



8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**



8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya - 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza



PROYECTO I+D+i FLUCAIF: Caracterización del flujo de calor en incendios forestales y análisis de las repercusiones del mismo sobre la capacidad termofisiológica del Personal Especialista en Extinción de Incendios Forestales (PEEIF)

LÓPEZ-SATUÉ, J.¹, CARBALLO-LEYENDA, B.², GÓMEZ MOLINO, R.¹, AGUIRRE BRIONES, F.¹, CARRILLO PATIÑO, A.³, RODRÍGUEZ-MARROYO.JA.², VILLA VICENTE, JG.²

¹ Gerencia de Incendios Forestales. Subdirección de Actuaciones Ambientales. Grupo TRAGSA.

² Departamento de Educación Física y Deportiva. Instituto de Biomedicina (IBIOMED). Universidad de León.

³ Gerencia de Nuevas Tecnologías. Subdirección de Innovación y Desarrollo de Servicios. Grupo TRAGSA.

Resumen

El Grupo TRAGSA desarrolla durante las anualidades 2020-21 el proyecto de I+D+i FLUCAIF, el cual tiene por objeto ahondar en el conocimiento de la relación intrínseca que se establece entre los incendios forestales y el personal de extinción. Dicho proyecto persigue constatar las alteraciones termofisiológicas que soporta el personal de extinción en función de los diferentes trabajos que acomete y supeditados en todo momento a las condiciones ambientales que se soportan. Para la consecución de dichos objetivos, se monitorizan variables fisiológicas (temperatura interna, temperatura en la piel, electrocardiograma de esfuerzo, ritmo ventilatorio, frecuencia cardiaca, ritmo de sudoración, etc.) y ambientales (flujo de calor, temperatura, humedad, WBGT, velocidad del viento, etc.). Paralelamente se filma toda la actuación (GOPRO Hero7) para facilitar la interpretación de los datos. Los resultados de este trabajo pueden permitir establecer mecanismos y medidas dirigidas a mejorar la prevención de riesgos laborales y a potenciar tanto el rendimiento como la seguridad en los trabajadores.

Palabras clave

Incendios forestales, estrés térmico, fatiga, termorregulación.

1. Introducción

Siempre ha habido una preocupación por la salud y la seguridad del personal que trabaja en las labores de extinción de incendios forestales. En España, ya en 1987, el ICONA publicó un Manual de Seguridad para este personal y Notas sobre Siniestralidad en Incendios Forestales, época en la que el colectivo de trabajadores estaba marcado por una profunda condición de eventualidad. A lo largo de los años, esta situación de eventualidad en el colectivo se ha reducido notablemente, al mismo tiempo que ha cambiado la percepción de la sociedad sobre la incidencia de los incendios forestales, y lo que suponen en cuanto a magnitud, frecuencia e intensidad no solo en España, sino también en otros países con la misma problemática. Tanto a nivel mundial como en los países mediterráneos, diversos organismos nacionales e internacionales están promoviendo estrategias, investigaciones y nuevas procesos formativos para el personal cualificado a fin de reducir las repercusiones y el impacto en la salud y la seguridad que llevan implícitas las labores de extinción de incendios forestales. A pesar del esfuerzo realizado por las diversas administraciones y/o empresas encargadas de la gestión de la lucha contra los incendios forestales por profesionalizar el colectivo, éste se sigue caracterizando por una gran heterogeneidad (experiencia, edad, condición física, etc.), la cual puede comprometer el límite de tolerancia al esfuerzo exigido al trabajo, sobre todo en condiciones adversas. Una de las características fundamentales de este trabajo es que se realiza en un entorno muy complejo y muy variable, en el que el trabajador ha de realizar sus funciones enfrentándose a terrenos escarpados y en muchas ocasiones de gran pendiente (LÓPEZ-SATUÉ, 2009), manejo de herramientas manuales pesadas y/o mecánicas bastante complejas, con filos cortantes, etc (GASKILL, 2003), exposición a altas temperaturas (CARBALLO-LEYENDA et al, 2019), calor radiante

(CARBALLO-LEYENDA et al., 2021) e inhalación de humos (SEMMENS et al., 2021), estrés psicológico y uso obligado del Equipo de Protección Individual (EGLIN, 2007), que unido a la larga duración y tipo de esfuerzo realizado pueden conllevar la aparición de riesgos (RODRÍGUEZ-MARROYO et al., 2011).

