



Impacto Del Estrés Térmico En La Eficiencia Y Seguridad De Los Bomberos Durante El Uso De Los Trajes Contra Incendios

Impact Of Thermal Stress on The Efficiency and Safety of Firefighters During the Use of Fire Suits

Bolívar Javier Quisataczi Paredes ¹ 

jquisataczi@gmail.com

Instituto Tecnológico Superior Universitario Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Benjamín Gabriel Quito Cortez ² 

benjaminquito@bqc.com.ec

Instituto Tecnológico Superior Universitario Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Segundo Martin Quito Cortez ³ 

martinquito@bqc.com.ec

Instituto Tecnológico Superior Universitario Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Recepción: 06-11-2024

Aceptación: 16-06-2025

Publicación: 29-07-2025

Como citar este artículo: Quisataczi, B; Quito, B; Quito, S.(2025) **Impacto Del Estrés Térmico En La Eficiencia Y Seguridad De Los Bomberos Durante El Uso De Los Trajes Contra Incendios**. Metrópolis. Revista de Estudios Globales Universitarios, 6 (1), pp. 2531-2571

¹ Tecnólogo en seguridad y salud ocupacional. Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO); Maestrante en Herramientas de Seguridad Industrial y Salud en el Trabajo. (ITSO).

² Abogado, Magister en Educación (Universidad Bicentenario de Aragua) Venezuela, Magister en Ciencias Gerenciales (Universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Doctor en Ciencias de la Educación PHD (UBA) Venezuela, Doctor en Ciencias Gerenciales PHD (universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Postdoctorado en Ciencias de la Educación (UBA) Venezuela.

³ Ingeniero Agrónomo (UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA), Magister en Desarrollo Local, Mención Planificación, Desarrollo y Ordenamiento Territorial (UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA); Doctor en Ciencias de la Educación (UNIVERSIDAD BICENTENARIA DE ARAGUA) VENEZUELA, Rector Instituto Superior Tecnológico CIC YASUNI Docente



Resumen

El estrés térmico es una de las principales amenazas para la seguridad y eficiencia de los bomberos durante los incendios. Aunque los trajes de protección previenen quemaduras y la exposición a sustancias tóxicas, también dificultan la disipación del calor corporal, lo que puede provocar hipertermia, fatiga y deterioro del rendimiento físico y cognitivo. La acumulación de calor reduce la resistencia, afecta la coordinación motora y dificulta la toma de decisiones, aumentando el riesgo de errores en situaciones críticas. Desde una perspectiva fisiológica, el estrés térmico puede causar deshidratación, agotamiento térmico e incluso golpe de calor, incrementando la probabilidad de accidentes y lesiones. Estos efectos se intensifican con altas temperaturas y humedad, lo que hace imprescindible adoptar estrategias de mitigación. Entre las soluciones más efectivas destacan el uso de trajes con mejor ventilación, pausas controladas para la recuperación térmica y una hidratación adecuada según cada emergencia atendida. Estudios recientes indican que la incorporación de chalecos y prendas de enfriamiento en los trajes mejora la regulación térmica y optimiza el desempeño en operaciones de emergencia. Asimismo, la exposición controlada al calor en entrenamientos puede favorecer la adaptación fisiológica de los bomberos, reduciendo su vulnerabilidad al estrés térmico. Para minimizar estos riesgos, es fundamental implementar un enfoque integral que combine avances tecnológicos, protocolos operativos y preparación física, garantizando la seguridad y eficiencia de los bomberos en entornos de alta temperatura. Además, es esencial seguir investigando nuevas tecnologías y estrategias para mejorar la resistencia térmica y optimizar la seguridad en intervenciones de alto riesgo. **Palabras claves:** Estrés, Bomberos, Calor, Seguridad, Rendimiento

Abstract

Heat stress represents one of the main threats to firefighters' safety and operational efficiency during fire interventions. Protective suits are, on the one hand, necessary to prevent burns and exposure to toxic chemical materials, but this limits the body's ability to dissipate its heat, resulting in a risk of hyperthermia and impaired physical and cognitive performance. Heat accumulation reduces endurance, impairs motor coordination, and affects decision-making, all of which are important in emergency situations. Physiologically, heat stress can lead to dehydration, fatigue, and even heat stroke, which increases the risk of injury or accidents. Furthermore, such effects worsen with adverse environmental conditions such as high temperatures and humidity. To mitigate these risks, suits with good ventilation capacity, controlled thermal recovery breaks, and adequate hydration should be employed. According to recent studies, the application of cooling vests and garments on suits would improve firefighters' thermal regulation and task performance. In addition to these results, others provide evidence that training at high temperatures can lead to better tolerance and adaptation to stress. Ultimately, solving this challenge will require a comprehensive strategy that encompasses technology, operations and human factors to maximize the safety and performance of firefighters working in high thermal exposure environments. **Keywords:** Stress, Firefighters, Heat, Safety, Performance.



Introducción.

Los bomberos están constantemente expuestos a entornos de alta exigencia térmica durante la extinción de incendios y operaciones de rescate. Para su protección, utilizan trajes contra incendios diseñados para resistir temperaturas extremas y minimizar el riesgo de quemaduras (González et al., 2021), Sin embargo, aunque estos equipos son esenciales para la seguridad del personal, también pueden contribuir al desarrollo de estrés térmico, una condición fisiológica que afecta el desempeño físico y cognitivo, comprometiendo la eficiencia operativa y la seguridad del bombero en el campo. (Martínez y López, 2020).

Estudios recientes han demostrado que la acumulación de calor dentro del traje de protección puede reducir la capacidad de reacción, aumentar la fatiga y disminuir la toma de decisiones en situaciones críticas Taylor, (2019), Este fenómeno, combinado con la exposición prolongada a altas temperaturas, puede generar deshidratación, fatiga extrema y deterioro en la coordinación motora, lo que incrementa el riesgo de accidentes durante la intervención en emergencias. Fernández et al., (2021).

