por ello, es importante recopilar esta información de la zona afectada por el incendio, utilizando tanto mapas de modelos de combustible como mapas forestales de la región. Esto ayudará a determinar **la carga de combustible** en la zona del incendio y a identificar los puntos críticos para la propagación del fuego.

3

3. Estandarización de datos

En la sección anterior se definieron las distintas variables necesarias para estudiar los EWEs y para aplicar los modelos y algoritmos de la base de datos. Esta sección describe el formato y los requisitos técnicos de estos datos para cumplir los requerimientos de la base de datos y ser utilizados en el posterior análisis de los EWEs.

3.1. Datos sobre las condiciones de los incendios forestales

Como se ha mencionado anteriormente, es importante relacionar las condiciones del incendio con las condiciones atmosféricas. La Tabla 2 muestra el formato y las unidades de las distintas variables que deben recogerse de estas condiciones del incendio, junto con las observaciones clave para su recogida comentadas en la sección 2.

Tabla 2. Formato y unidades de las variables de las condiciones de los incendios forestales.

Variable	Formato / unidades	Observaciones
Tasa de crecimiento	Hectáreas por hora (ha/h)	A partir de perímetros horarios. Crecimiento medio y valor máximo.
Longitud de llama del frente de fuego	Metros (m)	Calculado a partir de vídeo aéreo o imagen georreferenciada. Medido en el momento de lanzamiento de las radiosondas.
Anchura de llama del frente de fuego	Metros (m)	Calculado a partir de vídeo aéreo o imagen georreferenciada. Medido en el momento de lanzamiento de las radiosondas.
Perímetros horarios	Shapefile (.shp), Keyhole Markup Language (.kml). **CRS: WGS84**	Importante: deben ser **polígonos** e ir asociados a una **fecha y hora**.
Velocidad de propagación (ROS)	Metros por hora (m/h)	Recoger las velocidades medias y máximas observadas.
Altura de la columna de humo	Metros (m)	Importante: guardar la imagen de la columna de humo.
Imagen de la columna de humo	Archivo .jpg	Con la hora actual en que se tomó la fotografía y la ubicación en relación con el incendio forestal.
Vídeo de la columna de humo	Archivo .mp4	Con la hora actual a la que se grabó el vídeo y la ubicación en relación con el incendio.

3.2. Datos de la posición de lanzamiento de las radiosondas

Existen otros datos asociados a los lanzamientos de radiosondas que no proporcionan información sobre el perfil vertical de la atmósfera, pero que también son importantes para el análisis de los EWEs.

Tabla 3. Formato y unidades de los datos recopilados por la radiosonda.

Variable	Formato / unidades	Observaciones
Fecha y hora de lanzamiento	DDMM - hhmm	Importante para registrar el día y la hora exactos de lanzamiento. Los da la radiosonda.
Ubicación del frente del incendio	Coordenadas UTM	Lo más preciso posible en el momento del lanzamiento. Puede tomarse de los perímetros horarios.
Posición de lanzamiento (GPS)	Coordenadas UTM	Información sobre la ubicación de lanzamiento de la radiosonda. Dada por la radiosonda.
Posición de lanzamiento en relación con el incendio forestal	- Cola - Flancos - Cabeza - Control	Lo más detallado posible.

3.3. Datos de las condiciones atmosféricas

Estas variables deben recogerse desde el nivel de la superficie y también a lo largo del perfil vertical de la atmósfera, desde la superficie hasta la parte superior de la atmósfera.

Tabla 4. Formato y unidades de las variables de las condiciones atmosféricas.

Variable	Formato / unidades	Observaciones
Altitud	Metros (m)	Las radiosondas miden sobre el nivel del mar (MSL) y sobre el nivel del suelo (AGL).
Presión atmosférica	Pascales (Pa)	Recogidos tanto de radiosondas como de barómetros de superficie/estaciones meteorológicas.
Temperatura del punto de rocío	Grados Celsius (ºC)	Recogidos tanto de radiosondas como de termohigrómetros/estaciones meteorológicas de superficie.
Humedad relativa	Porcentaje (%)	Recogidos tanto de radiosondas como de higrómetros de superficie/estaciones meteorológicas.
Temperatura	Grados Celsius (ºC)	Recogidos tanto de radiosondas como de termómetros de superficie/estaciones meteorológicas.
Velocidad vertical	Metros por segundo (m/s)	Recogidos de radiosondas.
Dirección del viento	Grados (º)	Recogidas tanto de radiosondas como de estaciones anemométricas/meteorológicas de superficie.
Rachas de viento	Metros por segundo (m/s)	Recogidas tanto de radiosondas como de estaciones anemométricas/meteorológicas de superfície.

4

4. Herramientas de recogida de datos

Las secciones 2 y 3 del documento describen los datos que deben recogerse en un incendio forestal y su formato para introducirlos en la base de datos, garantizando la homogeneidad de los datos. La sección 4 define algunas de las herramientas que pueden utilizarse para estos fines.

4.1. Perfiles verticales atmosféricos

Los datos sobre el perfil vertical de la atmósfera pueden adquirirse tanto a partir de modelos como de mediciones reales, que pueden ser sondeos atmosféricos realizados por estaciones meteorológicas o radiosondas atmosféricas lanzadas en incendios forestales. La información procedente de los modelos es útil para analizar y conocer la previsión para las próximas horas, mientras que las radiosondas sirven para conocer la realidad de la atmósfera en un momento dado sobre el terreno. Además, las radiosondas, cuando se lanzan en una zona que se está quemando, permiten recoger datos para analizar la interacción entre el fuego y la atmósfera.

4.1.1. Radiosondas atmosféricas

Figura 5. Equipo de lanzamiento de radiosondas. Reference: Windsond

Las radiosondas que proporcionan la información más relevante son las lanzadas en la zona del incendio (ya sea dentro de la columna de humo o como radiosonda de control), ya que permiten recoger información que ni los modelos ni las radiosondas de las estaciones meteorológicas muestran.

A continuación, se describen algunas características de estos instrumentos. Los materiales necesarios, la ejecución y el procedimiento técnico de los lanzamientos se describen detalladamente en el *Anexo 1 Metodología de recogida de datos con radiosondas en incendios forestales.*

Como se ha mencionado en la sección 'Antecedentes', la primera vez que se lanzaron radiosondas en columnas de humo de incendios forestales fue durante la temporada de incendios de 2021 en Cataluña **[2]**. A pesar de que existen otras tecnologías para recopilar datos sobre sus características, como el Lidar Doppler y el Radar Doppler **[1][6]**, la decisión de utilizar las radiosondas se debe a dos razones principales. En primer lugar, el elevado coste de las tecnologías Radar y Lidar, muy superior al precio de las radiosondas. En segundo lugar, aunque las herramientas Radar y Lidar ofrecen información detallada de la columna, especialmente en la identificación de las corrientes verticales dentro de la columna, no capturan datos meteorológicos, como la humedad relativa o la velocidad del viento, que son cruciales para el análisis del EWE. Esto podría solucionarse utilizando radiosondas en helicópteros o drones, pero éstas sólo son útiles para recoger datos del entorno, no del interior de la columna. Además, esta opción no permite obtener datos sobre la velocidad vertical en el interior de la columna de humo, que es un dato muy importante en la investigación de los EWEs.

Además de estas dos razones, las radiosondas lanzadas desde tierra tienen otras características que las hacen útiles para analizar las columnas de humo de los incendios forestales. Son ligeras y no requieren grandes equipos, por lo que facilita el desplazamiento del equipo de lanzamiento dentro del incendio. Además, el procedimiento de lanzamiento y control de la radiosonda es relativamente sencillo, y el software utilizado es intuitivo, lo que facilita la lectura de los datos. El formato de exportación de los datos permite trabajar muy fácilmente con una amplia gama de productos. También es importante señalar que, en función de las características meteorológicas y del terreno y de la gestión del lanzamiento, las radiosondas pueden recuperarse y reutilizarse.

En el proyecto FIRE-RES se han identificado las aportaciones clave para el análisis de datos atmosféricos utilizando nuevos conocimientos y experiencia sobre los EWEs y los resultados pueden consultarse en el documento D1.4, disponible en la sección **FIRE-RES, entregas e informes**, de la página web del proyecto.

También incluye algunas consideraciones sobre las herramientas actualmente disponibles para el seguimiento de los EWEs y las más adecuadas para hacerlo.

Para conocer el perfil vertical de la atmósfera real, también se dispone de datos de sondeos reales de varios observatorios europeos, que suelen lanzar al menos dos sondas al día. Esta información se presenta a menudo en gráficos skew-T y está actualizada al último lanzamiento de cada estación. Aunque la cobertura de estos datos puede no ser muy detallada debido al número limitado de estaciones en los distintos países, proporciona datos fiables y reales que ofrecen una visión de las condiciones atmosféricas generales. El siguiente sitio web reúne la mayoría de las mediciones realizadas en Europa: **Meteociel, radiosondas de Europa**.

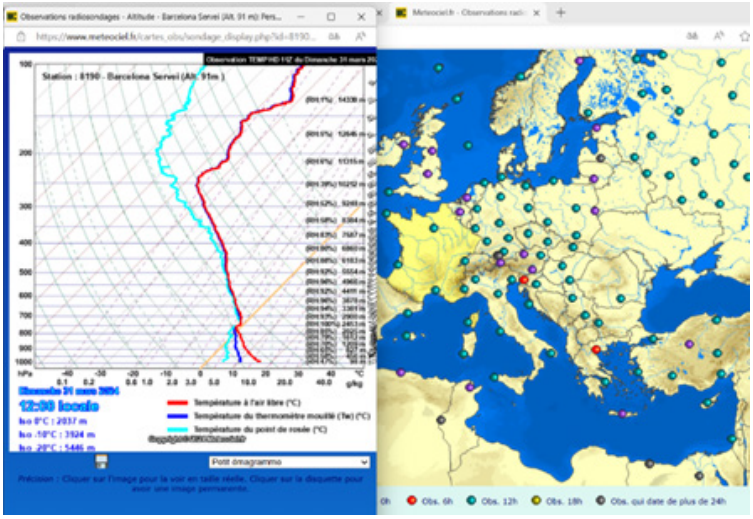


Figura 6. Interfaz de radiosondeos de Meteociel con estaciones de radiosondas y ejemplos de datos.

