



9CFE-1654

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: 978-84-941695-7-1

Organiza





HUMIF: “El humo en los incendios forestales: repercusiones sobre la salud y grado de afectación sobre el Equipo de Protección Individual (EPI)”

LÓPEZ SATUÉ, J. (1), MOYANO BERLANGO, MC. (1) y PÉREZ CAMACHO, LM. (1)

(1) Gerencia de Incendios y Emergencias. Subdirección de Actuaciones Ambientales. Grupo TRAGSA

Resumen

Ante la creciente problemática de los incendios forestales y con fin de avanzar en el conocimiento del trabajo desempeñado por los profesionales en operaciones de extinción de incendios forestales, el Grupo Tragsa desarrolla el Proyecto HUMIF. Dicho proyecto se ha caracterizado por su gran complejidad experimental, tanto en diseño como en la metodología desarrollada. El primer objetivo del mismo ha sido cuantificar la exposición a agentes químicos (formaldehído, benceno, hidrocarburos policíclicos aromáticos [HAPs], monóxido de carbono [CO] y materia particulada [MP]) durante la extinción de incendios forestales y/o quemas prescritas en el entorno inhalatorio de las personas trabajadoras (108 sujetos con ~420 h analizadas). Con el segundo objetivo se ha valorado la persistencia de dichos agentes en diferentes prendas textiles que forman parte de los Equipos de Protección Individual (EPI) en cuatro situaciones de exposición (nuevo, 1 uso, 3 usos y multiuso). Posteriormente se han analizado 2 procedimientos de lavado y secado de las muestras (30°C/secado al aire y 60°C y secado en secadora) para comprobar su eficacia en la eliminación de la posible deposición de los agentes químicos. Los resultados obtenidos han permitido constatar puntualmente la presencia de agentes en el entorno investigado, lo que se traduce en la necesaria implementación de medidas preventivas adecuadas para garantizar la seguridad y el bienestar de las personas trabajadoras durante las actuaciones.

Palabras clave

Exposición laboral, agentes químicos, medidas preventivas.

1. Introducción

Durante los últimos años, diversos estudios en la literatura han profundizado en el análisis del humo generado por los incendios forestales y su influencia tanto sobre la población en general (NWCG., 2020; CASEY et al., 2020; CHEN et al., 2021) como sobre el personal que realiza sus funciones en dicho entorno (ADETONA et al., 2016; GROOT et al., 2019; NAVARRO., 2020; SEMMENS et al., 2021; KOOPMANS et al., 2022; NAVARRO et al., 2023). En este sentido, dichos autores identifican sustancias como el CO, el benceno, el formaldehído, la materia particulada, la acroleína o los HAPs entre los principales agentes químicos a los que se ven expuestas las personas trabajadoras durante la extinción de incendios forestales.



Sin embargo, existe menos evidencia de las repercusiones que este tipo de exposiciones tienen sobre la salud del personal de extinción, tanto a nivel agudo como a nivel crónico (NWCG., 2020).

En el pasado, los bomberos creían que el humo era sólo un inconveniente, que irritaba los ojos y la nariz, provocaba tos y, en ocasiones, náuseas y dolores de cabeza. Sin embargo, existe conocimiento científico de que puede haber efectos crónicos graves para la salud y, potencialmente, incluso una reducción de la esperanza de vida debido a la exposición prolongada al humo de los incendios forestales. También existen ciertos estudios que expresan que los efectos agudos podrían ser graves para personas con enfermedades cardiovasculares preexistentes (ADETONA et al., 2016; WU et al., 2021, KOOPMANS et al., 2022). Si bien estos estudios han proporcionado información valiosa sobre las exposiciones de las personas trabajadoras a algunos de los contaminantes presentes en el humo, también han indicado que los mismos son muy variables y dependen de los diferentes trabajos de extinción realizados y de las condiciones ambientales en los que se ejecutan (NAVARRO et al., 2023). Durante un turno de trabajo, los profesionales en extinción de incendios forestales generalmente realizan una variedad de tareas diferentes en entornos remotos dinámicos y en constante cambio a lo largo del día, lo que lleva a exposiciones laborales que son difíciles de analizar y caracterizar para los investigadores. Las limitaciones en muchos de los estudios incluyen un tamaño de muestra pequeño, corta duración de los estudios y una evaluación limitada de las exposiciones dentro del trabajo. Como resultado, los factores de riesgo específicos que conducen a mayores niveles exposición tanto de CO como de otros contaminantes aún no están claros (ADETONA et al., 2013; ADETONA et al., 2016), por lo que se impulsa a seguir ahondando en el conocimiento científico acerca de las exposiciones a las que se ven expuestas los profesionales en extinción de incendios forestales y su relación con la salud.

Diversas revisiones muestran los efectos sobre la salud de las personas trabajadoras ante la exposición a incendios forestales (ADETONA et al., 2016; GROOT et al., 2019). En dichos trabajos muestran varios estudios que analizan el impacto sobre la salud a corto plazo en los profesionales, describiéndose disminuciones en la función pulmonar o incrementos en la hipertensión arterial. Sin embargo, existe literatura científica limitada acerca de los efectos de la exposición a humo de los incendios forestales sobre la salud a largo plazo en las personas trabajadoras, por lo que no se pueden obtener resultados concluyentes acerca de la salud cardiovascular, los efectos respiratorios crónicos o el riesgo de cáncer. En este sentido, GROOT et al., (2019) recomiendan llevar a cabo estudios longitudinales durante toda su carrera profesional para comprender los efectos desconocidos de la exposición acumulativa al humo generado por los incendios forestales sobre su salud.