Debido a los riesgos asociados al estrés térmico, es esencial comprender cómo este fenómeno impacta el rendimiento de los bomberos, así como identificar estrategias eficaces para mitigar sus efectos. El estrés térmico se origina cuando hay un desequilibrio entre la producción y la disipación de calor en el cuerpo humano, una condición que ocurre principalmente cuando la temperatura corporal central aumenta debido a la exposición prolongada a ambientes calurosos o a la acumulación de calor dentro del equipo de protección personal ,EPP, Los trajes contra incendios, aunque diseñados para evitar la entrada de calor externo, limitan también la



capacidad del cuerpo para evaporar el sudor y para transferir calor hacia el ambiente. Esta restricción dificulta la termorregulación del cuerpo, que es esencial para mantener un equilibrio térmico adecuado durante las actividades físicas intensas .Cheung et al., 2016; González et al., (2021).

La acumulación de calor resultante puede llevar a diversas consecuencias fisiológicas y cognitivas, tales como fatiga extrema, deshidratación, confusión mental y una notable reducción de la fuerza física. Estos efectos comprometen la capacidad de los bomberos para responder de manera efectiva a situaciones críticas, afectando tanto su seguridad personal como su eficiencia operativa. De acuerdo con estudios previos, estos factores aumentan el riesgo de errores operativos y reducen significativamente el rendimiento general en tareas de rescate y extinción de incendios, lo que subraya la necesidad de desarrollar intervenciones y tecnologías que optimicen las condiciones de trabajo para los bomberos. (Casa et al., 2019; Martínez y López, 2020).

Desde un punto de vista fisiológico, la exposición prolongada a altas temperaturas genera un incremento en la frecuencia cardíaca y en la carga térmica del organismo, lo que puede derivar en agotamiento por calor e incluso golpes de calor si no se toman medidas adecuadas ,Cheung et al., 20162019). Además, el estrés térmico puede disminuir la capacidad de toma de decisiones y la coordinación motora, factores esenciales para la ejecución de tareas de alto riesgo, como el rescate de víctimas y la manipulación de equipos de extinción. Flouris et al., (2018).

Dada la relevancia del problema, es fundamental evaluar el impacto del estrés térmico en la eficiencia y seguridad de los bomberos, así como explorar estrategias para mitigar sus efectos. Entre estas estrategias se



encuentran el desarrollo de trajes con mejor capacidad de disipación térmica, la implementación de protocolos de hidratación y descanso, y el uso de tecnologías que permitan monitorear la temperatura corporal en tiempo real.

La pregunta principal de investigación para el tema del impacto del estrés térmico en los bomberos podría ser la siguiente:

¿Cómo afecta el estrés térmico en el rendimiento físico y la toma de decisiones de los bomberos durante las emergencias, y qué estrategias de mitigación pueden ser implementadas para mejorar su seguridad y eficiencia operativa?

Esta pregunta busca explorar tanto los efectos fisiológicos como cognitivos del estrés térmico sobre los bomberos, con un enfoque en cómo estos factores afectan su desempeño en situaciones de emergencia. También considera la identificación de soluciones prácticas que podrían reducir los riesgos asociados con el calor extremo en estas condiciones laborales.

La metodología para este estudio debe estar orientada a comprender tanto los aspectos fisiológicos como psicológicos del estrés térmico en los bomberos. Se puede emplear un enfoque mixto, que combine métodos cualitativos y cuantitativos, para abordar las diversas dimensiones del problema de investigación.

Marco Teórico.

El estrés térmico es un fenómeno fisiológico que ocurre cuando el cuerpo humano acumula más calor del que puede disipar, generando una elevación de la temperatura central. (Cheung, 2010) En profesiones de alto riesgo como la de los bomberos, la exposición a temperaturas extremas junto con



el uso de equipos de protección personal, EPP, limita la capacidad del cuerpo para autorregularse, aumentando el riesgo de hipertermia. Casa, (2015).

El cuerpo humano mantiene su temperatura dentro de un rango homeostático de 36.5°C a 37.5°C mediante mecanismos como la sudoración y la vasodilatación periférica. Sin embargo, cuando la temperatura corporal supera los 38°C, se experimentan alteraciones fisiológicas como fatiga, pérdida de la coordinación y disminución de la capacidad cognitiva (González-Alonso, 2008), En bomberos, este aumento de temperatura se ve agravado por la acumulación de calor dentro del traje, lo que puede provocar síntomas de golpe de calor y colapso térmico si no se toman medidas preventivas. Nunneley y Reardon, (2009).

El rendimiento físico de los bomberos está directamente afectado por la carga térmica impuesta durante sus labores. Se ha demostrado que la hipertermia reduce la eficiencia muscular y aumenta la percepción del esfuerzo, lo que limita la capacidad para realizar tareas como la manipulación de herramientas pesadas, el transporte de víctimas y la movilidad en entornos hostiles. Montain y Coyle, (1992).

Además, la deshidratación provocada por la sudoración excesiva disminuye el volumen plasmático, lo que reduce el flujo sanguíneo a los músculos y aumenta el riesgo de calambres y fatiga extrema (Sawka, 2011) ,La fatiga térmica no solo compromete la fuerza y la resistencia, sino que también incrementa la probabilidad de errores operativos debido a la disminución en la capacidad de reacción y coordinación. Baker, (2017).



El rendimiento cognitivo de los bomberos es esencial para la toma de decisiones rápidas y precisas durante situaciones de emergencia. Sin embargo, la exposición a temperaturas elevadas puede comprometer funciones clave como la memoria de trabajo, el tiempo de reacción y la resolución de problemas. (Hancock y Vasmatazidis, 2003).

Estudios han demostrado que la fatiga térmica puede generar un deterioro en la función ejecutiva, afectando la capacidad para evaluar riesgos y coordinar acciones de rescate de manera efectiva ,Taylor, (2016) Este deterioro aumenta el riesgo de accidentes, ya que un bombero bajo estrés térmico puede experimentar confusión, desorientación y reducción de la percepción del entorno. Casa, (2015).