4.1.2. Modelos de perfil vertical de la atmósfera

Aunque los modelos meteorológicos del perfil vertical de la atmósfera, en determinadas condiciones, y especialmente por debajo del tope de la ABL, proporcionan datos que en algunos casos no se corresponden con la realidad, son útiles para conocer las condiciones que se pueden esperar durante el día. Por ello, como se ha explicado anteriormente, es importante lanzar radiosondas de control para verificar la información de estos modelos.

Estos gráficos son relativamente fáciles de leer para todo tipo de usuarios y contienen una gran cantidad de información. En las siguientes páginas web se pueden consultar los datos del perfil vertical atmosférico seleccionando tanto el modelo como el lugar de previsión:

- **Windy**
- **Tropical Tidbits**
- **Pivotal Weather**

4.2. Condiciones en la superficie

Los datos meteorológicos de superficie pueden obtenerse tanto sobre el terreno por los propios bomberos como de la red nacional de estaciones meteorológicas. Los primeros suelen proporcionar información sobre el entorno afectado por el incendio forestal, mientras que las estaciones meteorológicas recogen datos más generales que describen la situación general. Las variables más fiables son:

- Temperatura (ºC)
- Punto de rocío (ºC)
- Humedad relativa (%)
- Rachas de viento (m/s)
- Dirección del viento (grados)

Por otra parte, algunos datos sobre el comportamiento del fuego en superficie pueden recogerse sobre el terreno, tanto en el lugar de lanzamiento de la radiosonda como en otras partes del incendio forestal. Una de las variables más utilizadas para comprender el comportamiento del fuego en los incendios forestales es la **longitud de la llama (m)**, que se calcula midiendo la distancia desde la base de la llama hasta la parte superior de la misma. No debe confundirse con la altura

de la llama, que es la distancia de la parte más alta de la llama desde el suelo. Esto es importante porque si la velocidad del viento es de moderada a alta, el valor energético de la llama (así como su longitud) será muy alto, aunque la altura de la llama sea baja.

Es esencial recoger datos sobre la longitud media de la llama a lo largo del incendio y en los distintos puntos (cabeza y flancos), así como la longitud máxima de la llama registrada.

Figura 7. Left: Definición de longitud de llama. Referencia: The Emergency Program (TEP). | Right: Definición del ancho y la profundidad del frente de fuego en una imagen Sentinel 2 del incendio forestal de Ávila (Agosto 2021, España). Referencia: SentinelHub.

Para utilizar los modelos y algoritmos de la base de datos también es necesario recopilar datos sobre l**a anchura y la profundidad del frente de fuego (m)**. Para ello pueden ser útiles las imágenes georreferenciadas tomadas por los medios aéreos de extinción. Esta información permite comprender la superficie total que arde en un momento determinado, lo que puede correlacionarse con la cantidad de calor emitida por el incendio. Esta emisión de calor, denominada flujo de masa, es una variable crucial para comprender los procesos de piroconvección.

Además de la necesidad de que las imágenes están georreferenciadas, ya que es la única forma de calcular estas variables mediante sistemas de información geográfica (SIG), también es necesario identificar la hora en la que se tomaron las imágenes e incluir esta información en el nombre del archivo.

A partir de los perímetros horarios de los incendios, se puede calcular **la velocidad de crecimiento (ha/h)**, lo que permite cuantificar el impacto de las carreras del incendio. **La velocidad de propagación (ROS, m/h)** también puede obtenerse a partir de la definición de las isócronas. Por esta razón, es necesario trazar las isócronas con la mayor precisión posible.

4.3. Disponibilidad de combustible e índices de riesgo de incendio

Para determinar la disponibilidad del combustible y el riesgo de incendio pueden utilizarse diversos índices de riesgo de incendio y sequía elaborados a escala nacional. Sin embargo, para homogeneizar los datos en el proyecto, sería necesario que esta información procediera de la misma fuente y en el mismo formato. Por este motivo, se recomienda el uso de **la plataforma EFFIS** del programa Copernicus de observación y vigilancia de la Tierra de la Unión Europea para la recogida de datos sobre la disponibilidad de los combustibles y los índices de riesgo de incendios.

Este programa ofrece dos aplicaciones destacadas. Una es el Visor de Situación Actual (**EFFIS - Wildfire Current Situation**), que permite acceder a diversos índices de riesgo a escala mundial, como el Índice meteorológico de incendios (Fire Weather Index, FWI), el Índice de sequía (Drought Code, DC), el Contenido de humedad del combustible fino (Fine Fuel Moisture Content, FFMC) entre otros, así como a los datos de anomalías de estos índices. También ofrece una representación gráfica de la evolución de estos índices en los últimos días. Además, incluye datos sobre poblaciones habitadas, espacios naturales protegidos, usos del suelo y mapas de combustibles forestales, así como acceso a los puntos calientes de MODIS y VIIRS. También permite buscar datos para fechas concretas, lo que resulta útil para el análisis a posteriori de los incendios forestales.

La otra aplicación es el Visor de riesgo de incendios forestales (**EFFIS - Fire Risk Viewer**), que proporciona acceso a la visualización y descarga de datos sobre riesgo de incendios forestales, amenaza y vulnerabilidad de los países europeos.

5

5. Lecciones aprendidas del proceso de recogida de datos

A continuación, se presentan las principales lecciones aprendidas y recomendaciones para mejorar el proceso de recopilación de datos en EWEs, que se han derivado de la aplicación de esta metodología para la recopilación de datos en incendios forestales desde 2021 por los Bombers de la Generalitat, y de las ideas compartidas por los socios del proyecto.

5.1. Experiencias previas

Como se describe en el apartado 'Antecedentes', esta metodología de recogida de datos sobre el perfil vertical de la atmósfera en incendios forestales se inició en Cataluña durante la campaña de incendios de 2021 por los Bombers de la Generalitat, concretamente por las unidades GRAF. Durante estos tres años, además de en los incendios forestales de Cataluña, también se ha utilizado en otras zonas de España y durante la campaña de incendios de Chile 2023.

Figura 8. Imágenes del lanzamiento de las radiosondas en Cataluña. Referencia: CFRS.

Del 12 al 14 de marzo de 2024, los socios del proyecto EWED y algunos colaboradores externos, participaron en un taller sobre el uso de radiosondas para recoger datos en tiempo real durante los incendios forestales. El taller se impartió en Manresa, Cataluña. La actividad principal del taller fue, durante una quema prescrita en Can Feliu 2, Cardona, la práctica de lanzamiento de radiosondas y el posterior procesado de los datos recogidos. Esta práctica se realizó en una quema prescrita para simular columnas de humo similares a las de un incendio y observar el tipo de datos que se pueden recoger.

Figura 9. Lanzamiento de radiosondas por parte de los socios del proyecto durante el Taller de Cataluña en Can Feliu 2 PB. Referencia: PCF.

Los participantes identificaron además los puntos clave para el diseño conjunto de la base de datos, con la participación tanto de profesionales como de investigadores en materia de incendios forestales, a fin de garantizar que sea fácil de utilizar por los usuarios finales. También se debatieron los métodos y datos necesarios para alimentar la base de datos, y se testeó el documento del Anexo 1 sobre el protocolo para el lanzamiento de radiosondas atmosféricas en incendios forestales.

Figura 10. Discusión sobre el uso y operación de radiosondas durante el taller de Cataluña en la estación de bomberos de Manresa. Referencia: PCF.

5.2. Lecciones aprendidas y recomendaciones

De la experiencia adquirida en el uso de esta metodología durante estos tres años, junto con el intercambio y ejercicio práctico en el taller de Cataluña, se han derivado algunas recomendaciones para asegurar una recogida de datos útil, especialmente en relación con el uso de radiosondas.

Es importante analizar cómo se comportará el fuego para decidir el lugar de lanzamiento más adecuado. También es importante estar atento a posibles cambios en el comportamiento analizando continuamente la situación. Antes de lanzar una radiosonda, es clave saber cómo se está comportando el incendio y aproximarse a cómo se comportará en los próximos instantes para decidir el lugar de lanzamiento. Por ello, es importante contar con capacidades de análisis del comportamiento del incendio, ya sea directamente por el equipo realizando el lanzamiento o con el apoyo de un equipo de análisis.

La ubicación de lanzamiento de la radiosonda, tanto en incendios forestales como en quemas prescritas, tiene un impacto directo en los datos recogidos **[2]**. Se trata de un aspecto que debe tenerse en cuenta, ya que esta ubicación también está relacionada con las consideraciones de seguridad que deben evaluarse. Será necesario evaluar siempre con frecuencia el riesgo asumible, la seguridad y el conocimiento de la situación, evitando que el despliegue del equipo de lanzamiento y la preparación de las radiosondas no distraiga de los riesgos potenciales, las condiciones del entorno y su evolución.

El propósito de este documento no es entrar en las capacidades y habilidades que se recomiendan para un analista de incendios (Fire Analyst, FA) o un equipo de FAs. Se puede encontrar más información en el entregable del proyecto AFAN: *Guidelines of fire analyst competencies and skills* **[3]** (competencias básicas que permiten al FA o al equipo de FAs proporcionar apoyo en un incendio forestal). Esta guía esboza las competencias necesarias de forma genérica y armonizada describiendo las necesidades organizativas compartidas y los puntos en común agrupándolos en 6 áreas: el impacto de la meteorología en el comportamiento del fuego (MET), posición del fuego (POS), comportamiento del fuego (behaviour, BEH), patrones de propagación del fuego (PAT), planificación táctica (Tactical Planning, TP), y estrategia y conocimiento del escenario (Strategy and sCenario Awareness, SCA). También ofrece ejemplos de tareas para cada uno de ellos.