En una revisión actual llevada a cabo por KOOPMANS et al., (2022) y ante la creciente problemática mundial con los incendios forestales, trasladan que en los últimos años se ha incrementado la investigación en el sector, pero concluyen que la evidencia científica ante cualquier problema de salud en los profesionales derivado de la exposición es limitada y que los hallazgos sobre los riesgos sobre la misma no son concluyentes. La falta de evidencia sobre los cambios en el estado de salud a largo plazo de los especialistas en extinción de incendios forestales limita la



capacidad de saber hacia dónde deben dirigirse los esfuerzos en prevención. Es necesario priorizar la investigación sobre los riesgos y efectos que el humo de los incendios forestales tiene a largo plazo en la salud física de los profesionales y de todas aquellas personas que desempeñan trabajos en el entorno de un incendio forestal.

Paralelamente al incremento en los últimos años en el número de investigaciones relacionadas con el humo de los incendios y la exposición de los profesionales a través de la vía inhalatoria, últimamente ha surgido estudios que cierta inquietud sobre la contaminación de los equipos de protección personal de los bomberos y su relación con la vía dérmica. Si bien la principal vía de contaminación en los incendios forestales es la vía inhalatoria, los estudios existentes hablan de varias posibles formas de contaminación cutánea. Por un lado se plantea la posibilidad de que se genere un microambiente entre el traje y la piel, y esto haga que se favorezca la absorción por vía dérmica. Otra posible forma de contaminación sería desde los equipos de protección, planteando la inhalación y/o deglución de sustancias volátiles o desprendidas en forma de gas de los EPI, una vez que los bomberos se retiran la protección inhalatoria (FERNÁNDEZ et al., 2016). En aplicación del principio de precaución, a nivel internacional se están adoptando entre otros tratamientos de limpieza de determinadas prendas del EPI (MAYER et al., 2022) así como otro tipo de medidas de higiene personal después de la actuación en un incendio (FENT et al., 2017).

2. Objetivos

Los objetivos planteados en el proyecto HUMIF son:

- Cuantificar las concentraciones y los tiempos de exposición a los que se ven expuestos los profesionales en extinción de incendios forestales, intentando conocer si existen repercusiones por la inhalación de dichas sustancias, en función de los diferentes tipos de combustibles, comportamientos del fuego y posición relativa de los trabajadores y sus diferentes trabajos realizados sobre las llamas.

- Valorar los efectos del humo sobre la salud de las personas trabajadoras estudiando el papel que juegan diferentes prendas del EPI (buzo ignífugo y cubrecuellos) en la transferencia de sustancias al trabajador. En este sentido y siempre que se compruebe la adherencia y permanencia en el traje y su posible transferencia a través de la vía dérmica, se ahondará en el conocimiento de qué tipología de lavado es el más recomendable para minimizar la presencia de contaminantes en la ropa de trabajo.

- Modificar y adaptar si se considera necesario los procedimientos de trabajo y protocolos de seguridad en la extinción de incendios forestales a partir de los resultados obtenidos en el presente estudio.

3. Metodología

a. Sujetos

MT 6: FUEGO Y OTROS RIESGOS ABIÓTICOS



Durante las anualidades 2021, 2022 y 2023, 108 personas trabajadoras fueron monitorizadas (*Figura 1*). La distribución de los mismos se muestra en la *Tabla 1*:

Tabla 1. Distribución muestra por unidades, por estacionalidad y por modelo de exposición.

Tipología Servicio	Por Campaña	Por Análisis	Sumatorio		
Personas trabajadoras					
4	-	-	4	4	
38	-	2	38	40	
22	3	9	25	34	
-	-	3	-	3	
-	-	2	-	2	
-	25	-	25	25	
TOTAL	64	28	16	92	108





Figura 1. Profesionales integrantes de Romeo, BRIF y ELIF monitorizados en el proyecto HUMIF

3.

a. Material

Los profesionales objeto de estudio fueron equipados con los soportes específicos para muestrear los siguientes agentes químicos:

- Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HAPs): filtro de teflón y tubo de resina XAD-2 (100/50 mg).
- Benceno: tubo de Carbón activo (TCA) 100/50 mg.
- Formaldehído: cartucho o tubo de Gel de sílice impregnada con 2,4-DNPH (dinitrofenilhidracina).
- Materia particulada, fracción inhalable: muestreador de acero inoxidable conocido como Button.
- Monóxido de Carbono (CO): dosímetro digital Tango TX1. Monitor portátil de CO de larga duración y utilizado para protección personal. Es un instrumento de difusión para detectar y medir el gas presente en un espacio abierto. Las bombas de aspiración utilizadas fueron del modelo SKC Aircheck XR5000, dispositivo de muestreo de aire de caudal constante (5 a 5000 ml/min) adecuado para muestreo de bajo caudal de gas/vapor o de alto caudal de partículas. Paralelamente, se hizo uso permanente de un calibrador de caudales MESALAB Defender 510, diseñado para comprobación de caudales utilizados en higiene laboral, medio ambiente y aplicaciones de laboratorio. Todos los instrumentos fueron implementados en un sistema de trinchas y camelback intentando potenciar la ergonomía (minimizar el impacto de portar esta instrumentación y facilitar el buen desarrollo de las labores específicas de los profesionales) y la disposición de los soportes de medición en la zona próxima al entorno respiratorio de los



trabajadores (Figura 2).