Además, la combinación de hipertermia y esfuerzo físico extremo puede generar una mayor liberación de catecolaminas, lo que incrementa la frecuencia cardíaca y el estrés cardiovascular. (Cheung y McLellan, 1998) Este efecto fisiológico puede resultar peligroso para bomberos con predisposición a enfermedades cardiovasculares o con historial de problemas cardíacos.

Los trajes contra incendios están diseñados para proteger al bombero de temperaturas extremas, contacto directo con llamas y exposición a productos químicos. Sin embargo, su estructura multicapa limita la disipación del calor corporal, lo que contribuye al desarrollo de estrés térmico. Coca et al., (2010).

El ,EPP, utilizado por los bomberos generalmente consta de tres capas principales:



- Capa exterior: fabricada con materiales ignífugos como Nomex o Kevlar, resistentes a altas temperaturas.
- Capa intermedia: barrera térmica que minimiza la transferencia de calor.
- Capa interna: diseñada para absorber y disipar la humedad generada por la sudoración.

Si bien estos trajes brindan una protección fundamental contra el fuego, también pueden convertirse en un factor de riesgo al dificultar la pérdida de calor. Investigaciones han explorado el uso de materiales con mayor capacidad de ventilación y sistemas de refrigeración integrados para mejorar la termorregulación en bomberos. Nazir, (2019).

Dada la gravedad del estrés térmico en la seguridad y desempeño de los bomberos, diversas estrategias han sido propuestas para mitigar sus efectos. Algunas de las más relevantes incluyen:

Hidratación constante: Mantener una adecuada ingesta de líquidos ayuda a regular la temperatura corporal y prevenir la deshidratación. (Casa et al. 2015).

Protocolos de descanso y rotación: Implementar períodos de recuperación durante operaciones prolongadas disminuye la acumulación de calor en el cuerpo. Moran , (2011).

Uso de tecnologías de enfriamiento: Chalecos refrigerantes y sistemas de ventilación pasiva han demostrado ser efectivos para reducir la carga térmica en bomberos. Pryor .(2015).

Monitoreo fisiológico en tiempo real: Dispositivos portátiles permiten medir la temperatura corporal y la frecuencia cardíaca, alertando sobre posibles condiciones de sobrecalentamiento. (Taylor et al., 2016).

Aclimatación al calor: Exponer gradualmente a los bomberos a entornos calurosos mejora su tolerancia fisiológica y reduce el impacto del estrés térmico (Sawka et al., 2011).

El estudio del estrés térmico en bomberos es crucial para mejorar sus condiciones de trabajo y garantizar su seguridad durante intervenciones en incendios estructurales y forestales. Con el aumento de eventos climáticos extremos y el crecimiento de los incendios forestales a nivel global, comprender y mitigar el impacto del calor en los bomberos se ha vuelto una prioridad en la investigación científica y el desarrollo de tecnologías de protección. (Nazir et al., 2019).

Mejorar el diseño de los trajes contra incendios, optimizar protocolos de intervención y adoptar tecnologías avanzadas de monitoreo son pasos esenciales para reducir los riesgos asociados al estrés térmico y garantizar la seguridad y eficiencia de los bomberos en el cumplimiento de su labor.

Estado del Arte

El estrés térmico es una condición crítica que afecta a los bomberos durante sus operaciones, comprometiendo tanto su eficiencia como su seguridad. Este fenómeno se produce cuando el cuerpo no puede disipar adecuadamente el calor generado por la actividad física intensa y la exposición a altas temperaturas, lo que puede llevar a trastornos fisiológicos y cognitivos significativos. (Smith, D. L., Barr, D. A., & Kales, S. N. (2013).



La exposición a ambientes calurosos y la realización de esfuerzos físicos intensos provocan un aumento de la temperatura interna del cuerpo. Para contrarrestar este incremento, el organismo activa mecanismos de termorregulación, como la sudoración y la vasodilatación periférica. Sin embargo, el uso de equipos de protección individual ,EPI, como los trajes contra incendios, puede limitar la eficacia de estos mecanismos al crear una barrera que atrapa el calor y la humedad, formando un microclima entre la piel y la ropa que dificulta la disipación del calor corporal. (Sanitarios Bomberos, 2021).

Esta acumulación de calor puede conducir a la hipertermia, una condición en la que la temperatura corporal supera los límites normales, aumentando el riesgo de padecer enfermedades relacionadas con el calor, como el golpe de calor. Además, la deshidratación resultante de la sudoración excesiva sin una adecuada reposición de líquidos puede disminuir el volumen plasmático, afectando negativamente el rendimiento cardiovascular y muscular. (Bodytrak, 2023).

El estrés térmico no solo afecta al rendimiento físico, sino también a las funciones cognitivas esenciales para la toma de decisiones y la ejecución de tareas complejas. Estudios han demostrado que la hipertermia puede deteriorar la memoria de trabajo, reducir la velocidad de procesamiento de la información y prolongar el tiempo de reacción, incrementando la probabilidad de errores operativos y accidentes durante las intervenciones .(Sanitarios Bomberos, 2021).

Además, la fatiga térmica puede disminuir la capacidad de atención y concentración, factores críticos en situaciones de emergencia donde la precisión y la rapidez son vitales. La combinación de agotamiento físico y



deterioro cognitivo puede comprometer seriamente la seguridad de los bomberos y de las personas a las que intentan rescatar. (Barr, D., Gregson, W., y Reilly, T. (2010).

Para reducir el impacto del estrés térmico en los bomberos, se han propuesto diversas estrategias:

Hidratación Adecuada: Mantener una ingesta regular de líquidos antes, durante y después de las operaciones es fundamental para prevenir la deshidratación y ayudar en la regulación de la temperatura corporal.

Pausas de Recuperación: Implementar períodos de descanso en áreas frescas o sombreadas permite al cuerpo disipar el calor acumulado y reducir la temperatura central.

Entrenamiento y Aclimatación: Programas de entrenamiento que incluyan la exposición gradual al calor pueden mejorar la tolerancia térmica y la eficiencia de los mecanismos de termorregulación.