Estas condiciones cobran especial relevancia cuando los trabajadores ejecutan las labores de extinción directamente sobre el combustible en llamas, en el borde mismo del incendio, en aquellas partes del mismo en el que las características del comportamiento de los combustibles permiten este acercamiento. Es aquí donde la presencia del calor procedente de la combustión de la vegetación, se suma al calor del entorno, y al calor producido por el esfuerzo físico empleado en moverse por el terreno, y en realizar las labores de extinción, provocando un desequilibrio térmico, que el cuerpo del trabajador ha de equilibrar, para lo que ha de estar preparado y capacitado.

Este desequilibrio, denominado “Estrés Térmico”, no siempre es el mismo, pues depende de la confrontación del calor producido por los diferentes elementos del entorno, es decir el escenario, cómo el calor producido por los diferentes combustibles, presencia de aire que dirige el calor convectivo en un sentido o en otro, o la orografía con pendiente que exige un mayor esfuerzo físico, y por tanto, generación de calor metabólico, etc., con la capacidad del trabajador para disipar ese calor producido, y cómo interviene el EPI, el traje de trabajo, en ese proceso.

2. Objetivos

El objetivo principal del presente estudio es analizar en incendios forestales reales el flujo de calor soportado por los trabajadores e identificar el comportamiento del mismo en función de diferentes escenarios como pueden ser la posición respecto de la llama, la pendiente o el modelo de combustible predominante.

3. Metodología

Durante la anualidad 2020 y 2021, 3 trabajadores (2 integrantes de la ELIF de Sahechores de Rueda y 1 integrante de la BRIF-i Ruente) fueron monitorizados en 31 incendios a los que acudieron. Durante la extinción de dichos incendios, se registró el tipo de labor que hicieron, se georreferenciaron todas las acciones, se filmaron en tiempo real (GoPro HERO7) y se monitorizaron las variables del estrés térmico: frecuencia cardiaca (FC), temperatura central (TC), temperatura de la piel (Tp), flujo de calor (HF) y tasa de sudoración (S). La FC se registró cada 5 segundos. Para ello, cada trabajador llevó una banda personal dotada de sensores de medida de FC ajustada al pecho (EQ02 Sensor Belt, Equivital, Hidalgo Lt, Cambridge, UK). La temperatura corporal y la temperatura en la piel fueron registradas continuamente (cada 30 s) usando una cápsula de temperatura intestinal y el parche dérmico integrado en el sistema e-Celsius™ (BodyCap, Caen, France). La tasa de sudoración se calculó pesando al sujeto antes y después de la actuación (Benchscales, Ohaus UK Ltd, Leicester, UK; precisión ± 5 g). La sudoración de los sujetos fue corregida teniendo en cuenta el registro de la ingesta de líquido durante el incendio.

$$\text{Tasa sudoración (l/h)} = \frac{\text{Peso Inicial (kg)} - \text{Peso Final (kg)} + \text{líquido Ingerido (l)}}{\text{Duración Trabajo (h)}}$$

Para analizar el flujo de calor y la temperatura a la que se ven expuestos durante la extinción de incendios, se procedió a registrar el flujo de calor total incidente en la cara exterior, el flujo de calor que penetra en el interior del tejido así como el comportamiento de las temperaturas alcanzadas en dichas zonas. Siguiendo las instrucciones del fabricante, los sensores preparados para medir el flujo de calor fueron directamente pegados sobre la superficie del tejido, dos directamente colocados en la superficie exterior del buzo a la altura del pecho y muslo y otros dos a su vez situados en paralelo a los anteriores pero por la parte interna del tejido con la cara receptora dirigida hacia afuera, en el

sentido de recepción del mayor flujo de calor esperado. Para la colocación de estos sensores, fue necesario modificar los monos ignífugos, de modo que se permitiera dicha colocación de modo seguro tanto para el propio dispositivo de medida, como para la comodidad del trabajador que lo portó, siendo esta modificación realizada directamente por la empresa fabricante. Con esta distribución, se pretendía obtener por un lado el flujo de calor que alcanza la superficie del tejido para poder establecer de modo directo la carga de calor que se soporta y por otro lado, el flujo de calor que alcanza la cara interior del tejido para estudiar el factor de atenuación o efecto de apantallamiento del calor incidente en las zonas descritas en la literatura como de máxima exposición al flujo de calor (SONG, 2002). Los sensores de calor, fabricados por la empresa francesa Captec (Lille, France), que se emplearon (Figura 1), son transductores de flujo de calor radiante y convectivo con un campo de visión de 180°, de 20x20 mm² de superficie receptora de color negro, fabricada con resina epoxi altamente absorbente al calor, por lo que actúan como cuerpo negro (absorben el 100% del flujo que les llega). Las características de dichos parches se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de los 4 sensores de flujo de calor empleados para medir el flujo neto de calor soportado.