Figura 2. Vista anterior y posterior de los instrumentos utilizados en el proyecto HUMIF

3.

a. Diseño experimental: ámbito inhalatorio.

Previo a la actuación y tras la recepción de los soportes por parte del laboratorio, se procede a la apertura de los extremos de los mismos y a su identificación con etiquetas específicas que permitan su posterior análisis (Figura 3). Paralelamente, se procede a la carga de baterías de las bombas y a la realización de una calibración de las mismas. Para ello, se anotan 10 caudales por bomba, anotando el valor medio obtenido en las mismas y verificando que el flujo es el establecido para cada agente químico. Mencionar que, tras una consulta inicial al Dpto. de Metrología del INSST, la distribución, caudales y tiempos de medición en las 3 bombas de aspiración integradas en las 4 mochilas preparadas fue la siguiente:

- Bomba 1. HAPs. 3,5l/min.
- Bomba 2. Partículas. 4l/min.
- Bomba 3. Benceno y formaldehído con reductor de caudal. 500 ml/min para



cada sustancia.



Figura 3. Detalle de muestras, implementación

de las mismas en la mochila y calibración de bombas Durante la actuación y una vez formados los trabajadores en el uso y manejo de la instrumentación, cuando se recibía un aviso de salida se recogía la mochila y se procedía a su activación en vuelo, intentando no interceder en la propia dinámica del trabajo. Una vez finalizada la actuación y tras la llegada a base, el procedimiento se fundamentó en:

- Puesta en carga de las baterías.
- Realización de una nueva calibración para verificar los caudales en las 3 bombas.
- Recogida de los soportes, sellado de los mismos con teflón y mantenimiento en frío hasta remisión a laboratorio.
- Descarga y calibrado del dosímetro de CO (Figura 4).

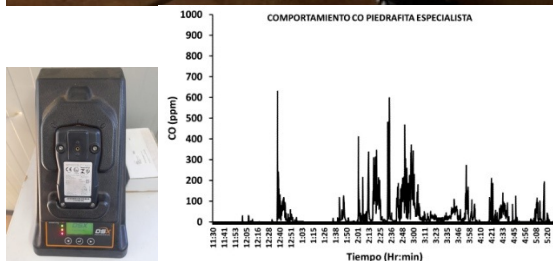


Figura 4. Detalle de muestras tras incendio. Descarga de dosímetro de CO y datos

obtenidos.

Una vez remitidas las muestras al laboratorio acreditado al efecto por ENAC (LABAQUA, S.A.), éstas fueron tratadas siguiendo los siguientes métodos:

- Formaldehído (A-BS-PE-0095): Método: MTA/MA-303-A/13, NIOSH 2016 y VDI 3862 (parte 3). El DNPH (dinitrofenilhidracina) inmovilizado en el soporte es un agente derivatizante que, en medio ácido, reacciona con el grupo carbonilo presente en los aldehídos dando lugar a un complejo coloreado “aldehído-DNPH” que se extrae en acetonitrilo. El extracto se analiza mediante cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) con detección ultravioleta (UV), ya que la derivatización permite medir la absorbancia del formaldehído y otros aldehídos en esta región del espectro.
 - Benceno (A-BV-PE-0082): Método: MA_032_A98 y UNE-EN 13649. Los vapores orgánicos adsorbidos en carbón activo se extraen en una disolución de disulfuro de carbono con n-Propilbenceno como patrón interno. Posteriormente, cada muestra es analizada por cromatografía de gases con detector de ionización de llama (FID). Para una correcta separación e identificación de los compuestos presentes en la muestra se emplean dos columnas cromatográficas de distinta polaridad. Por lo general, una de ellas se utilizará como columna principal para la identificación y cuantificación de los compuestos y la otra como columna de confirmación, aunque también se puede cuantificar con ésta si se considera necesario.
 - HAPs (A-BS-PE-0094): Método: MA_039_A00, NIOSH 5506 y UNE-EN 15549. Los HAPs muestreados en filtro se encuentran en fase particulada y los muestreados en tubo de XAD-2 en forma gaseosa. Cuando se muestrea un filtro y un tubo de XAD-2 en línea, se denomina Tren de muestreo y en él se analizan los HAPs que se encuentran en ambos estados. Los 16 HAPs más comúnmente analizados son los siguientes: Acenafteno; Acenaftileno; Antraceno; Benzo (a) antraceno; Benzo (b) fluoranteno; Benzo (k) fluoranteno; Benzo (ghi) perileno; Benzo (a) pireno; Criseno; Dibenzo (a,h) antraceno; Fluoranteno; Fluoreno; Indeno(1,2,3-cd) pireno; Naftaleno; Fenantreno; y Pireno. Los HAPs de ambas fases se extraen por separado con el disolvente adecuado y se analizan cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), con detector de UV, para el análisis de acenaftileno y de fluorescencia (FLD) para el resto de HAPs.
 - Partículas (A-D-PE-0029): Método: MTA/MA-014/A11., NIOSH 500 y NIOSH 600. Las partículas suspendidas en el aire, se recogen haciendo pasar un volumen conocido de aire a través de un muestreador que incorpora un elemento de retención adecuado con la ayuda de una bomba de muestreo. Estas quedan retenidas, y su masa se determina gravimétricamente, hasta peso constante.
 -
- 3.
- a. Diseño experimental: ámbito textil.