Si el incendio permanece activo a última hora de la tarde, es importante lanzar una radiosonda a la hora de **la puesta de sol**. Los datos recogidos por esta radiosonda nos permitirán saber si la estructura de la atmósfera es propensa a un EWE durante la noche. Así, estos datos serán útiles para predecir e identificar los posibles comportamientos nocturnos esperados del incendio y facilitarán la toma de decisiones y la definición de estrategias.

También es interesante realizar **lanzamientos múltiples de radiosondas**, es decir, lanzar más de una radiosonda en un momento y lugar, si las condiciones del incendio y el equipo lo permiten. Dentro de la columna de humo, las diferentes radiosondas no siguen la misma trayectoria, y las condiciones atmosféricas pueden ser diferentes en distintos puntos de la columna de humo. Esto nos permite obtener datos más detallados sobre las condiciones de la columna de humo y, por tanto, realizar mejores simulaciones. Cuantos más datos se recojan sobre la columna de humo, más se acercará el modelo a la realidad.

Por debajo de la capa límite atmosférica, las radiosondas proporcionan información valiosa porque los modelos no suelen ser del todo precisos en esta zona, especialmente en el caso de los incendios forestales, que provocan cambios en esta capa. Por encima de la capa límite atmosférica, los datos de los modelos meteorológicos son fiables en la mayoría de los casos. Esta consideración implica que, a la hora de lanzar y monitorizar radiosondas, es necesario saber cuándo se puede detener la radiosonda, puesto que la información recogida ya es útil. Saber cuándo detener la radiosonda depende de varios factores, pero hay algunos puntos que pueden ayudar a tomar la decisión.

Por lo tanto, es necesario que la radiosonda alcance la parte superior de la capa límite atmosférica y, si es posible, continúe ascendiendo al menos hasta algunos metros por encima del nivel de condensación por ascenso (LCL) previsto en los modelos diarios. Por lo tanto, es importante conocer el perfil vertical de la atmósfera previsto para ese día y lugar. También es importante saber identificar la turbulencia en los datos para leerlos correctamente y evitar conclusiones falsas, que normalmente se presentan como cambios erráticos en los datos. Para identificar esta altura en la capa límite atmosférica máxima, se pueden considerar algunas situaciones en los gráficos de datos:

- La humedad relativa tenderá a un máximo y, a continuación, empezará a disminuir.
- Hay una disminución significativa de la velocidad vertical. Estas radiosondas ascienden normalmente a unos 2-3 m/s. Velocidades por debajo de este rango podrían considerarse un ascenso lento.

Es importante saber reconocer estos cambios en los gráficos de la sonda lanzada, y es útil tener una idea de cuándo se puede cortar el ascenso de la radiosonda. También hay que recordar que es necesario hacer un seguimiento adecuado de la radiosonda para planificar bien su lugar de aterrizaje y facilitar su recuperación, aunque la situación no siempre lo permita.

6

6. Conclusiones

Este documento establece unas directrices claras y uniformes para la recogida de datos durante los incendios forestales. Estas pautas garantizan que todos los profesionales del sector de los incendios forestales que recojan datos puedan utilizar la misma metodología y el mismo formato de datos, independientemente de la organización o del país en el que se produzca el incendio forestal.

Al estandarizar la recogida de datos, se facilita el acceso e intercambio de información valiosa para los investigadores y los responsables de la toma de decisiones en situaciones de emergencia por incendios forestales. La disponibilidad de datos coherentes en la base de datos resultante del proyecto EWED permitirá un análisis eficaz y un seguimiento en tiempo real de los incendios forestales, mejorando así la capacidad de respuesta estratégica.

Además, al proporcionar una plataforma abierta para la recopilación e intercambio de datos sobre los EWEs, este documento promueve el avance en la investigación y la generación de conocimientos sobre los incendios forestales extremos. Los datos recopilados no solo sirven para la toma de decisiones operativas, sino también para el desarrollo de modelos y algoritmos que mejoren la comprensión de estos fenómenos.

A parte de para los socios del proyecto, este documento también está diseñado para orientar a los profesionales del sector que deseen contribuir a la base de datos. De este modo se garantiza que los datos recopilados satisfacen las necesidades de la base de datos y se fomenta una colaboración más amplia y eficaz en la investigación de los incendios forestales extremos.

En resumen, este documento establece un marco sólido para la recopilación y estandarización de datos durante los grandes incendios forestales extremos, con el objetivo último de mejorar la respuesta a estos eventos y avanzar en el conocimiento científico sobre los mismos.

7

7. Referencias

[1] Aydell, T. B., & Clements, C. B. (2021). Mobile Ka-Band Polarimetric Doppler Radar Observations of Wildfire Smoke Plumes. Monthly Weather Review, 149(5), 1247-1264. https://doi.org/10.1175/MWR-D-20-0198.1

[2] Castellnou, M., Bachfischer, M., Miralles, M., Ruiz, B., Stoof, C. R., & Vilà-Guerau de Arellano, J. (2022). Pyroconvection Classification Based on Atmospheric Vertical Profiling Correlation With Extreme Fire Spread Observations. Revista de Investigación Geofísica: Atmospheres, 127, e2022JD036920. https://doi.org/10.1029/2022JD036920

[3] Castellnou, M.; Miralles, M.; Nebot, E., Estivill, L.*Guidelines of fire analyst competencies and skills. AFAN Project (2021).*

[4] Castellnou, M., Nebot, E., Estivill, L., Miralles, M., Rosell, M., Valor, T., Casals, P., Duane, A., Piqué, M., Górriz-Mifsud, E., Coll, L., Serra, M., Plana, E., Colaço, C., Sequeira, C., Skulska, I., Moran, P. (2022). *FIRE-RES Transferencia de lecciones aprendidas sobre incendios forestales extremos a las principales partes interesadas. Deliverable D1.1 FIRE-RES project. 119 pages.*

[5] Castellnou, M., Prat-Guitart, N., Arilla, E. et al. (2019). *Empowering strategic decision-making for wildfire management: avoiding the fear trap and creating a resilient landscape. Fire Ecology 15, Artículo nº 31.* https://doi.org/10.1186/s42408-019-0048-6

[6] Lareau Neil P., Clements Craig B., Kochanski Adam, Aydell Taylor, Hudak Andrew T., McCarley T. Ryan, Ottmar Roger. (2024). *Observations of a rotating pyroconvective plume. International Journal of Wildland Fire 33, WF23045.* https://doi.org/10.1071/WF23045

[7] Tedim, Fantina & Leone, Vittorio & Amraoui, Malik & Bouillon, Christophe & Coughlan, Michael & Delogu, Giuseppe & Id, † & Fernandes, Paulo & Ferreira, & Mccaffrey, Sarah & McGee, T. & Parente, Joana & Paton, Douglas & Pereira, Mário & Ribeiro, Luis & Viegas, Domingos & Xanthopoulos, Gavriil. (2018). *Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts. Fire. 1. 9.* https://doi.org/10.3390/fire1010009

Anexo

1

1. Metodología de recogida de datos con radiosondas en incendios forestales

Este documento describe detalladamente los pasos a seguir para realizar un radiosondeo utilizando radiosondas Windsond.

Windsond dispone de un manual de usuario en inglés con información detallada sobre el uso de las radiosondas. Se puede encontrar en la siguiente página web: *https://files.sparvembedded.com/windsond_manual_2.1.pdf*

No obstante, a continuación, se desarrollan algunos puntos, se añaden imágenes y se detalla el procedimiento a seguir con todo el material. Algunas de las imágenes y puntos incluidos en este documento proceden también de este manual, en el que se indica la referencia.

Al final de este documento hay un resumen/lista de comprobación con los pasos (sin explicación ni imágenes) para repasar rápidamente las tareas que hay que realizar.

Datos que deben recogerse

Los datos que se pueden obtener son los siguientes:

- Velocidad y dirección del viento en diferentes niveles atmosféricos.
- Temperatura y humedad relativa.
- Altitud de la radiosonda.
- Velocidad de ascenso.
- Distancia receptor-radiosonda.
- % de recepción de la señal.
- Punto de rocío.
- Presión atmosférica.
- Trayectoria de la radiosonda, posición GPS.

Materiales

A continuación, se describe el equipo necesario para realizar los lanzamientos:

Materiales para radiosondas: (A) Radiosondas, globos, antena, cargadores de baterias. Referencia: https://sparvembedded.com/products/windsond . (B) Botellas de helio: Dräger 6 litros. Referencia: Botella Dräger de acero 6L | Prolaboral. (C) Receptor y cable. Referencia: https://sparvembedded.com/products/windsond.

Las marcas identificadas en esta sección no tienen que ser necesariamente las que se utilicen, siempre que las alternativas ofrezcan prestaciones equivalentes.

Elementos del equipo de radiosonda:

- Radiosondas
- Globos
- Baterías 75mAh
- Estación de tierra:
    - Antenas (estación individual larga y corta)
    - Receptor de radio
    - Cable de conexión al ordenador/tableta
    - Cargador de batería
- Bombona de helio con reductor de presión

En la página web de Windsond se detallan las especificaciones técnicas de las radiosondas: https://sparvembedded.com/products/windsond

Elementos adicionales que facilitan el lanzamiento y el movimiento/preparación de la estación de tierra:

- Vehículo operativo.
- Ordenador portátil o tableta (debe tener sistema Windows).
- Inversor para conectar al vehículo o a la batería que permite la carga continua del ordenador.
- Emisoras.
- Material de reparación para las radiosondas: hilo, gomas, cinta aislante, etc.
- Conexión a Internet.
- Caja para todo el material.

