
Efectos del chaleco refrigerante y la retirada del equipo de protección personal en la termorregulación de los bomberos forestales durante cargas térmicas progresivas

Effects of cooling vest and personal protective equipment removal on thermoregulation in wildland firefighters during progressive thermal loads

Jose Antonio Rodríguez-Marroyo¹  0000-0002-9157-1532

¹VALFIS Research Group, Department of Physical Education and Sports, Institute of Biomedicine (IBIOMED), Universidad de León, León, Spain.

Correspondencia

Jose Antonio Rodríguez-Marroyo
E-mail: jarodm@unileon.es

Coordinadora de la sección

Eva González-Menéndez  0000-0002-2354-9421
Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología,
Universidad Internacional de La Rioja, Logroño, España.

Entrevista con José Antonio Rodríguez-Marroyo

1. ¿Cuál es la procedencia, especialización y áreas de trabajo de los autores del artículo? ¿Qué características le parecen más destacables de este grupo de trabajo?

Los autores de este estudio formamos parte del Grupo de Investigación VALFIS de la Universidad de León, integrado en el Instituto de Biomedicina (IBIOMED) y adscrito, en su mayoría, al Departamento de Educación Física y Deportes. Nuestras principales líneas de investigación incluyen:

- Valoración de la condición física en relación con la salud y el rendimiento humano.
- Ergonomía aplicada al análisis del trabajo físico en distintos entornos laborales.
- Evaluación del estrés térmico y fisiológico en profesiones con altas exigencias físicas.

- Monitorización de la salud y optimización del rendimiento en condiciones adversas.
- Desarrollo y validación de estrategias para mejorar la seguridad y la eficiencia laboral en *first responders*.

En los últimos años, estas líneas de investigación han cobrado especial relevancia, lo que nos ha permitido consolidar una estrecha colaboración con cuerpos de bomberos y equipos de rescate. Gracias a ello, hemos firmado contratos de investigación, desarrollado proyectos financiados con fondos públicos (a nivel regional, nacional y europeo) y generado publicaciones científicas en fisiología aplicada y la prevención de riesgos laborales en entornos de alta exigencia.

Uno de los aspectos más destacados de nuestro grupo es su carácter multidisciplinar, lo que nos permite abordar la investigación desde diversas perspectivas. Aunque nuestra labor docente e investigadora se desarrolla principalmente en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, nuestro equipo está compuesto por especialistas en Ciencias del Deporte, Medicina, Farmacia e Ingeniería Forestal. Esta diversidad nos permite ofrecer un enfoque integral, combinando el análisis del rendimiento físico con la evaluación de factores fisiológicos, biomecánicos y ambientales, lo que fortalece la transferencia del conocimiento a entornos profesionales reales.

2. ¿Cómo se ha financiado el estudio?

La investigación fue financiada a través de un proyecto de investigación en prevención de riesgos laborales, concedido por la Consejería de Industria, Comercio y Empleo de la Junta de Castilla y León (INVESTUN/22/LE/0001). Además, los resultados obtenidos en este estudio formaron parte de la tesis doctoral “Respuesta termofisiológica en bomberos: influencia del sexo, el equipo de protección, la condición física y las estrategias de mitigación”, realizada por un miembro de nuestro equipo (D. Jorge Gutiérrez Arroyo), quien contó con el apoyo de una beca predoctoral de la Junta de Castilla y León, cofinanciada por el Fondo Social Europeo y el Programa Operativo de Castilla y León.

3. ¿Qué problema pretende abordar este estudio y dónde radica su interés o relevancia para la seguridad y salud en el trabajo?

El estudio aborda la problemática del estrés térmico en bomberos forestales, un desafío importante para su seguridad y salud laboral. Este problema es particularmente relevante debido a las altas temperaturas que enfrentan durante sus despliegues y el uso de un equipo de protección personal que limita la disipación del calor que generan tanto por las condiciones ambientales en las que trabajan como por la exigente carga física que realizan.