En el presente estudio se han elegido prendas que conforman parte de los Equipos de Protección Individual (EPI) de los bomberos forestales en la Comunidad

Autónoma de Castilla y León y en las Brigadas de Refuerzo en Incendios Forestales (BRIF) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). En concreto se han seleccionado un total de tres prendas:

- Buzo ignífugo que se emplea en la C.A. de Castilla y León, en adelante Modelo CyL.
- Buzo ignífugo que utilizan las BRIF del MITECO, en adelante Modelo BRIF.
- Cubrecuellos usado tanto por bomberos forestales de Castilla y León como por las BRIF. Con objeto de valorar la persistencia de los agentes químicos (HAPs, formaldehído y Compuestos Orgánicos Volátiles [COVs]) en las diferentes prendas, se han analizado diferentes modelos de exposición de las mismas (*Figura 5*):
- Prendas nuevas sin haberse usado (no expuestas al fuego), que actúan como blanco y denominadas **NUEVO**.
- Prendas expuestas al fuego en un único incendio/quema, llamadas **1 USO**.
- Prendas expuestas al fuego en tres incendios/quemas, nombradas como **3 USOS**.
- Prendas con exposición al fuego en más de diez incendios/quemas, identificadas como **MULTIUSO**. Las prendas fueron analizadas tanto en el pecho como en la pernera para determinar si había alguna diferencia en la localización y la exposición/acumulación de las sustancias.



Figura 5. Detalle de prendas del EPI remitidas a laboratorio para su análisis.

Tras el análisis inicial, todas las prendas (tanto las nuevas como las usadas) fueron lavadas y secadas mediante 2 procedimientos diferentes, con el fin de verificar la eficacia de dichos lavados frente a la eliminación de la posible deposición de agentes químicos:

- Lavado a 60°C y secado en secadora (en adelante **LAVADO 60°C**)
- Lavado a 30°C y secado al aire (en adelante **LAVADO 30°C**).

Los lavados y secados se realizaron siguiendo la norma internacional ISO 6330:2021 (cuya versión oficial en español es la norma UNE-EN ISO 6330:2022). Dicha norma detalla los procedimientos de lavado y secado domésticos para los ensayos de textiles. Los procedimientos son aplicables a los tejidos, prendas u otros artículos textiles confeccionados, que estén sometidos a combinaciones apropiadas de procedimientos de lavado y secado domésticos.

Los equipos y materiales empleados fueron los siguientes:

- Lavadora Wascator Tipo A (tambor horizontal y carga frontal).
- Secadora de tambor Tipo A3 (gran evacuación).
- Detergente de referencia 3, que es un detergente sin fosfatos, sin blanqueador óptico y sin enzimas (alternativamente se puede designar como detergente de referencia ECE 98). Los ensayos fueron llevados a cabo por el laboratorio AITEX (Asociación de Investigación de la Industria Textil), acreditado por ENAC (acreditación nº12/LE025). AITEX es el único centro español acreditado para otorgar certificaciones OEKO-TEX® y es miembro de la Asociación OEKO-TEX® desde 1992 y además es Organismo Notificado nº 0161, para el Reglamento (UE) 2016/425 sobre Equipos de Protección Individual, donde se establecen los requisitos esenciales de salud y seguridad que deben cumplir los equipos de protección individual. Una vez remitidas las muestras al laboratorio, éstas fueron tratadas siguiendo los siguientes métodos:
- Formaldehído libre: En las muestras se ha determinado el Formaldehído libre e hidrolizado (en adelante Formaldehído libre) siguiendo el ensayo de la norma EN ISO 14184-1:2011, mediante la que se aplica un método de extracción con agua, para determinar la cantidad de Formaldehído libre y de formaldehído extraído. El método puede aplicarse a los ensayos de muestras textiles en cualquier forma. El formaldehído de la muestra se extrae con agua a 40°C. La determinación de la cantidad de formaldehído se realiza por colorimetría. Por lo que el Formaldehído libre es aquel que se obtiene por extracción del tejido en solución acuosa.
- HAPs: La determinación de HAP se realiza siguiendo el standard internacional para textiles EN 17132:2019 (cuya versión oficial en español es la UNE-EN 17132:2020), método para determinar las cantidades de HAPs en componentes de productos textiles. La muestra de ensayo se extrae empleando tolueno a 60°C en un baño de ultrasonidos de 1h. Se analiza a continuación una muestra alícuota empleando un cromatógrafo de gases con un detector selectivo de masas.
- COVs: Los COV, Cresoles y Solventes clorados fueron determinados siguiendo la norma VDA 278:2011. Es un método analítico destinado a la determinación de las emisiones en materiales no metálicos en vehículos, tales como textiles, alfombras, adhesivos, espuma, cuero, piezas de plástico, etc. Se trata de un método semicuantitativo que permite determinar tanto las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, y la porción de sustancias