Proceso general de recogida de datos

Para la recogida de datos de perfiles atmosféricos verticales mediante radiosondas, deben seguirse algunos pasos para garantizar el éxito del lanzamiento. Estos se describen a continuación:

1. La decisión del lugar de lanzamiento debe basarse en la situación meteorológica prevista para el día y en las condiciones del incendio, y debe tomarse lo más cerca posible de la hora adecuada para el lanzamiento.

2. Comprobación de los elementos del equipo y verificación de que las baterías están cargadas.

3. Pasos para la preparación y el lanzamiento.

a) Preparación de la estación de tierra
b) Activación de la radiosonda
c) Proceso de estabilización de la radiosonda
d) Lanzamiento
e) Vuelo de radiosondas y recepción de datos
f) Seguimiento a distancia de la radiosonda
g) Corte del hile que une la radiosonda al globo
h) Aterrizaje de radiosonda en superfície

Es importante obtener datos de fuera del área de influencia del incendio o de la quema prescrita para compararlos con los obtenidos de la columna de humo. Para ello, es posible lanzar una radiosonda, antes o después del lanzamiento de la radiosonda principal en un lugar separado en caso del incendio forestal o antes de la quema prescrita. También es posible basarse en los datos durante el descenso de la radiosonda siempre que esté lo suficientemente lejos del incendio o de la quema prescrita. Sin embargo, sólo se recomienda si el lanzamiento de control no es posible. Utilizar el descenso de la radiosonda para obtener datos medioambientales puede no ser útil porque la radiosonda no abandona la zona de influencia y es posible que se pierda la conexión del *radiolink*, impidiendo la recogida de datos.

4. Recuperación de radiosondas.

Los datos están disponibles en la estación de tierra desde el momento inicial del lanzamiento, siempre que la conexión del *radiolink* sea suficiente. Además, la recuperación de la radiosonda permite reutilizarla para otros lanzamientos. Si partimos del momento en que la radiosonda ha tocado el suelo:

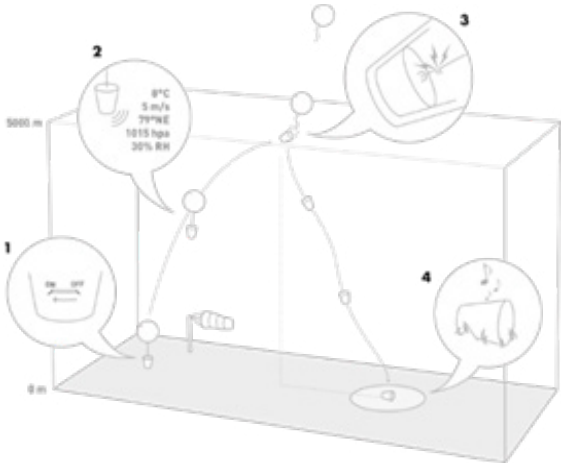
1. Localización inicial del lugar de aterrizaje a través del dispositivo a distancia.

2. Desplazamiento al lugar de aterrizaje de la radiosonda.

3. Conexión con la radiosonda para tratar de estar lo más cerca posible para ajustar la ubicación inicial.

4. Recuperación de la radiosonda.

Los pasos para los puntos 3 y 4 del proceso general de recogida de datos son los siguientes:



Pasos para el lanzamiento de radiosondas. Referencia: Windsond.

Selección del lugar de lanzamiento

Uno de los puntos clave del lanzamiento de las radiosondas es la determinación de la zona de lanzamiento. Será necesario evaluar siempre el riesgo asumible, la seguridad y el conocimiento de la situación en todo momento, evitando que el despliegue de la Estación Terrestre y la preparación de las radiosondas no distraiga del conocimiento del riesgo, las condiciones del entorno y su evolución.

Equipo de lanzamiento (personal)

Aunque no es imprescindible, se recomienda que sean dos personas las que realicen el lanzamiento. El binomio garantiza una mayor consciencia de la situación. En el caso de utilizar un vehículo, un equipo de 2 personas permite tener a una persona en el vehículo comprobando la conexión, la recepción de datos, etc., mientras que la otra persona puede desplazarse para buscar un punto de lanzamiento más adecuado (próximo a la zona de interés, zona abierta, etc.).

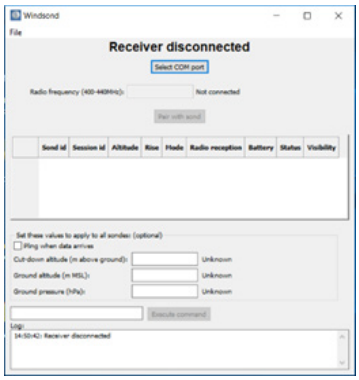
Pasos para el lanzamiento de la radiosonda

A. Configuración de la estación de tierra

1. Enciende el ordenador/tableta e inicia el software Windsond

- **Alimentación eléctrica:** Asegurar la alimentación con un inversor conectado al coche o con una batería externa.
- **Conexión a internet:** Comprueba la conexión a Internet.

2. Abrir el software WINDSOND



3. Comprueba que la configuración es correcta («Ajustes»): ve a Archivo > pestaña Ajustes.

El programa debe dejarse abierto para recibir los datos de la radiosonda. Se abrirá una ventana específica para cada radiosonda, pero la gestión general se realiza desde la vista general.

- La ventana de aplicación indica «Windsond» en la portada.
- La ventana de cada radiosonda indica el código de la radiosonda en la parte superior del panel.

La configuración habitual se muestra en la imagen siguiente:

Activar ***Multiple sonds view: Enable***

Cambiar el valor de ***'Top report height (m AGL)'*** si es necesario.

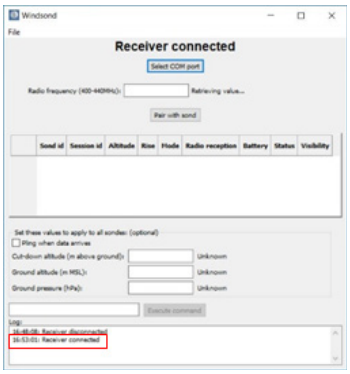
4. Conectar el receptor y las antenas

4.1. Conecta las 2 antenas al receptor, y el receptor al ordenador mediante el cable de salida USB.

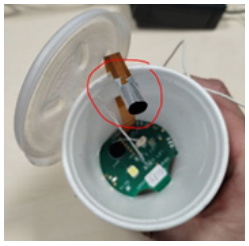
4.2. Conecta el cable USB del receptor al ordenador. Se encenderá un led verde.

4.3. Pulsa el botón de encendido del receptor para encenderlo. Se encenderán 2 LED verdes.

4.4. Comprueba que la conexión entre Windsond y el receptor es correcta:



B. Preparación de radiosondas



1. Saca el sensor de la radiosonda de la taza:

¡Ten cuidado! Evita tocar la radiosonda, es la parte más sensible del dispositivo.

2. Conecta la batería cargada

Conecta la batería a la placa (no es necesario poner el velcro, siempre que esté suficientemente separada de la resistencia). ¡Recuerda! ¡La conexión tiene una posición específica que le permite conectarse! La verificación de baterías cargadas es mejor haberla hecho antes (ver punto final de este apartado).

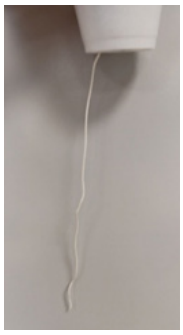
Si la batería está completamente cargada mostrará un voltaje de 4,1-4,2 V en el programa. El voltaje completamente descargado es de 3,3 V. Por lo tanto, la radiosonda se reducirá a este nivel de tensión.

[Referencia: *https://files.sparvembedded.com/windsond_manual_2.1.pdf*]

3. Identificar la radiosonda

En el interior del vaso y en la placa base, hay un número en una etiqueta blanca que sirve para identificar la radiosonda.

4. Asegúrate de que el nudo del hilo quede fuera de la taza.

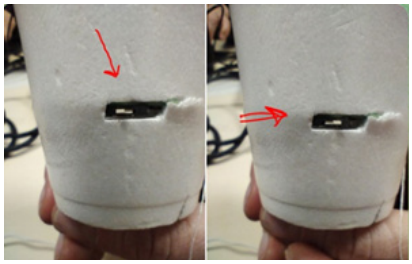


Esto evita que al cortar el hilo (acción de *cut-down*), el nudo obstruya el orificio en la tapa del recipiente, impidiendo que el globo y la radiosonda se separen. En este caso, se perdería la radiosonda hasta que el globo se desinfle o caiga en un lugar que no controlado.

5. Estirar la antena

La antena es un filamento blanco que sale de la parte inferior del vaso y que normalmente se mantiene plegado en un lado cuando viene empaquetada de origen. Es importante asegurarse de que está bien estirada y desplegada.

6. Encender la radiosonda



Mueve el botón lateral. Cuando la radiosonda se enciende, emite un sonido y el led blanco del interior de la radiosonda se enciende haciendo un destello de luz que se puede ver situado en la placa base del interior de la radiosonda.

Comprobación de baterías cargadas

Es mejor haber comprobado las baterías antes del lanzamiento. Pero en este momento, también se pueden comprobar utilizando el cargador de baterías. Si el led del cargador está en verde, la batería está cargada. Si está rojo, la batería está descargada y se está cargando en ese momento.

Se cargan con el adaptador-cargador vía USB a cualquier ordenador/cargador.

Según el fabricante, la batería dura entre 2 y 4 horas (*Radiosonde – Windsond - FAQ | Sparv Embedded*), pero se ha comprobado que este tiempo se reduce a 3 horas cuando se han cargado muchas veces.