Monitoreo Fisiológico: El uso de dispositivos que monitoreen en tiempo real parámetros como la temperatura corporal y la frecuencia cardíaca puede ayudar a identificar signos tempranos de estrés térmico y prevenir complicaciones. (Hostler, D., Gallagher, M., & Williamson, T. (2014)

Optimización del EPI: Seleccionar trajes que equilibren la protección térmica con la transpirabilidad y el confort puede reducir la carga térmica y mejorar el rendimiento.

El estrés térmico representa un desafío significativo para la eficiencia y seguridad de los bomberos durante el uso de trajes contra incendios. Comprender los mecanismos fisiológicos y cognitivos afectados, así como



las influencias del diseño del ,EPI, es esencial para desarrollar estrategias efectivas que mitiguen sus efectos. La implementación de prácticas como la hidratación adecuada, las pausas de recuperación, el entrenamiento específico y la optimización del equipo de protección puede contribuir significativamente a mejorar el bienestar y el rendimiento de los bomberos en el cumplimiento de sus deberes. (House, J. R., Lunt, H. C., Taylor, R., & Milligan, G. 2016).

Desarrollo.

Factores que contribuyen al estrés térmico en bomberos

El estrés térmico es un problema significativo para los bomberos, ya que este grupo profesional enfrenta condiciones extremas de calor durante sus intervenciones en incendios. Los factores que contribuyen al estrés térmico en bomberos son multifactoriales y están relacionados tanto con las condiciones ambientales como con las características del equipo de protección, la actividad física que realizan, y su propia condición física. Todos estos elementos juegan un papel crucial en el manejo del calor y la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés térmico.

Las condiciones ambientales son uno de los principales factores que contribuyen al estrés térmico. Durante un incendio, los bomberos enfrentan temperaturas extremadamente altas que pueden superar los 500°C. La temperatura ambiental en combinación con la humedad alta dificulta la evaporación del sudor, lo que empeora la capacidad del cuerpo para regular su temperatura interna (Goswami et al., 2019). Estos factores aumentan el riesgo de golpes de calor y otros trastornos relacionados con el calor, como la deshidratación.



El traje de protección contra incendios también contribuye significativamente al estrés térmico. Aunque su función principal es proteger al bombero del fuego y las altas temperaturas, este equipo es pesado y está diseñado con materiales que, aunque eficaces para resistir el calor, no permiten una adecuada ventilación. Según Casa et al. (2015), la falta de ventilación adecuada en estos trajes contribuye al sobrecalentamiento del cuerpo, ya que impide que el calor corporal se disipe de manera eficiente.

Otro factor clave es la actividad física realizada durante las intervenciones. Los bomberos realizan esfuerzos físicos intensos, como cargar equipos pesados y realizar maniobras de rescate, lo que aumenta la producción interna de calor. Este esfuerzo físico, combinado con la exposición al calor externo, puede elevar significativamente la temperatura corporal y acelerar la deshidratación (Maughan et al., 2012). La duración de estas actividades también es un factor importante, ya que las intervenciones prolongadas aumentan la acumulación de estrés térmico.

La condición física de los bomberos influye en su capacidad para manejar el calor. Aquellos con menor aptitud física tienen una mayor dificultad para regular su temperatura interna y son más propensos a sufrir de fatiga y golpe de calor Kenefick, (2018).

Condiciones ambientales y climáticas

El estrés térmico es un factor crítico en la seguridad de los bomberos, quienes están expuestos a condiciones extremas de calor durante sus intervenciones. Este estrés se debe a una combinación de factores que incluyen las condiciones ambientales, el equipo de protección utilizado, la



actividad física realizada y la condición física individual. Estos factores aumentan la temperatura interna del cuerpo, lo que puede dar lugar a problemas de salud graves como el golpe de calor y la deshidratación.

Uno de los factores clave en el estrés térmico es la temperatura ambiental. Los incendios generan calor extremo, con temperaturas que pueden superar los 500°C en ciertas áreas. A esto se le suma la humedad relativa, que dificulta la evaporación del sudor, un mecanismo natural del cuerpo para regular la temperatura interna (Goswami et al., 2019). En condiciones de alta humedad y calor, los bomberos tienen una mayor probabilidad de sufrir trastornos térmicos debido a la incapacidad del cuerpo para disipar el calor de manera eficiente.

El traje de protección es otro factor que contribuye significativamente al estrés térmico. Si bien estos trajes están diseñados para proteger al bombero de las altas temperaturas y del fuego, también actúan como una barrera para la regulación térmica del cuerpo. Los trajes están hechos de materiales aislantes que impiden la disipación adecuada del calor, lo que puede elevar la temperatura interna del cuerpo del bombero. Según (Casa et al. 2015), el uso de trajes pesados y sin suficiente ventilación agrava el sobrecalentamiento y aumenta el riesgo de enfermedades relacionadas con el calor.

La actividad física también juega un papel importante en el estrés térmico. Los bomberos realizan esfuerzos físicos intensos, como cargar equipo pesado y llevar a cabo maniobras de rescate, lo que genera una producción interna de calor adicional. Este esfuerzo, combinado con la exposición al calor del incendio, incrementa el riesgo de deshidratación y fatiga (Maughan et al., 2012). La duración de estas actividades es otro factor



importante: intervenciones prolongadas aumentan el estrés térmico debido a la acumulación de calor en el cuerpo.

Características del traje de protección contra incendios.

El traje de protección contra incendios es un componente esencial del equipo de los bomberos, diseñado para ofrecer una barrera eficaz contra el calor extremo, las llamas y los agentes contaminantes presentes en los incendios. Su función principal es reducir la exposición térmica y mejorar la seguridad del usuario sin comprometer la movilidad y el confort ,(Smith et al., 2020).

Este tipo de indumentaria está compuesto por tres capas principales: una capa exterior fabricada con materiales resistentes a las llamas, como Nomex® y PBI, que protege contra el fuego y la abrasión; una barrera de humedad que evita la penetración de líquidos y vapor de agua, previniendo quemaduras por escaldadura; y una capa térmica interna, encargada de minimizar la transferencia de calor al cuerpo y mejorar la regulación térmica (Jones y Brown, 2019).