condensables. La metodología consiste en la medición de sustancias que se emiten a 90°C (COV) y a 120°C (FOG). La muestra se calienta con una corriente de gas inerte, y se inyecta en el cromatógrafo de gases. Tras la separación de la mezcla de sustancias, las sustancias individuales son identificadas con un detector de masas. Las cuantificaciones de las emisiones gaseosas se realizan frente a un patrón de tolueno, mientras que las emisiones condensables son cuantificadas frente a hexadecano. Las concentraciones individuales se facilitan en ppm (mg/kg) como emisión total de equivalentes de tolueno o hexadecano.

3.
 - a. Marco normativo

Todos los parámetros analizados en el presente estudio han sido comparados con los valores de referencia establecidos en:

- Ámbito inhalatorio: las concentraciones obtenidas fueron comparadas con los Valores Límite Ambientales de Exposición Diaria (VLA-ED) establecidos por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) en su guía “Límites de Exposición Profesional a Agentes Químicos en España 2023”.
- Ámbito textil: con el objetivo de valorar los resultados obtenidos en las prendas textiles se tomaron como referencia las siguientes regulaciones:
- Reglamento (CE) nº 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH) (DO L 396 de 30.12.2006). (Estando los EPI exentos del Anexo XVII. Entrada 72, 1.4).
- Certificado OEKO-TEX® STANDARD 100. El certificado STANDARD 100 by OEKO-TEX® es la etiqueta ecológica más utilizada en el mundo para garantizar que los productos textiles etiquetados han sido analizados ante más de 300 sustancias nocivas. (Siendo los valores límites voluntarios y sólo los deben cumplir los textiles certificados bajo la acreditación).

4. Resultados y discusión

Los 108 profesionales analizados durante las anualidades 2021, 2022 y 2023 han conllevado una muestra total en los diferentes agentes químicos de – 420h, siendo el tiempo medio de exposición por actuación de 243.2 ± 14.8 min. Los principales resultados que se desprenden del presente trabajo se muestran en la *Tabla 2*.

En cuanto al benceno, los HAPs y la materia particulada (MP), en ninguno de los 108 trabajadores analizados se alcanzó el VLA-ED, siendo el promedio de las Exposiciones Diarias (ED) de 0.04, 0.0037 y de $1.95 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, respectivamente.

Relativo a los HAPs, son escasos los trabajos que analizan en condiciones reales de extinción la exposición a HAPs de los bomberos forestales. Si bien últimamente se están publicando algunos estudios que valoran los HAPs en la piel (mediante skin wipes, toallitas) y su posible relación con la contaminación a través de la vía dérmica (analizando el 1-hidroxipireno en orina), únicamente el trabajo elaborado

por NAVARRO et al. (2019) describen los HAPs totales en el área de trabajo de los bomberos forestales, obteniendo una concentración media de $0.057 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, datos ligeramente superiores al alcanzado en nuestra investigación ($0.01 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Sin embargo, nuestros datos de Naftaleno concuerdan con lo descrito por NAVARRO et al. (2023) en incendios forestales, obteniéndose una concentración media de $0.007 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ que es similar a $0.005 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ alcanzado en nuestro trabajo.

Similar comportamiento ha mostrado el benceno, en donde la mayor parte de estudios (REINDHART et al., 2004; REISEN et al., 2009; NAVARRO et al., 2021) reflejan concentraciones medias inferiores a las obtenidas en nuestro trabajo ($0.15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), a excepción del estudio de REISEN et al. (2009) en donde obtuvieron en los trabajos de vigilancia de quemas controladas un valor medio de $0.16 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Tabla 2. Resultados generales alcanzados en el ámbito inhalatorio. ED: Exposición Diaria; IE: Índice de Exposición; MP: Materia Particulada; Valores expresados como promedio $\pm$ EEM.

RESULTADOS GENERALES					
Sustancia/ Agente/Grupo	Concentración media (rango)	ED media (rango)	VLA-ED		IE media (rango)
MP (Frac. Inhalable) ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	4.54 ± 0.50 (0,15-26,17)	1.95 ± 0.23 (0,08- 9,55)	10		0.19 ± 0.02 (0,01-0,95)
Formaldehído ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	0.54 ± 0.07 (0,00-5,06)	0.26 ± 0.03 (0,00- 1,37)	0,37		0.69 ± 0.08 (0,00-3,71)
HAPs ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	0.0083 ± 0.0009 (0,0002-0,0387)	0.0037 ± 0.0005 (0,0001-0,0201)	0,2		0.02 ± 0.00 (0,00-0,10)
Benceno ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	0.15 ± 0.02 (0,01-0,81)	0.04 ± 0.00 (0,02- 0,28)	3,25		0.02 ± 0.00 (0,01-0,09)
CO (ppm)		General (promedio)	$15,78\pm 1,26$ (0,48-93,76)	$7,54\pm 0,74$ (0,23- 45,68)	20 $0,38\pm 0,04$ (0,01- 2,28)
General (pico)			$298,75\pm 19,44$ (13,00-1000,00)		