PARAMETRO	VALOR
Área	4 cm ²
Rango de trabajo	-180 °C a 250 °C
Rango de entrada	-500 kW·m ⁻² - 500 kW·m ⁻²
Respuesta en el tiempo	0,3 segundos
Sensibilidad	(3,08-3,82) µV/ W·m ⁻² en el rango de trabajo (Lineal)

Una vez registrado el flujo de calor, se procedió a calcular el factor de atenuación provocado por el tejido ignífugo tanto en la zona del pecho como del muslo siguiendo la ecuación propuesta por RAJ (2008).

$$\% \text{ Atenuación} = \left(\frac{(Q_{\text{int}} - Q_{\text{ext}})}{Q_{\text{ext}}} \right) \cdot 100$$

donde:

- Q_{int} es el flujo de calor recibido por el sensor interno colocado a la altura del pecho W/m².
- Q_{ext} es el flujo de calor recibido por el sensor externo colocado a la altura del pecho W/m².



Figura 1. PEEIF equipado con buzo sensorizado previo a salida a incendio. Detalle de sensores utilizados en esta investigación.

Para valorar e interpretar los diferentes escenarios a los que se ve expuesto el PEEIF, se filmaron todas las acciones con cámara Gopro Hero7. En este sentido, se analizaron el tipo de pendiente, el tipo de trabajo realizado, el modelo de combustible predominante, la posición respecto

de la llama y otros aspectos para valorar el comportamiento del flujo de calor en base a estos parámetros.

Las condiciones meteorológicas imperantes (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, etc) o el índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) en la zona de trabajo del PEEIF monitorizado fueron registrados mediante estación meteorológica portátil (Kestrel 5500 Fire Weather PRO, NK, Creek Circle, Boothwyn, PA, US).

4. Resultados y discusión

Las condiciones referenciadas como peligrosas, se dan a partir de 1 kW/m² y su límite superior es de alrededor de 7 kW/m². Los valores de flujo de calor que se encuentran en este intervalo, son los que normalmente se han descrito durante los incendios forestales en los que se trabaja en ataque directo con herramienta manual (BUDD, 1997). Por debajo de 1 kW/m², no se produce daño alguno, sea cual sea, el tiempo de exposición. Una exposición de 5kW/m² provoca dolor en 20 segundos (ARNALDOS et al., 2004). Varios países de Europa han adoptado 5 kW/m² como criterio para determinar la distancia de seguridad a las personas expuestas al flujo de calor en los incendios. A partir de 7 kW/m² hasta 20 kW/m², las condiciones de extinción se clasifican como de emergencia. Por otro lado, 12 kW/m² provocan llama sobre tejido de algodón (BEHNKE, 1984). En extinción de incendios forestales el límite de la resistencia al calor radiante debe ser de 20 kW/m² durante 40 segundos para telas ignífugas utilizadas en la extinción de incendios forestales de acuerdo con la norma UNE 15614: 2007. Por lo cual se agruparon y analizaron los datos obtenidos en estos 5 umbrales, Umbral 1: $q \leq 1$ (kW/m²), Umbral 2: $1 < q \leq 5$ (kW/m²), Umbral 3: $5 < q \leq 7$ (kW/m²), Umbral 4: $7 < q \leq 12$ (kW/m²) y Umbral 5: $12 < q \leq 20$ (kW/m²).

En la anterior edición del CFE, se presentaron resultados relativos a 5 incendios analizados (Tabla 2), mostrándose valores promedio de flujo de calor que no fueron especialmente intensos ya que no superaron los 2kW/m² promedio en ningún momento.

Tabla 2. Flujo de calor y duración de la exposición a incendios forestales reales. Valores expresados como media (SD).