Según el manual de Windsond, 30 minutos son suficientes para una carga completa.

7. Comprobación de sonidos

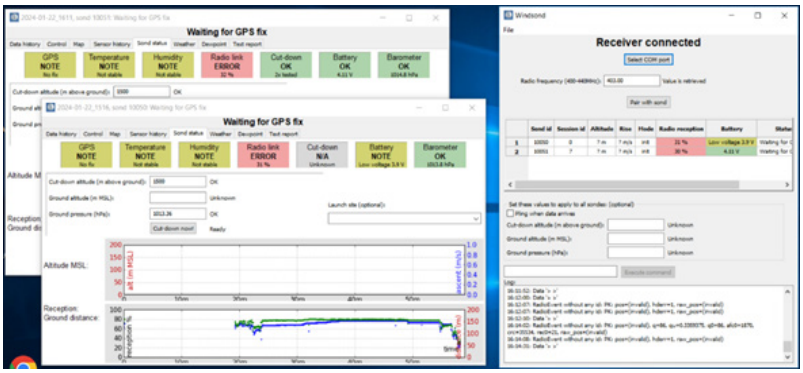
7.1. Un sonido inicial de dos tonos graves al encender el dispositivo. Si esto no ocurre, la carga de la batería es demasiado baja, incluso para mediciones a baja altitud.

7.2. Sonido más bajo que el primero que se detendrá cada pocos segundos, para indicar que aún no está lista para el lanzamiento. Antes de que la radiosonda pueda lanzarse, tiene que adquirir la señal GPS y conectar con el programa de la estación de tierra.

7.3. Entre medio minuto y dos minutos, la radiosonda emite una serie de pitidos ascendentes y luego emite dos pitidos cortos, seguidos de pitidos agudos cada pocos segundos. Esto significa que la radiosonda está lista para despegar en cualquier momento.

8. Comprueba las radiosondas y la conexión del receptor de antena

Una vez conectada la radiosonda (paso 6), se abre automáticamente una nueva ventana en la pantalla del ordenador:



Se abrirán tantas ventanas como radiosondas haya encendidas. En la imagen anterior hay dos radiosondas activadas (parte izquierda de la imagen). Estas aparecen en la lista del programa Windsond (parte derecha de la imagen).

Antes de iniciar el lanzamiento de la radiosonda es necesario comprobar lo siguiente:

1. Comprueba el número de radiosondas (en rojo)
2. Todas las variables que miden parámetros deben estar en verde (en verde)
3. Estado de la batería. Espera un poco y, si no mejora, cambia la batería. **Mínimo 3.9V (bajo voltaje)**, por debajo de este valor, la batería debe ser reemplazada (en azul).
4. *Radiolink* superior al 70%

El *radiolink* asume que la radiosonda comienza a menos de 5 metros de la antena receptora. Según el fabricante, en posiciones de inicio más alejadas funciona igual de bien, pero el sistema notificará una recepción baja. Según el fabricante, esto es normal.

9. Inflar el globo con 30 l de helio

Si se van a recoger y analizar muchos datos, es aconsejable utilizar siempre el mismo tipo de globo, para que haya igualdad en la forma de tomarlos.

El globo se infla con el recipiente de helio utilizando el manorreductor (válvula reductora de presión). Ten cuidado de colocar el globo bien ajustado a la salida del manorreductor para no perder gas.

Infla el globo hasta que tenga un diámetro de unos 50 cm.

Los globos de fiesta estándar son demasiado pequeños y ascienden a poca velocidad. Los globos de fiesta grandes funcionan bien, pero deben ser de unos 30 cm. Se necesitan unos 30 l de helio. (las botellas etiquetadas como "helio para globos" son de baja pureza y algo menos eficientes) [Referencia: *Radiosonde – Windsond - FAQ | Sparv Embedded*].

Balloon weight (g)	Diameter (cm)	Circumference (cm)	Volume (liters)	Rise speed (m/s)	Recommended for
9	40	123	30	2	< 5 000 m
17	54	143	83	2	5000 – 8000 m

Ejemplos de velocidades de ascenso para diferentes globos y contenido de gas.
Referencia: https://files.sparvembedded.com/Windsond_sounding_guide_v5.pdf .

Consejo: se puede utilizar un lazo de cuerda preenlazado para medir la circunferencia, o simplemente estimar el diámetro. La cantidad de gas no es exacta, pero si hay demasiado gas, puede hacer que el globo caiga antes de alcanzar la altitud objetivo, y demasiado poco gas ralentizará la velocidad de ascenso, haciendo que la radiosonda se aleje demasiado. [Reference: *https://files.sparvembedded.com/Windsond_sounding_guide_v5.pdf*]

Como referencia, un globo de 9 gramos de diámetro inflado a 40 cm o una circunferencia de 123 cm tiene un volumen de 30 l y una capacidad de elevación de 2 m/s^2.

En el caso de utilizar helio para globos de fiesta, hay que tener en cuenta que éstos tienen una baja pureza lo que implica que la capacidad de elevación es menor.

El globo se expandirá a medida que ascienda, ya que la presión del aire disminuye con la altitud. A 5500 m de altitud, la presión se reduce a la mitad y el globo tiene el doble de volumen. Inflar demasiado el globo puede provocar su rotura antes de alcanzar la altitud máxima. El globo de 9 gramos puede contener unos 80 l antes de caer.

10. Atado de la radiosonda al globo

Es necesario dejar una longitud mínima de **5 m de hilo entre el globo y la radiosonda.**

11. Colocación de la radiosonda y las antenas

Las antenas con que llevan el cable largo pueden colocarse en la parte superior del vehículo porque tienen imanes para sujetarse.

Para garantizar la transmisión de datos, es necesario:

- Mantener la antena lo más recta y vertical posible.
- Las antenas deben estar al mismo nivel o por debajo de la altura a la que se lanza de la radiosonda, para que haya suficiente *radiolink*, y sin espacios entre ellas para asegurar un *radiolink* constante. Sin *radiolink* no se reciben datos.

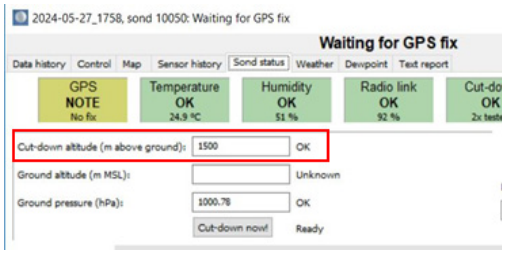
Cuando la radiosonda asciende, busca el receptor en la última frecuencia registrada durante 5 segundos. Si no se detecta el receptor, la radiosonda empieza a alternar entre una frecuencia predefinida (434,00 MHz) y la última frecuencia registrada. Cuando se enciende una nueva radiosonda o cuando la radiosonda reconoce una nueva frecuencia, aparecerá automáticamente una ventana con la información de la radiosonda y los botones.

Si esto no ocurre, pulsa el botón del programa *«Pair with sond»* hasta que aparezca una ventana para la nueva radiosonda:

La velocidad de transmisión y la configuración también se envían a la radiosonda. Esto permite tener varios sistemas en la misma zona. Sin embargo, hay que tener en cuenta que este procedimiento implica que cualquier radiosonda puede transferirse a un nuevo receptor si el receptor anterior no está conectado cuando se pone en marcha la radiosonda.

12. Comprueba que la altura automática seleccionada es la que necesita

Seleccionar **Sond status > Cut-down altitude**. El valor se puede introducir manualmente para ajustarlo a las necesidades. Este valor también se puede modificar una vez lanzada la radiosonda, durante el vuelo.



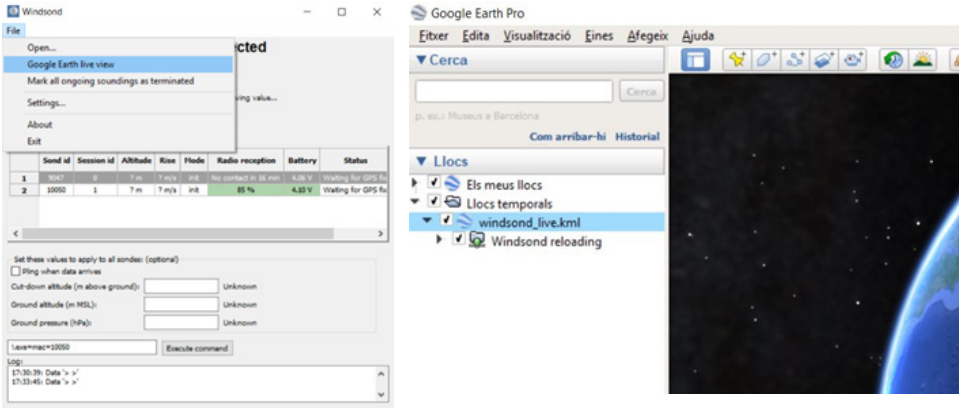
Si no lo cambiamos y queremos que alcance una elevación superior a la indicada, cuando llegue a la altitud indicada, la resistencia cortará automáticamente el hilo y la radiosonda aterrizará, y dejando de registrar datos a partir de este punto. Por defecto, esta elevación es de 1.500m sobre el nivel del suelo (altitude Above Ground Level, AGL).

Por defecto, se asume que la primera lectura de la presión atmosférica tras la activación es la presión a nivel del suelo y que la primera lectura de la señal GPS es la elevación del suelo sobre el nivel del mar. Estas dos cifras se utilizan para calcular todas las altitudes de la radiosonda sobre el nivel del mar (altitude above Mean Sea Level, MSL) y sobre el nivel del suelo (AGL). El usuario puede anular estas cifras configurando dos campos *«Ground altitude»* (altitud del terreno) y *«Ground pressure»* (presión del terreno) en la pestaña *«Sound status»* (estado del sonido). Esto puede modificarse tanto antes como después del sondeo.