En cuanto a la materia particulada, resaltar que en nuestra investigación se ha valorado la fracción inhalable (PM_{10}) frente a la mayor parte de estudios internacionales en donde se centran más en la fracción respirable (PM_4 o inferior) habida cuenta de su mayor relación con la afección respiratoria a nivel alveolar. Aun así, nuestros datos parecen concordar en gran medida con lo analizado internacionalmente, ya que en nuestro caso hemos obtenido una concentración media de $4.5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ que reflejan una ED de $1.9 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Las concentraciones medias obtenidas en la mayor parte de trabajos (ADETONA et al., 2018; NAVARRO et al., 2019; HENN et al., 2019; WU et al., 2021) se encuentran entre 0 y $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, datos ligeramente inferiores a los alcanzados en nuestra investigación, diferencias que pudieran estar supeditadas al mayor diámetro de partículas registrado en nuestro trabajo.

Diferente comportamiento se ha alcanzado en el formaldehído y el CO, en donde



se ha superado el VLA-ED en 31 y 7 casos, lo que supone un 28.7 y 6.5% sobre el total de análisis, respectivamente.

En cuanto al formaldehído, si bien diversos autores expresan la problemática del mismo en el entorno de los incendios forestales, más bien son escasos los trabajos que describen las concentraciones a las que se ven expuestos los trabajadores. En este sentido, la mayor parte de trabajos (REINDHART et al., 2004; REISEN et al., 2009; REISEN et al., 2011; NAVARRO et al., 2020) establecen unas concentraciones medias en torno a $0.1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ o inferiores, datos que difieren significativamente de los resultados alcanzados en nuestra investigación, en donde se obtuvieron unas concentraciones medias de $0.54 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Estas diferencias pudieran venir dadas por multitud de variables, tales como los modelos de combustibles, el tipo de combustión, la posición respecto del frente, la tipología de trabajos realizados, la metodología empleada en la medición u otros, lo cual puede afectar directamente en estos resultados.

En cuanto al monóxido de carbono, en nuestro trabajo se han alcanzado unas concentraciones medias de 15.7 ppm, siendo la exposición diaria (8h) de 7.5 ppm, datos que no difieren en exceso de los descritos en los principales estudios existentes (ADETONA et al., 2017; REINDHART et al., 2017; HENN et al., 2019; WU et al., 2021; SEMMENS et al., 2021) en donde muestran concentraciones medias de hasta ~10 ppm y significando exposiciones diarias (ED) de ~5 ppm muy similares a las halladas en nuestra investigación. Al analizar los datos maximales, en nuestro estudio alcanzamos una concentración máxima registrada en una quema de 93 ppm, datos similares a los analizados por REISEN et al. (2009), en donde alcanzaron una concentración máxima de CO en una quema controlada de 120 ppm. En cuanto a los valores máximos de exposición diaria, en nuestro estudio se obtuvo un valor maximal de 45.7 ppm, datos que no difieren en exceso de los mostrados por HENN et al. (2019) y REINDHART et al. (2018), en donde obtuvieron unos valores maximales de ED de 50.1 (incendios forestales y quemas controladas) y 33.0 ppm (ataque inicial incendios forestales), respectivamente. Sin embargo, resaltar que nuestros datos son inferiores a los descritos por HENN et al. (2019) para incendios de larga duración “Project Fires”, en donde alcanzaron un valor maximal de ED de 108 ppm, diferencias que pudieran venir dadas por los diferentes métodos de trabajo o por el comportamiento tan desigual de los incendios forestales en el entorno mediterráneo frente a EEUU, en donde la combustión de grandes masas arbóreas y la larga duración de los mismos son características diferenciales frente a nuestro entorno profesional. Referido a los valores “Pico” obtenidos, en nuestro trabajo se alcanzaron valores pico de ~800 y 1000 ppm para quemas e incendios, respectivamente, valores que concuerdan con la mayor parte de estudios existentes, en donde muestran valores pico en la horquilla de las 500 a las 1500 ppm.

Por último y con objeto de ahondar en el comportamiento de los 2 agentes que se encuentran más presentes en la extinción de incendios forestales (tal y como se ha podido observar en el presente documento), se procedió a correlacionar todas las muestras obtenidas de formaldehído y de CO (*Figura 6*), alcanzándose un índice de correlación de 0.85, catalogada entre fuerte y muy fuerte (HOPKINS., 2006). Nuestros datos son similares a los descritos por REINDHART & OTTMAR. (2000 y 2004), en donde obtuvieron correlaciones entre ambas variables de 0.79 y 0.82 en

40 y 240 muestras comparadas en incendios forestales.