Además de la protección térmica, los trajes deben garantizar transpirabilidad para reducir el estrés térmico del bombero. Investigaciones han demostrado que la acumulación de calor interno es un factor de riesgo importante durante intervenciones prolongadas, por lo que se han desarrollado textiles con mayor capacidad de disipación de calor sin comprometer la seguridad (Lee et al., 2018). Asimismo, el diseño ergonómico del traje incorpora refuerzos en zonas de alta exigencia, como rodillas y codos, permitiendo una mejor movilidad en entornos de emergencia ,Williams, (2021).



Los avances tecnológicos han permitido la integración de sistemas de enfriamiento y sensores térmicos, que monitorean la temperatura corporal del bombero y emiten alertas en caso de riesgo de sobrecalentamiento (Caldwell, 2022). Además, el uso de bandas reflectantes mejora la visibilidad en condiciones de baja iluminación, contribuyendo a la seguridad operativa Roberts, (2023).

El traje de protección contra incendios es un elemento clave en la seguridad de los bomberos, y su evolución ha permitido mejorar su rendimiento térmico, ergonomía y transpirabilidad. Las innovaciones en materiales y diseño continúan siendo esenciales para reducir el impacto del calor y optimizar la protección en situaciones de alto riesgo.

Intensidad y duración de la actividad física.

La intensidad y duración de la actividad física son factores determinantes en la promoción de la salud y el rendimiento físico. La intensidad se refiere al nivel de esfuerzo requerido durante una actividad y puede clasificarse en leve, moderada o vigorosa, mientras que la duración se refiere al tiempo total dedicado al ejercicio WHO, (2020).

Según la Organización Mundial de la Salud ,OMS, para obtener beneficios significativos en la salud, los adultos deben realizar al menos 150 a 300 minutos de actividad física moderada o 75 a 150 minutos de actividad vigorosa a la semana (WHO, 2020). Además, estudios recientes han demostrado que actividades de alta intensidad en sesiones cortas, como el entrenamiento interválico de alta intensidad, pueden generar mejoras cardiovasculares y metabólicas equivalentes a sesiones prolongadas de ejercicio de intensidad moderada (Weston et al., 2019).



La intensidad del ejercicio influye directamente en la respuesta fisiológica del organismo. Se ha demostrado que entrenamientos vigorosos promueven una mayor oxidación de grasas, mejora del consumo máximo de oxígeno ,VO₂ máx, y mayor eficiencia en el metabolismo energético (Gibala et al., 2021). Sin embargo, una duración excesiva del ejercicio sin una adecuada recuperación puede provocar fatiga, estrés oxidativo y aumento del riesgo de lesiones musculoesqueléticas (Peake et al., 2020).

Desde una perspectiva de salud pública, diversos estudios sugieren que incluso pequeñas cantidades de ejercicio pueden aportar beneficios. La acumulación de actividad física a lo largo del día, mediante ejercicios cortos pero frecuentes, mejora la función cardiovascular y reduce el riesgo de enfermedades metabólicas (Ekkekakis et al., 2022).

La combinación adecuada de intensidad y duración de la actividad física es clave para maximizar los beneficios en la salud y el rendimiento. La personalización del ejercicio en función de las capacidades y objetivos individuales es fundamental para garantizar su efectividad y sostenibilidad a largo plazo.

Consecuencias del estrés térmico en la eficiencia y seguridad

El estrés térmico es una condición fisiológica que ocurre cuando el cuerpo no puede disipar eficientemente el calor acumulado, lo que puede comprometer tanto la eficiencia operativa como la seguridad de los trabajadores expuestos a ambientes de altas temperaturas, como los bomberos y personal de respuesta a emergencias (Casa et al., 2010).

Desde una perspectiva fisiológica, el estrés térmico provoca un aumento de la temperatura central, lo que puede generar fatiga prematura,



deshidratación y reducción del rendimiento cognitivo y físico (Sawka et al., 2011). Estudios han demostrado que temperaturas superiores a 38.5 °C afectan la capacidad de concentración, la toma de decisiones y la velocidad de reacción, lo que incrementa el riesgo de accidentes laborales (Kenny et al., 2015).

A nivel cardiovascular, el estrés térmico exige una mayor respuesta del sistema circulatorio, aumentando la frecuencia cardíaca y reduciendo el volumen de sangre disponible para la oxigenación muscular, lo que limita la resistencia física y la eficiencia en tareas exigentes (Cheung et al., 2010). Además, la hipertermia severa puede inducir colapso térmico, golpes de calor e incluso la muerte en condiciones extremas (Epstein & Roberts, 2011).

En entornos laborales como el combate de incendios, el uso de equipos de protección personal ,EPP, limita la disipación del calor corporal, lo que agrava la acumulación de calor y el riesgo de agotamiento térmico (McLellan & Selkirk, 2006). Para mitigar estos efectos, se han desarrollado estrategias como la aclimatación progresiva, pausas controladas, hidratación adecuada y la incorporación de tecnologías de enfriamiento en la indumentaria (Brake & Bates, 2002).

El estrés térmico tiene un impacto significativo en la eficiencia y seguridad de los trabajadores expuestos al calor extremo. La implementación de estrategias preventivas y mejoras en los materiales de los equipos de protección son fundamentales para reducir el riesgo y mejorar el rendimiento en situaciones de alta demanda térmica.



Impacto en el desempeño físico.

El desempeño físico se refiere a la capacidad del cuerpo para realizar tareas físicas con eficiencia y eficacia, y está determinado por una combinación de factores fisiológicos, psicológicos y ambientales. Diversos estudios han demostrado que el ejercicio regular, en su diversidad de formas, tiene un impacto significativo en la mejora de la fuerza, la resistencia, la flexibilidad y la salud cardiovascular, lo que en conjunto optimiza el rendimiento físico general (Bouchard et al., 2012).