Incendio	Flujo calor Medio (W/m ²)	Flujo calor Pico máximo (W/m ²)	Tiempo exposición (min)	Tiempo extinción (min)	Relación (extinción/exposición) (%)
1	626(1363)	14766	66	162	38,4
2	987(2060)	15078	40	302	13,3
3	1607(2628)	26268	28	142	20,9
4	1139(1826)	17315	152	302	50,4
5	446(495)	5394	100	210	47,0
Promedio	890(455)	16325(7445)	77(50)	224(76)	34

En la actual edición se mostrarán resultados de 31 incendios forestales, de los 40 que se han monitorizado, desechando aquellos en los que se han producido errores por perdida de datos, rotura de sensores, etc. De estos 31 incendios, el tratamiento estadístico se está llevando a cabo en estos momentos. Dentro de dicho análisis y gracias a la filmación continua de la actuación, se agruparán los datos de estrés térmico en base a los diferentes escenarios descritos en la metodología, lo cual nos permitirá visualizar cual es el comportamiento del flujo de calor para cada una de las situaciones previamente establecidas.

Como consecuencia y respuesta a la exposición de calor externo, el cuerpo del trabajador responde regulando su temperatura central, generando sudoración, si esta supera los parámetros normales. En este proceso juega un papel fundamental a ropa de trabajo, que al mismo tiempo forma parte del EPI del trabajador, es decir, esta ropa se enfrenta a la dualidad de tener que evitar el calor

que llega del exterior y permitir la disipación del exceso del calor metabólico, que se realiza a través de la sudoración. El funcionamiento del sistema está condicionado por la composición y confección de los tejidos, así como por el diseño y construcción del traje, su ergonomía. Del equilibrio entre ambas funciones, tanto en seco, como en húmedo por la sudoración, etc., dependerá la eficacia del traje/epi, que afectará a la seguridad del trabajador. Esto se ha analizado midiendo la temperatura interna y de la piel del trabajador monitorizado, a través de cápsula de temperatura intestinal y el parche dérmico integrado en el sistema e-Celsius™ (BodyCap, Caen, France).

Así mismo se ha analizado el tipo de acción que se realiza en cada uno de los escenarios, pues el trabajo de extinción no es una acción continua, sino una sucesión de diferentes acciones sobre el frente en llamas, con diferente intensidad, alternando con fases de menos intensidad y descansos, lo que hace que el estrés térmico sea diferente en diferentes periodos dentro del mismo escenario. La composición de escenarios y acciones, nos darán un “mapa” de la exposición al calor y del “Estrés Térmico” producido.

Como los trabajadores monitorizados son especialistas de unidades helitrasportadas, como una BRIF y una ELIF de la Junta de Castilla y León, los tiempos en base, o transporte en helicóptero y desembarques, no tienen interés desde el punto de vista de la afectación del incendio, y su correspondiente estrés térmico, por lo que los tiempos contemplados en cada incendio analizado son los transcurridos desde que, después del desembarque, se inicia el acercamiento al incendio, hasta que se inician las labores de embarque para el regreso.

Precisamente, al tratarse de unidades helitrasportadas, esperábamos encontrar la mayor tasa de presencia cerca de las llamas.

Por lo que, la distribución de tiempos analizados, han sido:

Tiempo de presencia en incendio: 65:25:30 horas

Extinción Directa: 22:58:42 horas. El 35,12 % del tiempo analizado

Labores de remate: 10:36:41 horas. El 16,22 % del tiempo analizado

Caminando: 14:36:35 horas. El 22,33 % del tiempo analizado

Descansos y avituallamientos: 07:20:01 horas. El 11,21 % del tiempo analizado

Vigilancia activa: 09:53:31 horas. El 15,12 % del tiempo analizado

A fin de poder determinar la incidencia del calor y del estrés térmico, se han separado los tiempos en tramos según las siguientes acciones predominantes:

1. Ataque Directo con herramienta manual
2. Ataque Indirecto
3. Línea 2 pies
4. Contrafuego
5. Quema de Ensanche
6. Remate
7. Vigilancia
8. Tránsito
9. Ataque Directo en punta lanza
10. Mixto
11. Descanso

A cada acción se le ha asignado el tipo de combustible sobre el que se estaban realizando, en función del escenario predominante, y la capacidad de este de producir llama (Intensidad/longitud de llama, y tiempo de residencia):

1. Pastos ligeros
2. Pastos pesados
3. Pastos lig/pes + matorral
4. Matorral bajo
5. Matorral alto
6. Pastos/hojarasca
7. Pastos/hojarasca + mat/resto
8. Copas arbóreas

Así como las características, como presencia de viento y pendiente, o posición relativa en el incendio, que condicionan los vectores de propagación del fuego, y por tanto la posición relativa del trabajador, como fuego a favor o fuego en contra, etc.