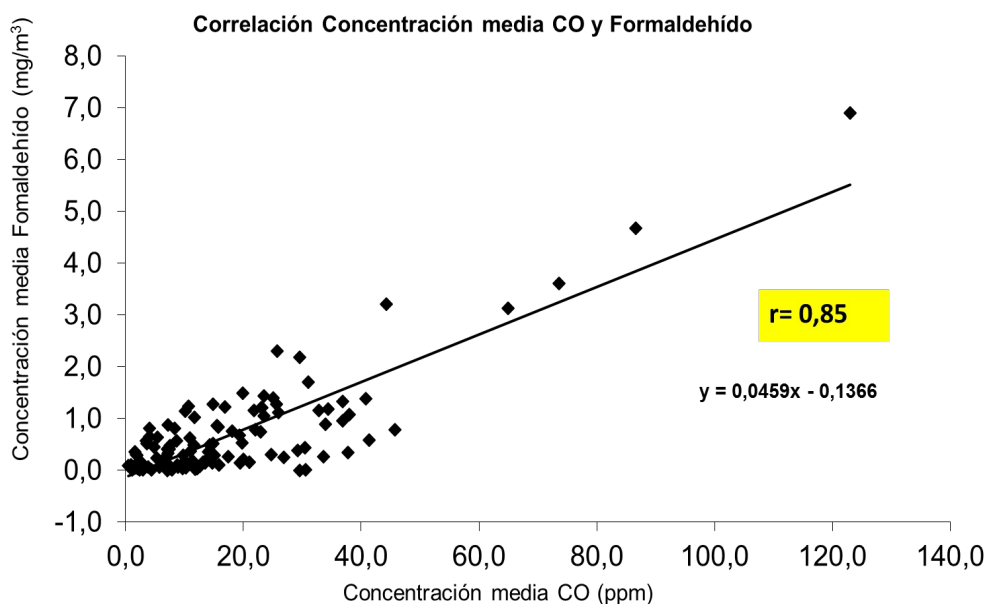


Figura 6. Correlación existente entre el formaldehído y el CO.

En cuanto a los análisis realizados sobre las prendas (buzos ignífugos y cubrecuellos) para valorar la posible presencia o deposición de formaldehído, HAPs y benceno sobre las mismas tras la exposición a incendios y/o quemas en las cuatro diferentes situaciones de exposición estudiadas (NUEVO, 1 USO, 3 USOS o MULTIUSO), se comprueba que tanto en los tejidos de los dos modelos de buzos ignífugos estudiados (Modelo CyL y Modelo BRIF) como en el cubrecuellos no se detecta Formaldehído libre en las muestras, ni tampoco deposición de éste en los tejidos tras las exposiciones a incendios y/o quemas. En las bandas reflectantes de los buzos ignífugos nuevos (en ambos modelos) se detecta Formaldehído libre, así como tras su exposición en incendios y/o quemas. Tras el uso se detectan concentraciones similares o mayores a las encontradas en las prendas nuevas. Los resultados obtenidos para el Modelo CyL no superan el límite de referencia establecido en el REACH (75 mg/kg) ni en la muestra NUEVO ni en las muestras tras las exposiciones (excepto en la exposición de 1 USO – 132 mg/kg). Mientras que en el modelo BRIF los resultados obtenidos en las muestras analizadas superan el límite establecido de 75 mg/kg tanto en la muestra NUEVO (156 mg/kg) como tras las exposiciones a incendios y/o quemas (1 USO: 181 mg/kg, 3 USOS: 167 mg/kg y MULTIUSO: 182 mg/kg). Por lo que si se consideraría que hay una deposición tras el uso de la prenda. En ambos modelos de buzos ignífugos los lavados y secados son eficientes para disminuir el Formaldehído libre tanto en muestras nuevas como tras las exposiciones en las bandas reflectantes.

Tanto en el cubrecuellos como en los dos modelos de buzos ignífugos objeto de este estudio no se han detectado HAPs ni en muestras nuevas, ni tras su exposición en incendios y/o quemas, por lo que se descarta deposición de estos agentes



químicos por el humo de los incendios y/o quemas. De igual manera, no se detectan HAPs tras los lavados y secados.

En cuanto al benceno no se ha detectado en las prendas objeto de este estudio, ni en las prendas nuevas ni en las prendas tras las exposiciones a incendios/quemas. Tampoco se detecta tras lavados y secados.

5. Conclusiones

Las principales conclusiones alcanzadas en la presente investigación son las siguientes:

- Los valores obtenidos para benceno, HAPs y MP en ningún supuesto superan los valores de VLA-ED marcados por el INSST.
- Tanto el formaldehído como el CO superan el 28.7 y 6.5% de los casos los valores de VLA-ED marcados por el INSST.
- El CO se convierte en un buen indicador de presencia de formaldehído.
- No hay persistencia de los agentes químicos analizados en las prendas ignífugas valoradas. Únicamente se detecta y se podría apreciar deposición en las bandas reflectantes de formaldehído.
- Como conclusión final, afirmar que a través de este proyecto se ha podido constatar la presencia de diversos agentes químicos en la extinción de incendios forestales, si bien la exposición de los trabajadores a los mismos se encuentra muy limitada. En aquellos supuestos en los que las concentraciones son superiores a los niveles de referencia, se deben implementar las medidas preventivas específicas dirigidas a disminuir en todo lo posible la inhalación de dichas sustancias por parte del trabajador. En este sentido, la incorporación de semimascaras y filtros de protección respiratoria específicos es un aspecto a considerar.