La condición física general está directamente influenciada por la frecuencia, intensidad, tiempo y tipo de ejercicio. Los entrenamientos de alta intensidad y corta duración, como el entrenamiento interválico de alta intensidad ,HIIT, han demostrado ser particularmente efectivos en la mejora de la capacidad cardiovascular, la reducción de grasa corporal y el aumento de la resistencia muscular (Gillen & Gibala, 2018). Esto es fundamental en entornos donde el desempeño físico es crucial, como el ámbito deportivo o laboral.

Por otro lado, la fatiga muscular y el estrés físico tienen un impacto negativo en el desempeño, afectando no solo la capacidad de realizar tareas físicas repetitivas sino también la cognición y la toma de decisiones. Según un estudio de Haskell et al. (2014), la fatiga prolongada puede disminuir significativamente la fuerza de contracción muscular, lo que resulta en una reducción de la eficiencia del desempeño físico en atletas y trabajadores expuestos a esfuerzos continuos.

La recuperación es también un factor crucial que afecta el desempeño físico. La falta de una adecuada recuperación entre sesiones de ejercicio puede aumentar el riesgo de lesiones y disminuir la capacidad de realizar



tareas de alta intensidad. En un estudio reciente, O'Neal et al. (2019) encontraron que el descanso adecuado y la nutrición óptima son necesarios para maximizar el rendimiento en actividades físicas prolongadas y para prevenir el agotamiento excesivo.

El desempeño físico está condicionado por una interacción compleja entre factores como la intensidad y la duración del ejercicio, la recuperación, la nutrición y los niveles de fatiga. La implementación de un programa de entrenamiento bien equilibrado, junto con estrategias efectivas de recuperación, puede optimizar el rendimiento físico y mejorar la calidad de vida.

Efectos sobre la toma de decisiones

La toma de decisiones es un proceso cognitivo fundamental que influye en el comportamiento humano en diversas áreas, desde la vida cotidiana hasta el ámbito profesional y deportivo. La calidad y rapidez con la que tomamos decisiones pueden verse afectadas por diversos factores, incluidos los efectos del estrés, la fatiga, el nivel de concentración y las condiciones ambientales. Investigaciones recientes sugieren que factores fisiológicos y psicológicos pueden modificar la forma en que las personas procesan información y eligen entre diferentes alternativas (González et al., 2020).

El estrés es uno de los factores que más influye en la toma de decisiones. En situaciones de alta presión, el estrés puede reducir la capacidad de tomar decisiones racionales y llevar a respuestas impulsivas o no óptimas (Shapiro et al., 2016). Un estudio de Starcke y Brand (2016) encontró que en condiciones de estrés agudo, las personas tienden a optar por decisiones



más arriesgadas y menos fundamentadas, especialmente cuando se enfrentan a recompensas inmediatas.

La fatiga es otro factor que impacta la toma de decisiones. Según un estudio de Horstmann et al. (2018), la fatiga provoca un deterioro en la capacidad para evaluar opciones de manera efectiva, lo que puede llevar a decisiones menos eficientes o precipitadas. Esto es especialmente relevante en contextos laborales, donde la toma de decisiones frecuente y rápida puede ser esencial, como en el caso de los bomberos o personal de emergencia.

Además, el contexto ambiental y la sobrecarga cognitiva también juegan un papel importante en la toma de decisiones. Un ambiente sobrecargado de estímulos o información puede dificultar la capacidad para procesar datos de manera efectiva y llevar a decisiones menos precisas (Maule & Hockey, 2015). Investigaciones en el ámbito laboral sugieren que condiciones de trabajo extremas o sobrecargadas de información pueden comprometer la calidad de las decisiones tomadas, lo que afecta directamente la eficiencia y seguridad en diversas profesiones (Williams & Hwang, 2017).

Por último, el entrenamiento y la experiencia son factores que mejoran la toma de decisiones. Las personas con mayor experiencia en un área específica suelen ser más rápidas y precisas en la toma de decisiones, ya que sus cerebros han desarrollado patrones automáticos para procesar información relevante (Ericsson et al., 2018).

Los efectos sobre la toma de decisiones son el resultado de una interacción compleja entre factores emocionales, fisiológicos y ambientales. Reconocer estos factores y cómo impactan el proceso decisional puede ser



crucial en contextos de alta exigencia, como el ámbito laboral y deportivo, para mejorar la eficiencia y reducir el riesgo de errores.

El estrés térmico afecta la función cognitiva, disminuyendo la concentración, la memoria y la velocidad de reacción. Esto puede llevar a errores en la toma de decisiones, aumentando los riesgos durante las operaciones de rescate.

Riesgos de deshidratación y golpe de calor

La deshidratación y el golpe de calor son condiciones graves relacionadas con la exposición prolongada al calor y la pérdida excesiva de líquidos y electrolitos, especialmente en contextos de actividad física intensa o condiciones ambientales extremas. Ambos representan riesgos significativos para la salud, con implicaciones especialmente graves para atletas, trabajadores al aire libre y personal de emergencia. La deshidratación ocurre cuando el cuerpo pierde más agua de la que consume, lo que afecta negativamente el equilibrio de los electrolitos y las funciones fisiológicas (Sawka et al., 2011). Por otro lado, el golpe de calor es una emergencia médica que ocurre cuando el cuerpo no puede regular su temperatura interna debido a la exposición excesiva al calor, lo que puede provocar daño a los órganos y tejidos (Casa et al., 2015).

La deshidratación afecta diversos sistemas corporales, incluyendo el sistema cardiovascular y el sistema nervioso, reduciendo la capacidad del cuerpo para regular la temperatura y aumentando la fatiga (Kenefick, 2018). Según un estudio de Armstrong et al. (2016), incluso una deshidratación leve puede reducir el rendimiento físico, ya que disminuye la circulación sanguínea, lo que provoca que el corazón tenga que trabajar más para



suministrar oxígeno y nutrientes a los músculos activos. Además, la deshidratación puede afectar la función cognitiva, aumentando el riesgo de errores de juicio y la toma de decisiones inapropiadas, lo que es particularmente peligroso en profesiones de alto riesgo como la de los bomberos (Maughan, 2015).