Las lecturas de altitud del GPS pueden ser incorrectas, incluso por cientos de metros. Por este motivo, todas las altitudes posteriores a la altitud inicial se calculan a partir de la elevación y la presión atmosférica en tierra conocidas.

13. Abrir el visor de Google Earth (si no se ha hecho antes)

- Es necesario tenerlo abierto para todas las radiosondas. Permite visualizar la información que recibe el software Windsond.
- Permite ver la trayectoria que sigue la radiosonda.
- Si no se abre automáticamente, se puede abrir desde **Windsond > Archivo > Vista en directo de Google Earth.**



14. Lanzamiento de radiosondas

Es aconsejable y práctico realizar el lanzamiento entre dos personas, pero no es imprescindible.

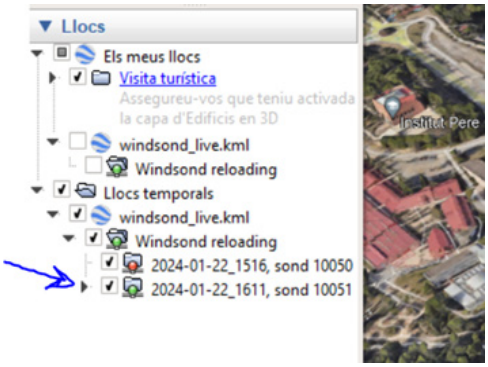
Ejemplo:

- ***Operador de radiosonda:*** coge la radiosonda y se desplaza a la zona/punto de lanzamiento.
- ***Operador del equipo receptor:*** normalmente se encuentra en el vehículo, en la posición de copiloto en el coche, y está con el ordenador. [Si hay un tableta, este puesto puede ser móvil y estar con la radiosonda en el punto de lanzamiento].
- ***Operador de radiosonda:*** comunica (voz o radio) que se encuentra en el lugar indicado.
- ***Operador del equipo receptor:*** comprueba que la recepción es correcta (todos los indicadores en verde), si no es así, espera o da indicaciones al operador de la radiosonda para que busque una mejor ubicación, que acuda a cambiar la batería, etc. Si todo es correcto, da el OK para el lanzamiento.
- ***Operador de radiosonda:*** al soltar el globo, es necesario hacerlo suavemente, para que la radiosonda no reciba un fuerte tirón y rompa los dos hilos de la resistencia. Se recomienda sujetar el hilo entre la radiosonda y el globo hasta que el hilo se estire y soltarla lentamente para evitar el tirón.

  Es necesario grabar un vídeo o hacer una foto del lanzamiento, para identificar el comportamiento del fuego y la trayectoria que está siguiendo la radiosonda.

15. Seguimiento en Google Earth

En primer lugar, es necesario **comprobar que visualizamos la radiosonda correctamente**. Se mostrará una capa por radiosonda con su código. Una vez lanzada la radiosonda, en Google Earth debería aparecer con la luz verde encendida, significa que los datos (*radiolink*) se están recibiendo correctamente.



Es posible que momentáneamente se pierda la conexión entre la radiosonda y la estación de tierra y Google Earth no nos lo indique. Por lo tanto, siempre hay que basarse en lo que indica el software Windsond de cada radiosonda desde las ventanas correspondientes.

Si se pierde la conexión con la radiosonda, aparecerá el siguiente aviso (en rojo):

Si el aviso de error de *radiolink* se mantiene mientras tenemos la radiosonda en vuelo, se pueden perder datos y, además, será difícil conectarse a la radiosonda para cortar el hilo y recuperarla. Pero si es momentáneo, se pueden intentar algunas cosas para solucionarlo.

Opciones:

a) **Comprobar la conexión entre las antenas y el receptor** en caso de que se hayan desconectado durante el movimiento del vehículo o por otros motivos.

b) **Mejorar la posición de las antenas con respecto a la radiosonda:** intentar mover el vehículo para encontrar una nueva ubicación con el menor número posible de obstáculos entre la radiosonda y las antenas.

c) **Tener paciencia... a veces tarda un poco en estar listo el *radiolink*.**

El *radiolink* supera los 10 km en terreno abierto y a veces ha funcionado a 50-100 km dependiendo del fabricante, utilizando las antenas omnidireccionales. Si hay obstáculos en la línea de visión entre la radiosonda y el receptor (como árboles o edificios) el *radiolink* puede interrumpirse.

A no ser que el programa notifique una pérdida de conexión, la conexión de datos es totalmente funcional, sin corrupción de datos, independientemente del indicador de recepción. Cuando la radiosonda se encuentra a pocos metros del receptor en el punto de partida, la recepción normal se sitúa entre el 85-95%. Durante el vuelo, la cifra descenderá rápidamente al 30-50% a medida que aumente la distancia. Una recepción inferior, por debajo del 20%, indica que la conexión puede perderse pronto. Se debe asegurar que la antena del receptor está bien colocada y comprobar la altitud de corte automático.

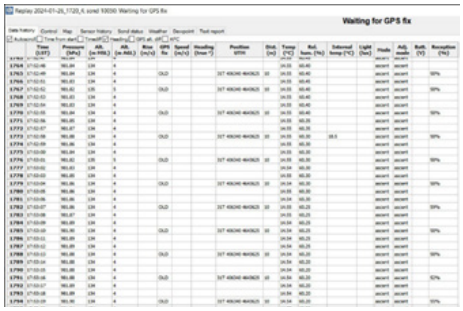
Cuando la radiosonda cae al suelo, la conexión suele cortarse debido a los obstáculos del terreno. Cuando la radiosonda se recupera de nuevo, la recepción vuelve a unos 100-400m.

Para una buena recuperación de la radiosonda, es importante garantizar una buena conexión de datos cuando la radiosonda se encuentra en la parte superior del ascenso, de modo que marque una buena ubicación de aterrizaje en la visualización de Google Earth.

16. Seguimiento de datos

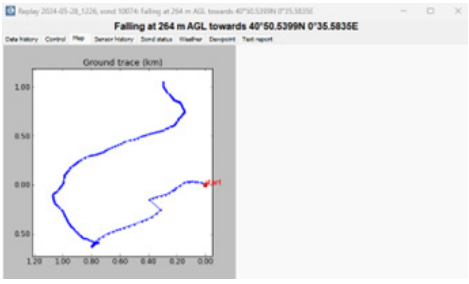
Desde el momento en que se conecta la radiosonda, los datos se registran continuamente en el ordenador. Estos datos se pueden visualizar a través de las siguientes pestañas:

1. Data history (Historial de datos): a través de esta pestaña se pueden visualizar todos los datos de entrada y las coordenadas geográficas.

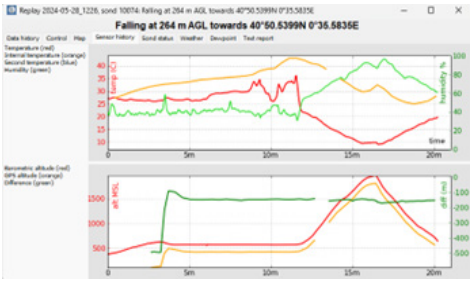


2. Control (Control): esta pestaña permite controlar las especificaciones técnicas de la radiosonda, y controlar sus modos.

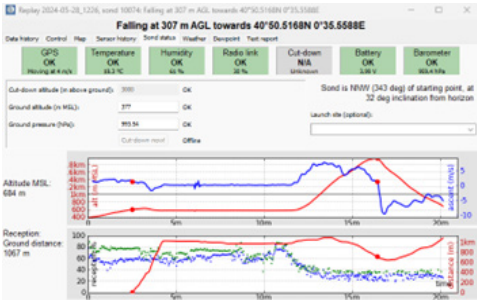
3. Map (Mapa)



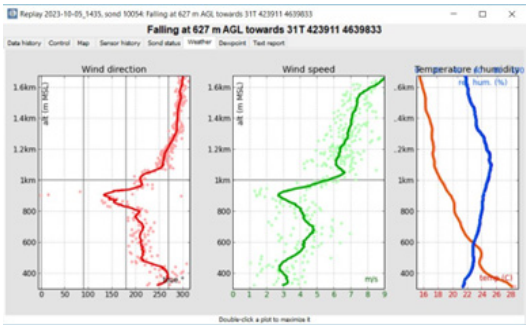
4. Sensor history (Estado del sensor)



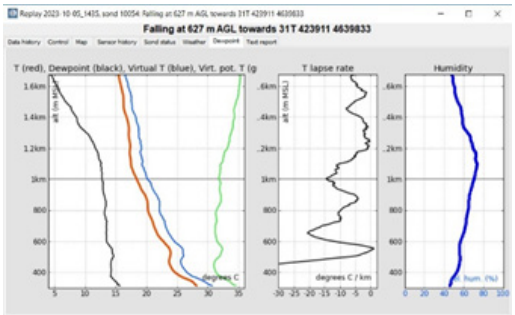
5. Sound Status (Estado de la sonda)



6. Weather (Meteorología): esta pestaña muestra gráficos con la dirección del viento, la velocidad del viento y la temperatura/humedad. Los valores registrados se muestran como puntos y los valores medios se muestran con líneas sólidas. Las líneas grises de la cuadrícula los marcan cada 1000 m de altitud sobre el nivel del mar (MSL). En el gráfico de la dirección del viento, hay una línea gris cada 90 grados. Los datos que faltan por pérdida o falta de recepción se muestran como espacios vacíos más grandes entre los puntos.