De esta manera, definiremos todos los escenarios encontrados, las acciones aplicadas en ellos, y la repercusión que tiene la influencia del calor recibido, con el esfuerzo realizado, por tanto, el Estrés Térmico correspondiente a cada una.

5. Conclusiones

Profundizar en el conocimiento del comportamiento del flujo de calor en diferentes escenarios presentes en la extinción de incendios forestales, puede permitir el establecimiento de medidas dirigidas a potenciar tanto el rendimiento como la seguridad en el trabajo.

6. Agradecimientos

Agradecer al PEEIF su desinteresada participación en este trabajo desarrollado por la empresa TRAGSA en colaboración con la Universidad de León, que ha contado con el apoyo de la Dirección General de Medio Natural y Política Forestal del Ministerio de Transición Ecológica (MITECO) y de la Junta de Castilla y León.

7. Bibliografía

ARNALDOS, J.; NAVALON, X.; PASTOR, E.; PLANAS, E.; ZÁRATE, L.; 2004. Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales. 1ª Ed. Barcelona: Institut d'Edicions de la Diputació de Barcelona, Mundi-Prensa. Barcelona.

BEHNKE, WP. 1984. Predicting Flash Fire Protection of Clothing From Laboratory Tests Using Second-Degree Burn to Rate Performance. *Fire Mater.* 8: 57-63.

BUDD, GM.; BROTHERHOOD, JR.; HENDRIE, AL.; JEFFERY, SE.; BEASLEY, FA.; COSTIN, BP.; 1997. Project Aquarius 13. The thermal burden of high insulation and encapsulation in wildland firefighters' clothing. *Int J Wildland Fire.* 7: 207-218.

CARBALLO-LEYENDA, B.; VILLA, JG.; LÓPEZ-SATUÉ, J.; RODRÍGUEZ-MARROYO, JA. 2019. Characterizing Wildland Firefighters' Thermal Environment During Live-Fire Suppression. *Front Physiol.* 10: art. 949.

CARBALLO-LEYENDA, B.; VILLA, JG.; LÓPEZ-SATUÉ, J.; RODRÍGUEZ-MARROYO, JA. 2021. Wildland firefighters' thermal exposure in relation to suppression tasks. *Int J Wildland Fire.* 30: 475-483.

EGLIN, CM.; 2007. Physiological responses to fire-fighting: thermal and metabolic considerations. *J Hum Environ Syst.* 10: 7-18.

GASKILL, SE.; RUBY, BC.; HEIL, DP.; SHARKEY, B.; SLIVKA, D.; LANKFORD, E. 2003. Seasonal changes in wildland firefighters aerobic fitness. *Med Sci Sports Exerc.* 35 Suppl: S131.

LÓPEZ-SATUÉ, J; 2009. Influencia de la Condición Física en el Rendimiento y la Salud del personal especialista en Extinción de Incendios Forestales". *Tesis Doctoral.* Universidad de León (León, España).

RAJ, KP.; 2008. Field test on human tolerance to (LNG) fire radiant heat exposure and attenuation effects of clothing and objects. *J Haz Mat.* 157: 247-259.

RODRÍGUEZ-MARROYO, JA.; VILLA, JG.; LÓPEZ-SATUÉ, J.; PERNÍA, R.; CARBALLO-LEYENDA, B; GARCÍA-LÓPEZ, J. 2011. Physical and thermal strain of firefighters according to the firefighting tactics used to suppress wildfires. *Ergonomics.* 54:1101–1108.

SEMMENS, E.; LEARY, C.; WEST, M.; NOONAN, C.; NAVARRO, K.; DOMITROVICH, J. 2021. Carbon monoxide exposures in wildland firefighters in the United States and targets for exposure reduction. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 31: 923-929.

SONG, G. 2002. Modelling Thermal Protection Outfits for Fire Exposures. *Tesis doctoral.* North Carolina State University (NC, USA). Disponible en: www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1260333/pdf/Bref0602/S01-NS02-02.pdf