El golpe de calor, por su parte, es una condición crítica que puede ser fatal si no se trata de inmediato. Ocurre cuando el cuerpo alcanza temperaturas internas superiores a los 40°C, lo que interrumpe la función del sistema nervioso central y afecta el equilibrio de fluidos y electrolitos (Cheung et al., 2015). Los síntomas incluyen confusión, pérdida de conciencia, y en casos severos, insuficiencia orgánica. Las personas más vulnerables al golpe de calor incluyen a aquellos con poca aclimatación al calor, los que realizan actividades físicas intensas sin la adecuada hidratación, y los que están expuestos a condiciones extremas durante largos períodos (Bouchama et al., 2007).

Los riesgos asociados con la deshidratación y el golpe de calor pueden mitigarse mediante una adecuada gestión de líquidos, aclimatación progresiva al calor, y el uso de estrategias de enfriamiento en ambientes de alta temperatura (McDermott et al., 2017). Es fundamental que las personas que realizan actividades físicas intensas o que están expuestas a condiciones de calor extremo estén informadas sobre la importancia de mantenerse hidratadas y reconocer los signos de deshidratación y golpe de calor.

Tanto la deshidratación como el golpe de calor son riesgos significativos para la salud, que pueden ser prevenidos y gestionados mediante



estrategias adecuadas de hidratación, aclimatación y prevención en ambientes de alto calor.

Estrategias de mitigación del estrés térmico

El estrés térmico es una condición fisiológica que se presenta cuando el cuerpo humano no puede mantener su temperatura interna dentro de los límites óptimos debido a la exposición a temperaturas extremas. Este fenómeno puede ser particularmente peligroso en actividades de alta intensidad, como el trabajo físico en condiciones de calor extremo o durante la práctica deportiva. El estrés térmico puede llevar a consecuencias graves, como la deshidratación, el golpe de calor y la disminución del rendimiento físico y cognitivo (Armstrong et al., 2016). Por esta razón, la implementación de estrategias de mitigación es esencial para proteger la salud y el bienestar de las personas expuestas a estos riesgos.

Una de las estrategias más efectivas para mitigar el estrés térmico es la hidratación adecuada. El consumo regular de líquidos y electrolitos es fundamental para mantener el equilibrio hídrico y evitar la deshidratación, que agrava el riesgo de estrés térmico (Maughan, 2015). Estudios han demostrado que la hidratación durante la actividad física, especialmente en ambientes calurosos, mejora la capacidad del cuerpo para regular su temperatura y reduce la fatiga (Sawka et al., 2011). Las bebidas isotónicas, que contienen electrolitos como sodio y potasio, son particularmente efectivas en la prevención de la deshidratación y la mejora del rendimiento (Cheung et al., 2015).

Otra estrategia clave es la aclimatación progresiva al calor, que permite que el cuerpo se adapte a las altas temperaturas de manera gradual,



aumentando su capacidad para sudar y enfriarse eficientemente. La aclimatación, que generalmente se logra a través de la exposición controlada al calor durante un período de tiempo, reduce la incidencia de golpes de calor y mejora la tolerancia térmica (Bouchama et al., 2007). Según un estudio realizado por Gagnon et al. (2017), la aclimatación en ambientes cálidos mejora significativamente la capacidad del cuerpo para regular su temperatura interna, permitiendo un mejor rendimiento físico en condiciones de calor.

El uso de ropa adecuada también es una estrategia fundamental para mitigar el estrés térmico. Los trajes ligeros, transpirables y diseñados para facilitar la evaporación del sudor, como los utilizados en la industria y el deporte, permiten una mayor disipación del calor (Kenefick, 2018). Asimismo, el uso de ropa refrescante, como prendas que absorben la humedad o sistemas de enfriamiento personal, se ha demostrado eficaz en la prevención del estrés térmico (Lorenzo et al., 2010).

La implementación de descansos programados y la reducción de la intensidad de la actividad física en condiciones extremas también son esenciales. Estos descansos permiten que el cuerpo se recupere y regule su temperatura antes de reanudar la actividad, reduciendo la probabilidad de que se desarrolle estrés térmico (Maughan et al., 2012). La gestión adecuada de los turnos de trabajo y la vigilancia constante del estado físico de los trabajadores son cruciales en ambientes laborales de alta temperatura.

Las estrategias de mitigación del estrés térmico incluyen una combinación de hidratación adecuada, aclimatación progresiva, ropa apropiada, descansos regulares y reducción de la carga térmica. Estas estrategias no



solo son esenciales para la protección de la salud, sino también para la mejora del rendimiento en actividades de alto esfuerzo físico en condiciones calurosas.

Diseño de trajes con tecnologías de refrigeración.

El estrés térmico es una preocupación creciente en diversas profesiones que requieren esfuerzo físico bajo condiciones de calor extremo, como los bomberos, trabajadores industriales y atletas. En este contexto, el diseño de trajes con tecnologías de refrigeración ha emergido como una solución efectiva para mitigar los efectos del calor y mejorar el rendimiento físico y la seguridad de los individuos expuestos. Estos trajes no solo buscan proteger contra el estrés térmico, sino también optimizar el confort y la eficiencia operativa en entornos calurosos y peligrosos (Goswami et al., 2019).

Una de las tecnologías más prometedoras en el diseño de estos trajes es el enfriamiento por circulación de líquidos. Este sistema utiliza un fluido refrigerante que circula a través de un sistema de tubos integrados en la prenda, absorbiendo el calor corporal y disipándolo. Según un estudio de McArdle et al. (2018), los trajes de refrigeración líquida han demostrado ser efectivos para reducir la temperatura central del cuerpo en condiciones de calor extremo, aumentando significativamente la tolerancia al calor y reduciendo el riesgo de golpes de calor.

Otra tecnología ampliamente utilizada es el enfriamiento por evaporación, que depende de la transferencia de calor a través de la evaporación de agua. Este sistema es común en trajes diseñados para actividades deportivas y laborales intensas, ya que permite mantener una temperatura



corporal estable sin el uso de electricidad. Investigaciones de Wang et al. (2020) indicaron que los trajes que utilizan tecnologías de evaporación tienen un rendimiento sobresaliente en ambientes con alta humedad, favoreciendo la regulación térmica sin recargar al usuario con un exceso de peso.