El interés del estudio radica en evaluar la eficacia de dos estrategias de enfriamiento, como son el uso de un chaleco refrigerante y la retirada parcial del equipo de protección, para reducir la carga térmica que generan los bomberos forestales durante la realización de su trabajo en condiciones calurosas. La reducción del estrés térmico es esencial, ya que su acumulación puede aumentar el riesgo de sufrir trastornos relacionados con el calor, como los golpes de calor. Además, un mayor

estrés térmico puede incrementar la fatiga, comprometiendo no solo el rendimiento físico, sino también el rendimiento cognitivo, lo que podría llevar a los bomberos forestales a tomar decisiones incorrectas, con el riesgo de desenlaces fatales.

4. ¿Qué aporta este estudio de novedoso o destacable en relación al resto de producción científica sobre el problema estudiado?

Este estudio es innovador porque analiza la eficacia de estrategias de enfriamiento en condiciones controladas, simulando la actividad real de los bomberos forestales, lo que permite obtener datos más precisos sobre su impacto fisiológico. A diferencia de estudios previos, que han demostrado los beneficios de aplicar estas estrategias antes de la actividad física (*pre-cooling*) o después de la misma (*post-cooling*) en atletas y militares, este trabajo se centra en bomberos forestales y evalúa el efecto de aplicar el enfriamiento durante la actividad (*per-cooling*). Además, se comparan una estrategia activa (chaleco refrigerante) con una pasiva (retirada parcial del equipo de protección), permitiendo analizar enfoques con distinta aplicabilidad práctica.

Los resultados del estudio evidencian que, aunque el chaleco refrigerante mejora la sensación térmica y reduce la temperatura de la piel, no consigue disminuir la temperatura central ni mejorar la tolerancia al esfuerzo, lo que indica que las estrategias de enfriamiento convencionales pueden ser insuficientes cuando la demanda física es elevada. Desde el punto de vista organizativo, el uso de chalecos refrigerantes puede resultar engorroso, ya que requieren disponibilidad logística, almacenamiento adecuado y tiempo de preparación, lo que dificulta su implementación operativa en escenarios de emergencia. Por ello, las estrategias de *pre-cooling* y *post-cooling* podrían representar alternativas más viables y eficientes, al poder aplicarse de forma programada sin interferir con la actividad laboral de los bomberos forestales.

5. ¿Se han encontrado con alguna dificultad o contratiempo para el desarrollo del estudio?

La principal limitación del estudio fue el reducido tamaño muestral, ya que solo participaron ocho bomberos forestales, lo que puede limitar la generalización de los resultados. Dado que la exposición repetida al calor y el uso del equipo de protección personal pueden favorecer la adaptación al estrés térmico, fue necesario seleccionar a participantes con experiencia en este tipo de condiciones.

Además, al requerir la reproducción de condiciones controladas en el laboratorio, los bomberos tuvieron que desplazarse desde sus lugares de residencia en tres ocasiones, una para cada condición experimental y otra para la prueba de control. Esta logística, junto con la necesidad de realizar todas las pruebas en un intervalo temporal determinado, redujo la muestra final a solo ocho sujetos.

Inicialmente, también se planteó incluir una condición experimental con ingesta de bebidas heladas para evaluar su impacto en la regulación térmica. Sin embargo, por restricciones logísticas y de tiempo, no fue posible implementarla. Cada sesión experimental implicaba una duración de esfuerzo de aproximadamente 90 minutos, lo que también supuso un reto en la planificación del estudio.

6. ¿Se han obtenido los resultados esperados o se ha producido alguna sorpresa?

Los resultados obtenidos no cumplieron completamente con las expectativas. Se esperaba que tanto el chaleco refrigerante como la retirada parcial del equipo de protección redujeran significativamente la carga térmica. Sin embargo, ninguna de las estrategias logró disminuir la temperatura central ni mejorar la tolerancia al esfuerzo. Es posible que estos resultados estuvieran condicionados por la alta tasa metabólica generada durante el protocolo experimental, diseñado para reproducir escenarios de máxima exigencia a los que potencialmente pueden enfrentarse los bomberos forestales en situaciones reales. Bajo estas condiciones extremas, es probable que las estrategias de enfriamiento evaluadas no fueran lo suficientemente efectivas para contrarrestar el incremento de la temperatura corporal.