6. Agradecimientos

La presente investigación ha sido llevada a cabo gracias a la voluntaria y desinteresada participación de los trabajadores que han hecho posible el desarrollo de la misma. Paralelamente, agradecer a los diferentes departamentos del Grupo TRAGSA que han impulsado la realización de esta investigación (Subdirección de Actuaciones Ambientales, Subdirección de Prevención de Riesgos Laborales y Subdirección de Innovación y Nuevos Desarrollos) así como a las empresas e instituciones colaboradoras durante la misma (OROEL, AITEX, LABAQUA e INSST),

7. Bibliografía

ADETONA, O.; SIMPSON, CD.; LI, Z.; 2018. Hydroxylated polycyclic aromatic hydrocarbons as biomarkers of exposure to wood smoke in wildland firefighters. *J*



Expo Environ Epidemiol 27(1): 78-83.

ADETONA, O.; ZHANG, J.; HALL, DB.; WANG, JS.; VENA, JS.; NAEHER, LP.; 2013. Occupational exposure to woodsmoke and oxidative stress in wildland firefighters. *Sci Total Environ* 449: 269-275.

ADETONA, O.; REINHART, TE.; DOMITROVICH, J.; 2016. Review of the health effects of wildland fire smoke on wildland firefighters and the public. *Inhal Toxicol* 28(3): 95-139.

CASEY, JA.; KIOUMOURTZOGLOU, M.; ELSER, H.; 2021. Wildfire particulate matter in Shasta County, California and respiratory and circulatory disease-related emergency department visits and mortality, 2013-2018. *Environ Epidemiol* 5(1): e124.

CHEN, H.; SAMET, JM.; BROMBERG, PA.; TONG, H.; 2021. Cardiovascular health impacts of wildfire smoke exposure. *Part Fibre Toxicol* 18(1): 1-22.

FENT, KW.; ALEXANDER, B.; ROBERETS, J.; 2017. Contamination of firefighter personal protective equipment and skin and the effectiveness of decontamination procedures. *J Occup Environ Hyg* 14(10): 801-814.

FERNÁNDEZ, M.; GONZÁLEZ, MP.; ALONSO, M.; CARRIZO, LR.; CORTÉS, RA.; 2016. Contaminación de los equipos de trabajo y riesgo de cáncer de próstata y testículo en bomberos. *Med Segur Trab* 62(244): 241-262.

GROOT, E.; CATURAY, A.; KHAN, Y.; COPES, R.; 2019. A systematic review of the health impacts of occupational exposure to wildland fires. *Int J Occup Med Environ Health* 32(2): 121-140.

HENN, SA.; BUTLER, C.; LI, J.; 2019. Carbon monoxide exposures among U.S. wildland firefighters by work, fire, and environmental characteristics and conditions. *J Occup Environ Hyg* 0(0): 1-11.

HOPKINS, WG.; 2006. A New View of Statistics. 2006. Available online: <https://www.sportsci.org/resource/stats/effectmag.html>.

KOOPMANS, E.; CORNISH, K.; FYFE, TM.; BAILEY, K.; PELLETIER, .CA.; 2022. Health risks and mitigation strategies from occupational exposure to wildland fire: a scoping review. *J Occup Med Toxicol* 17(1): 1-17.

MAYER, A.; HORN, GP.; FENT, KW.; 2021. Impact of Select PPE Design Elements and Repeated Laundering in Firefighter Protection from Smoke Exposure. *J Occup*



Environ Hyg 17: 505-514.

NAVARRO, K.; 2020. Working in Smoke:: Wildfire Impacts on the Health of Firefighters and Outdoor Workers and Mitigation Strategies. *Clin Chest Med* 41(4): 763-769.

NAVARRO, K.; FENT, K.; MAYER, AC.; avarro KM, Fent K, Mayer AC, et al. Characterization of inhalation exposures at a wildfire incident during the Wildland Firefighter Exposure and Health Effects (WFFEHE) Study. *Ann Work Expo Health* 67(8): 1011-1017.

NAVARRO, K.; KLEINMAN, MT.; MACKAY, CE.; 2019. Wildland firefighter smoke exposure and risk of lung cancer and cardiovascular disease mortality. *Environ Res* 173: 462-468.

PETERSON, L.; LAHM, P.; FITCH, M.; 2020. NWCG Smoke Management Guide for Prescribed Fire. *Natl Wildfire Coord Gr*: 420-422.

REINHART, TE.; BROYLES, G., DOMITROVICH, J.; OTTMAR, G.; 2017. Smoke Exposure Among Wildland Firefighters. *Joint Fire Science Program*. 1-106.

REISEN, F.; BROWN, SK.; 2009. Australian firefighters' exposure to air toxics during bushfire burns of autumn 2005 and 2006. *Environ Int* 35(2): 342-352.

REISEN, F.; HANSEN, D.; MEYER, M.; 2011. Exposure to bushfire smoke during prescribed burns and wildfires: Firefighters' exposure risks and options. *Environ Int* 37(2): 314-321.

RENDHART, T.; OTTMAR, RD.; 2004. Baseline measurements of smoke exposure among wildland firefighters. *J Occup Environ Hyg* 1: 593-606.

SEMMENS, EO.; LEARY, CS.; WEST, MR.; NOONAN, CW.; 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(5): 923-929.

WU, CM.; SONG, C.; CHARTIER, R.; KREMER, J.; NAEHER, L.; ADETONA, O.; 2021. Characterization of occupational smoke exposure among wildland firefighters in the midwestern United States. *Environ Res* S193.