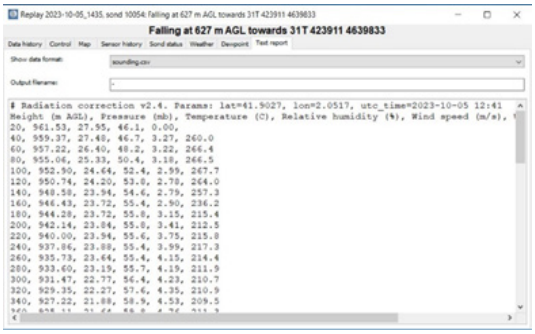
7. Dew Point (Punto de rocío)



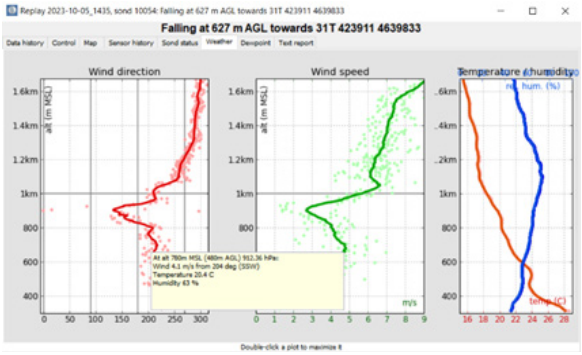
8. Text report (Datos numéricos):

Abreviaturas:

- AGL = altitude Above Ground Level (altitud sobre el nivel del suelo)
- MSL = altitude above Mean Sea Level (altitud sobre el nivel del mar)



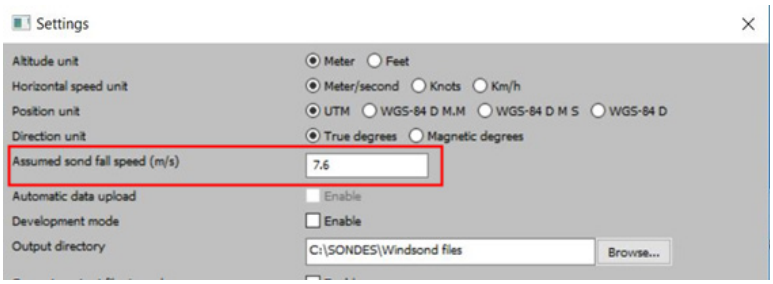
9. Google Earth



Las pestañas que tienen gráficos también permiten ver los datos de forma numérica. Sólo se tiene que colocar el cursor sobre el punto que quieras conocer y aparecerá un recuadro verde con los datos.

17. Selección del punto de aterrizaje y de la altura de corte

Durante el vuelo, el software Windsond predice el lugar de aterrizaje basándose en la velocidad de ascenso, las condiciones del viento y la velocidad de caída prevista. Las predicciones se dan después de que la radiosonda ascienda por encima de los 60m AGL. El lugar de aterrizaje se predice si se pulsa 'Cut-down now!' (descender ahora), momento en que aparece el icono correspondiente en la vista de Google Earth, con una precisión generalmente superior a 50m. La precisión depende principalmente de la predicción de la velocidad de descenso correcta (configurada en el menú *Windsond: Archivo > Configuración*).



También se proporcionan predicciones del lugar de aterrizaje en Google Earth para algunas altitudes de corte superiores y para la altitud actual establecida. Estas predicciones se mantendrán a altitudes superiores. Sin embargo, como es probable que el viento cambie a altitudes superiores, es importante ser consciente de cómo cambian con el tiempo.

Hay dos maneras de cortar la radiosonda y hacer que aterrice en el suelo:

1. Automáticamente cuando llega a la altura establecida en el programa.

2. Manualmente con el botón *'Cut-down now!'* Se puede acceder a este botón desde dos puntos: en la pestaña *'Sound status'* o la pestaña *'Control'*.

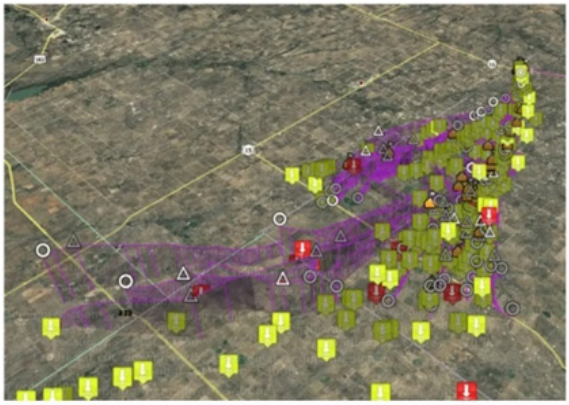
Cuando se selecciona esta opción, la resistencia del interior de la radiosonda, en la placa, se pone incandescente y corta el hilo. A grandes altitudes sería posible que, debido a la temperatura, la resistencia no pudiera cortar hilo, pero normalmente funciona correctamente.

Pero la forma más precisa de llevar la radiosonda al suelo es hacerlo manualmente utilizando la visualización de Google Earth y pulsando el botón de *'Cut-down!'* cuando el icono de aterrizaje que se muestra en el mapa de Google Earth llegue a un lugar de nuestro interés.

Para seleccionar la altura correcta, vaya a la visualización de Google Earth. Recuerde que es posible tener varias radiosondas volando al mismo tiempo, cada una con su propia predicción.

Visualización con Google Earth de la trayectoria y predicción de aterrizaje de diferentes radiosondas.

Referencia: https://sparvembedded.com/products/windsond/many-sondes.



18. Recuperación de radiosondas

Antes de iniciar el proceso de recuperación, es importante anotar las UTMs indicadas por el programa en la pestaña Historial de datos, en el último registro disponible. Estas UTM pueden ser utilizadas para localizar la radiosonda si el programa falla, el ordenador se desconecta o cualquier otra situación que interrumpa el proceso. Estas UTMs se pueden introducir en cualquier aplicación GPS y nos ayudarán a localizar la radiosonda.

El formato de las coordenadas geográficas será el que hayamos seleccionado en Archivo>Configuración (ver punto 'Detalles de los pasos a seguir para la puesta en marcha en campo').

Cuando la radiosonda está en tierra, dispone de tres modos para ahorrar energía y alargar la duración de la batería para facilitar la recuperación. Los modos son los siguientes:

1. FIND ME (*'On ground, beeping'*): reproduce un sonido (primero aumentando y luego disminuyendo el tono) y emite señales luminosas intermitentes cada 5 segundos. Envía posiciones GPS cada 4 segundos. Transcurridos **45 minutos**, pasa a SLOW FIND ME.

2. SLOW FIND ME (*'On ground, sometimes beeping'*): emite un sonido y parpadea cada 15 segundos. Envía señal GPS cada 4 segundos. Pasadas **3 horas**, pasa a modo POWERSAVE.

3. POWERSAVE (*'On ground, silent'*): no emite señales intermitentes ni reproduce sonidos. Envía una señal corta cada 15 segundos y espera respuesta del receptor. Envía la posición GPS una vez cada 2 minutos.

Podemos elegir antes o durante el vuelo en qué modo se configura la sonda al aterrizar (*"Behavior at landing"*) (*'Comportamiento al aterrizar'*) desde la pestaña Control:

1. POWERSAVE (*'On ground, silent'*): no emite señales intermitentes ni reproduce sonidos. Envía una señal corta cada 15 segundos y espera respuesta del receptor. Envía la posición GPS completa una vez cada 2 minutos.

2. 'Beacon at once': si la radiosonda se va a recuperar en pocas horas, el sonido reproducido en esta posición facilita la localización de la radiosonda.

3. 'Power-save': si la radiosonda se va a recuperar en un par de días, haz clic en este modo para ahorrar batería. Cuando la estación de tierra se acerque a la radiosonda, el receptor cambiará la radiosonda al modo FIND ME una vez que se restablezca el *radiolink*. Esto ocurre a unos 200-1000m de la radiosonda.

El modo de funcionamiento de la radiosonda se puede ver en la pestaña *«Data history»*, columna *«Mode»*.

19. Datos recibidos por la radiosonda y su gestión

Los datos se recogen independientemente de si la radiosonda se recupera o no. Se almacenan en la carpeta indicada en *Archivos > Configuración > Directorio de salida:*

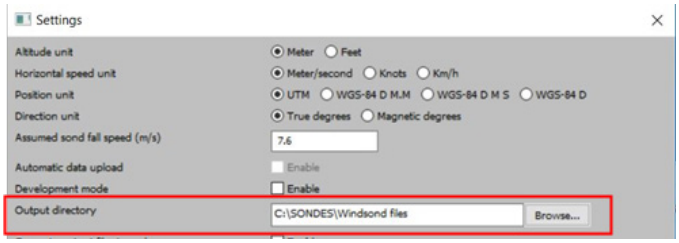
Para recopilar y transferir los datos para su análisis:

1. Cerrar la ventana correspondiente a la radiosonda.

2. Se recomienda tener un acceso directo a esta carpeta en el escritorio del ordenador.

3. En la carpeta hay varios archivos. Los archivos tienen el código de la radiosonda y la fecha y hora de lanzamiento. Todos los archivos que tienen la misma fecha y hora son del mismo lanzamiento y esto ayuda a localizarlos cuando se han hecho diferentes lanzamientos durante el mismo día.

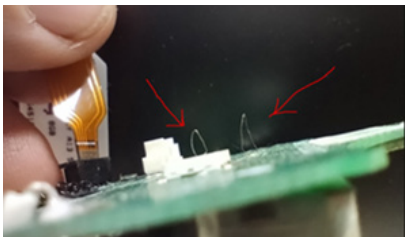
4. Una vez recopilados todos los datos, sigue los pasos de gestión de datos para cargarlos en el repositorio de datos.



Mantenimiento y reparación de las radiosondas

Sustitución del hilo: Es necesario volver a instalar el hilo que ata el globo a la radiosonda. El hilo debe pasar por la resistencia. El hilo debe entrar por el agujero en la tapa del vaso de la radiosonda, pasar por los dos anillos de la resistencia que permite cortar el hilo (ver foto) que está en la placa, y salir otra vez por el mismo agujero en la tapa.