Un hallazgo inesperado fue que, aunque el chaleco refrigerante mejoró la sensación térmica y redujo la temperatura de la piel, podría generar una falsa sensación de confort, lo que podría incrementar el riesgo de sobreesfuerzo si los bomberos continúan trabajando sin precaución, subestimando su nivel de fatiga o su estado fisiológico real.

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con investigaciones previas que indican que las estrategias de enfriamiento aplicadas durante el esfuerzo (*per-cooling*) pueden ser menos efectivas en condiciones de calor extremo, en comparación con estrategias previas (*pre-cooling*) o posteriores (*post-cooling*), que han demostrado mayores beneficios en la reducción de la temperatura central y la recuperación térmica. No obstante, la eficacia del *per-cooling* puede depender del método utilizado, la intensidad del trabajo y las condiciones ambientales, por lo que se requieren más estudios en escenarios operativos.

7. ¿Cómo ha sido el proceso de publicación? ¿Han sufrido alguna incidencia?

El proceso de publicación se llevó a cabo en la revista *Frontiers in Public Health*, una publicación de acceso abierto y revisada por pares. En general, fue un proceso enriquecedor y constructivo, que permitió mejorar la calidad del manuscrito original gracias a las observaciones de los revisores.

La principal objeción recibida fue el tamaño muestral reducido. No obstante, justificamos que nuestra muestra estaba en línea con otros estudios que han investigado estrategias similares de mitigación del estrés térmico, lo que permitió establecer comparaciones válidas dentro del campo de estudio.

Otro aspecto que requirió justificación fue el protocolo de hidratación empleado durante los test. En nuestro estudio, permitimos hidratación *ad libitum* durante las pausas de recuperación, una estrategia habitual entre los bomberos forestales en sus despliegues operativos. Uno de los revisores cuestionó esta decisión, argumentando que podría introducir una variable de confusión en la evaluación de las estrategias de enfriamiento. Sin embargo, defendimos esta metodología basándonos en estudios previos que han demostrado que la hidratación *ad libitum* es una opción válida para garantizar una reposición adecuada de líquidos y prevenir la hiponatremia (Lee et al., 2011; Suppiah et al., 2021). Además, investigaciones específicas en bomberos forestales han reportado que no existen diferencias signifi-

cativas entre la hidratación *ad libitum* y los protocolos de ingesta prescrita (Rainey et al., 2013). En nuestro estudio, creemos que este aspecto no tuvo un impacto relevante, ya que el volumen de agua ingerido no mostró diferencias significativas entre condiciones (entre ~850 y ~740 mL).

8. ¿Qué implicaciones tiene este estudio para la prevención de riesgos laborales? ¿Cuál sería la recomendación para mejorar la práctica profesional en relación al problema estudiado?

Los resultados del estudio indican que las estrategias de enfriamiento evaluadas no fueron lo suficientemente efectivas para reducir la carga térmica en bomberos forestales, lo que resalta la necesidad de explorar métodos más intensos o combinaciones de estrategias que optimicen su efectividad.

Uno de los principales riesgos identificados es que el chaleco refrigerante mejora la sensación térmica y reduce la temperatura de la piel, pero no disminuye la temperatura central ni mejora la tolerancia al esfuerzo. Esta falsa sensación de confort podría llevar a los bomberos a subestimar su nivel de fatiga y prolongar su esfuerzo más allá de los límites seguros, incrementando el riesgo de agotamiento térmico y deterioro fisiológico. Por ello, es fundamental implementar estrategias de educación y monitorización fisiológica, permitiendo que los trabajadores reciban *feedback* objetivo sobre su estado térmico y nivel de fatiga.