Es necesario comprobar que el nudo del hilo queda fuera de la tapa para que al cortar el hilo con la resistencia, el nudo no sea capaz de engancharse a la cinta del vaso y mantener la radiosonda atada al globo en lugar de dejar caer la taza.



Recarga de las baterías: tas baterías descargadas deben recargarse de nuevo antes del siguiente lanzamiento. La carga completa de cada batería dura un mínimo de 30 min. aprox. cuando las baterías son nuevas.

Sustitución del material: globos, helio, etc.

Resumen final/Lista de comprobación

Antes de salir a campo:

	Disponer del equipo.
	Baterías cargadas.
	Suficientes radiosondas con hilo.
	Botella de helio llena y preparada.
	Ordenador cargado (no imprescindible si disponemos de inversor o batería externa).

Llegada al lugar de lanzamiento:

	Condiciones de trabajo (seguridad, conocimiento de la situación).
	Condiciones de recepción de datos (disponibilidad de GPS, cobertura, etc.).

Antes de lanzar la radiosonda:

	MONTAJE DE LA ESTACIÓN DE TIERRA
	Encender el ordenador.
	Comprobar la red móvil.

	Comprobar la disponibilidad del GPS.
	Instalar correctamente los elementos: 1. Fijar las antenas al receptor 2. Conectar el receptor al PC
	Receptor conectado correctamente (2 luces verdes).
	Estación de tierra conectada, esto es que el programa Windsond del ordenador esté instalado y funcionando.
	Comprobar que la configuración es correcta (sobre todo si es la primera vez, sino se guardará la del lanzamiento anterior).
	MONTAJE DE LAS RADIOSONDAS
	Sacar el receptor la radiosonda del vasco.
	Conectar la batería cargada.
	Anotar/identificar el número de radiosonda.
	Comprovar que el hilo está fuera de la tapa.
	Estirar la antena.
	Fijar la radiosonda al globo.
	CONEXIÓN RADIOSONDA - ESTACIÓN DE TIERRA (previo al lanzamiento)
	Comprobar que todos los parámetros de la radiosonda están en verde en la estación de tierra (software Windsond en el ordenador o tableta).
	Verificar los sonidos de la radiosonda.
	Inflar el globo con helio y fijarlo a la radiosonda.
	Posicionar correctamente la radiosonda y las antenas.
	Verificar la altura de corte automático *'Cut-down!'* (aplicación Windsond).
	Abrir el visor de Google Earth.
	Cuando todos los parámetros estén en verde (programa Windsond), soltar la radiosonda.
	MONITORIZACIÓN DE LA RADIOSONDA EN VUELO
	Seguir los datos recogidos a través de los gráficos.
	Seleccionar la zona de aterrizaje de la radiosonda mediante Google Earth, la predicción de aterrizaje y los parámetros del programa de gráficos Windsond.
	Cortar de la radiosonda ('Cut-down now!')
	Registrar las UTMs del lugar de aterrizaje.
	Recuperar la radiosonda.

Mantenimiento de las radiosondas:

	Recargar la batería (30 min por batería).
	Sustituir los hilos.
	Reparar las radiosondas rotas (si es necesario).
	Recargar helio en la botella (si es necesario).

Referencias

Manual Windsond 2.1: https://files.sparvembedded.com/windsond_manual_2.1.pdf

Autores:

UT GRAF (Bombers de la Generalitat)

Fecha:

16 de abril de 2024

Anexo

2

2. Metodología para calcular la altura de la columna de humo con la aplicación SmokeMeter

SmokeMeter APP es una aplicación diseñada específicamente para calcular con precisión la altura de las columnas de humo. Esta herramienta complementa los datos del perfil atmosférico adquiridos con las radiosondas, contribuyendo a mejorando la comprensión de la interacción entre el fuego y la atmósfera. La aplicación es fácil de utilizar en el terreno y funciona en cualquier lugar del mundo, en distancias cortas, medias y largas (más de 15 km).

Para obtener los datos, la aplicación necesita los siguientes parámetros de entrada:

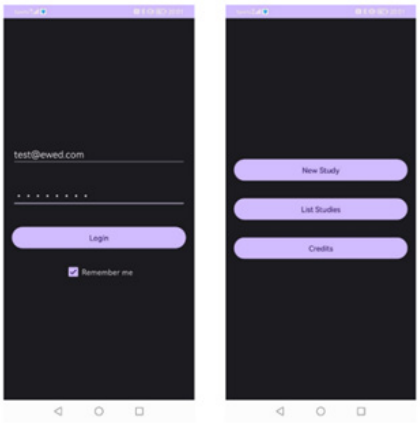
- Datos del observador (automático)
- Datos del incendio (marcando una ubicación en el mapa)
- Ángulo (tomando una foto con el teléfono)

Y con estas entradas, la aplicación devuelve las siguientes salidas:

- Distancia entre el observador y el incendio (metros)
- Altura de la columna de humo (metros)
- Registro con todos los datos recogidos (hora, coordenadas, descripción, identificativo, ...)

Recogida de datos con la APP

La APP **SmokeMeter** tiene una interfaz fácil de usar, y permite obtener los datos siguiendo unos sencillos pasos:



1. Descargar e instalar la aplicación

Actualmente, sólo disponible con sistema operativo Android. Puede descargarse desde este enlace SmokeMeter - Apps on Google Play

2. Iniciar sesión

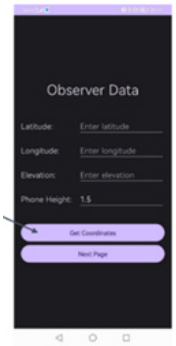
Para utilizar la APP se necesita un usuario y una contraseña. Las versiones más avanzadas incluirán unaopción para el inicio de sesión automático. En este momento, se puede obtener una cuenta escribiendo a *smokemeter.help@gmail.com*.

3. Pantalla de inicio

Una vez iniciada la sesión, aparece la pantalla de inicio. Hay tres funcionalidades disponibles:

- Nuevo estudio: para realizar una nueva medición y registrarla.
- Listado de estudios: permite consultar los datos registrados.
- Créditos.

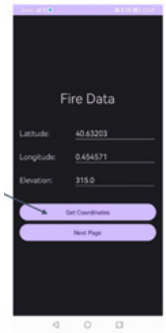
4. Nuevo estudio



Para crear una nueva medición de la altura de columna, se debe selección la opción "Nuevo estudio" en la pantalla de inicio. A partir de aquí, rellenar la información requerida en cada una de las ventanas que aparecen.

1. Observer data (datos del observador): son los datos sobre la ubicación del observador. Es necesario tener **habilitada la localización** y permitir que la APP **acceda a la ubicación** del dispositivo. Hay dos formas de obtener esta ubicación:

- **Obtener coordenadas** – cálculo automático en función de la ubicación actual.
- **Introducir manualmente los datos:**
  - Latitud (grados decimales)
  - Longitud (grados decimales)
  - Elevación (metros)
  - Altura del teléfono sobre el suelo (metros)



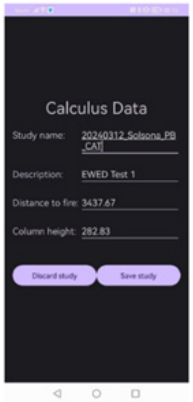
2. Fire data (datos del incendio): es la ubicación de donde se encuentra la **base de la columna de humo**. También hay dos formas de obtener estos datos:

- **Obtener coordenadas:** cálculo automático según la ubicación actual.
- **Manual data input:**
  - Latitud (grados decimales)
  - Longitud (grados decimales)
  - Elevación (metros)

3. Get column angle (Obtener el ángulo entre el horizonte y la parte más alta de la columna): con los datos recogidos en los puntos anteriores, en este paso se obtiene la altura de la columna. Es necesario dar acceso a la APP para tomar fotos y grabar vídeos.

- **Get angle (recommended):** con el brazo extendido y firme, inclinar el teléfono (no el brazo) hasta que la línea que aparece en la pantalla se sitúe en la parte más alta de la columna.
- **Manual data input:** ángulo (grado decimal).

4. Save study (Guardar el registro): una vez rellenadas las tres pantallas anteriores, se ha obtenido la información necesaria. La siguientepestaña es la que permite almacenar los datos obtenidos.



En este apartado se puede modificar el nombre y la descripción del registro. En la misma pantalla también se puede consultar la altura de lacolumna de humo y la distancia al incendio.

En el campo Nombre del estudio, para una mayor homogeneidad, sepropone utilizar el siguiente formato:

- Fecha: *aaaammdd* +
- Nombre identificativo abreviado +
- Incendio forestal o quema prescrita (*W/PB*) +
- 3 primeras letras del país (*NOR, GRE, NET, CAT, etc.*)
- *Ejemplos: 20210724_StCQ_W_CAT* or *20240228_Orista_PB_CAT*

También es importante **guardar la imagen** utilizada para el cálculo del ángulo. En este momento, la APP no guarda este archivo, por lo que es necesario hacerlo de forma manual.

5. Lista de registros

Esta ventana permite acceder a información básica sobre las distintas mediciones realizadas por el usuario. Proporciona datos como el nombre del estudio, la descripción, la distancia entre el observador y el fuego, la altura de la columna y la fecha y hora de la medición.

Actualmente no es posible descargar automáticamente estos datos en formato .csv a través de la APP. Se está trabajando para mejorar la aplicación en este ámbito.

6. Créditos

Esta sección contiene información sobre los principales desarrolladores de SmokeMeter APP.

Aviso: En el momento de escribir este documento, la aplicación está en fase de desarrollo, por lo que algunos de estos pasos y funcionalidades pueden cambiar con el tiempo.

Autores:

PCF, UT GRAF (Bombers de la Generalitat)

Fecha:

16 de abril 2024

EWED