Como recomendaciones para mejorar la práctica profesional, sería necesario explorar estrategias de enfriamiento combinadas, ya que estudios previos han demostrado que la combinación de chalecos refrigerantes con inmersión de brazos en agua fría o la ingestión de bebidas heladas puede ser más efectiva que el uso de un solo método. Este enfoque permitiría potenciar la disipación del calor corporal y mejorar la recuperación térmica en condiciones operativas. Además, optimizar los periodos de recuperación en entornos termo-neutros (~24°C) podría ser una estrategia accesible y práctica. Como se observó en nuestro estudio, la recuperación en ambientes calurosos limita la disipación del calor corporal, reduciendo la efectividad de las estrategias de enfriamiento. Implementar pausas en entornos termo-neutros, junto con la retirada parcial del equipo de protección, podría favorecer la recuperación térmica y mejorar la seguridad de los bomberos forestales. Complementar estas estrategias con protocolos adecuados de trabajo y descanso optimizaría aún más la prevención del estrés térmico.

Por último, aunque la aplicabilidad del chaleco refrigerante como estrategia *per-cooling* fue limitada, futuros estudios deberían analizar su utilidad en intervenciones post-incendio, donde podría ser una herramienta eficaz para acelerar la recuperación térmica tras una exposición prolongada al calor.

Resumen del artículo⁽¹⁾

Los bomberos forestales trabajan habitualmente en condiciones extremas, caracterizadas por altas temperaturas, terrenos difíciles y el uso de equipos pesados y ropa de protección. Estas condiciones pueden afectar la respuesta termorregula-

dora, aumentando la fatiga y el riesgo de padecer problemas de salud relacionados con el calor.

Este estudio evaluó la efectividad de dos estrategias de enfriamiento durante la realización de actividad física en un entorno caluroso. Para ello, ocho bomberos forestales varones realizaron una prueba en cinta rodante caminando a 6 km/h durante aproximadamente 75 minutos en un ambiente de 30°C y 30% de humedad relativa. Cada 15 minutos, la carga de trabajo se incrementó mediante el aumento de la inclinación de la cinta, con pausas de 5 minutos entre cada fase. Cada bombero realizó la prueba en tres condiciones diferentes: i) utilizando el equipo de protección personal (PPE), ii) utilizando un chaleco refrigerante además del PPE (CHAL) y iii) utilizando el PPE con retirada parcial durante los descansos (PASIVA). Durante todas las pruebas, se registró la temperatura gastrointestinal y de la piel, se monitorizó la frecuencia cardíaca y se evaluó la percepción térmica y del esfuerzo de los participantes.

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la temperatura de la piel (36.3 ± 0.2 , 36.2 ± 0.4 y 35.4 ± 0.6 °C en PPE, PASIVA y CHAL, respectivamente), el esfuerzo fisiológico (5.2 ± 0.4 , 5.6 ± 1.1 y 4.3 ± 1.4 en PPE, PASIVA y CHAL, respectivamente) y la percepción térmica (6.6 ± 0.6 , 6.4 ± 0.7 y 5.3 ± 0.7 en PPE, PASIVA y CHAL, respectivamente), registrándose los menores valores cuando los bomberos utilizaron el chaleco refrigerante. Sin embargo, ninguna estrategia logró reducir la temperatura gastrointestinal ni mejorar la tolerancia al esfuerzo.

En conclusión, aunque el chaleco refrigerante y la retirada parcial del equipo de protección redujeron la temperatura de la piel y la percepción térmica, no fueron lo suficientemente efectivas para disminuir la carga térmica interna ni aumentar la resistencia al esfuerzo en las condiciones experimentales evaluadas. Por ello, se recomienda realizar más estudios que exploren la efectividad de estrategias de enfriamiento más intensas o la combinación de varias técnicas, con el fin de mejorar la gestión del estrés térmico en los bomberos forestales.

Referencias

1. Gutiérrez-Arroyo, J., Rodríguez-Marroyo, J.A., García-Heras, F., Rodríguez-Medina, J., Collado, P.S., Villa-Vicente, J.G. & Carballo-Leyenda, B. Effects of cooling vest and personal protective equipment removal on thermoregulation in wildland firefighters during progressive thermal loads. *Frontiers in Public Health*. 2024, 12: 1408591. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1408591>