El enfriamiento basado en materiales de cambio de fase ,PCM, también ha sido incorporado en el diseño de trajes. Los ,PCM, son materiales que absorben o liberan calor al cambiar de estado, lo que ayuda a mantener una temperatura constante en el interior de la prenda. Un estudio realizado por Watanabe et al. (2017) mostró que los trajes con ,PCM,tienen la capacidad de regular la temperatura interna, ofreciendo un ambiente térmico más cómodo para el usuario, incluso en situaciones extremas.

Además de estas tecnologías, el diseño ergonómico juega un papel crucial en la efectividad de los trajes de refrigeración. Un traje que sea cómodo y permita libertad de movimiento es esencial para garantizar que el usuario pueda desempeñar sus funciones de manera eficiente sin verse limitado por el equipo. La integración de materiales transpirables, que permitan la salida de sudor y el paso de aire, mejora aún más la efectividad de las tecnologías de refrigeración (Lorenzo et al., 2018).

Los avances en el diseño de trajes con tecnologías de refrigeración han sido fundamentales para mejorar la seguridad y el rendimiento en condiciones de calor extremo. Tecnologías como el enfriamiento por circulación de líquidos, la evaporación y los materiales de cambio de fase están transformando la manera en que los trajes de protección son utilizados, brindando soluciones eficaces para mitigar el estrés térmico y mejorar la calidad de vida laboral y deportiva.



Implementación de pausas de recuperación

La implementación de pausas de recuperación es una estrategia fundamental para mitigar el riesgo de fatiga y estrés térmico en entornos laborales o deportivos donde la actividad física intensa es constante. Las pausas de recuperación no solo favorecen la recuperación física y mental, sino que también contribuyen a mejorar el rendimiento y prevenir el agotamiento. En contextos de trabajo en calor extremo, como los que enfrentan los bomberos o trabajadores de construcción, las pausas programadas son esenciales para reducir el impacto de la fatiga térmica y mejorar la seguridad laboral (Casa et al., 2015).

Un aspecto crucial de las pausas de recuperación es su frecuencia y duración. Diversos estudios sugieren que las pausas deben ser programadas de acuerdo con la carga de trabajo y las condiciones ambientales para ser efectivas. Por ejemplo, investigaciones de Cheung et al. (2017) muestran que las pausas más cortas pero más frecuentes durante periodos de calor intenso son más eficaces que las pausas largas e infrecuentes, ya que permiten a los trabajadores regular mejor su temperatura corporal. Las pausas deben ser lo suficientemente largas para permitir una reposición de líquidos, reducción de la temperatura corporal y restablecimiento de la energía, pero no tan prolongadas como para interferir significativamente en la productividad.

La gestión adecuada de las pausas también se asocia con la reducción de errores humanos y la mejora de la toma de decisiones. Según un estudio de Maughan et al. (2012), el descanso periódico previene la fatiga mental, lo cual es crítico en ambientes laborales de alto riesgo. La fatiga mental afecta negativamente la capacidad de concentración y aumenta la probabilidad de



errores que pueden comprometer la seguridad, como es el caso de los bomberos que enfrentan condiciones extremas durante operaciones de rescate (Kenefick, 2018).

En el ámbito deportivo, las pausas de recuperación también juegan un papel clave en la mejora del rendimiento. Un estudio realizado por Gagnon et al. (2019) encontró que los atletas que tomaron descansos regulares durante el ejercicio en condiciones calurosas mantuvieron un mejor rendimiento físico y experimentaron una menor acumulación de fatiga en comparación con aquellos que no realizaron pausas. Las pausas permiten que los músculos se recuperen, evitando lesiones y mejorando la eficiencia en el rendimiento.

La implementación de pausas de recuperación debe ser acompañada de una educación adecuada sobre la importancia de estos descansos. Los trabajadores o deportistas deben estar capacitados para reconocer los signos de fatiga y entender la necesidad de tomar descansos regulares, lo que garantiza una mejor aceptación de estas prácticas (Sawka et al., 2011).

La implementación de pausas de recuperación en ambientes de alta demanda física y térmica es una estrategia clave para optimizar el rendimiento y proteger la salud de los trabajadores y atletas. Las pausas frecuentes y adecuadamente gestionadas, acompañadas de una correcta hidratación y control del estrés térmico, son fundamentales para prevenir el agotamiento y mejorar la eficiencia en actividades de alto esfuerzo.

Programas de hidratación y nutrición

La implementación de programas de hidratación y nutrición es esencial para optimizar el rendimiento y prevenir el agotamiento en ambientes de



trabajo o deportivos de alta exigencia. Estos programas ayudan a mantener el equilibrio hídrico, garantizar un aporte adecuado de nutrientes y mejorar la resistencia y recuperación ante el estrés térmico o la fatiga física. En particular, en ambientes calurosos o durante esfuerzos prolongados, la hidratación adecuada y la nutrición balanceada juegan un papel crucial en la prevención de trastornos como el golpe de calor, la deshidratación y la fatiga generalizada (Maughan et al., 2012).

El agua es el componente esencial en la hidratación, pero los líquidos que contienen electrolitos, como sodio y potasio, son igualmente importantes para la recuperación y el rendimiento. Durante la actividad física intensa, la sudoración provoca la pérdida no solo de agua, sino también de estos electrolitos, lo que puede alterar el equilibrio hídrico del cuerpo y afectar negativamente el rendimiento físico. Según un estudio de Sawka et al. (2011), las bebidas deportivas isotónicas que contienen electrolitos han demostrado ser más eficaces para mejorar la absorción de agua y evitar el riesgo de deshidratación en ambientes calurosos.

Por otro lado, los programas nutricionales deben enfocarse en la ingesta adecuada de carbohidratos, proteínas y grasas para mantener la energía y favorecer la recuperación muscular. La carga de carbohidratos, por ejemplo, es fundamental para los atletas y trabajadores en entornos de calor, ya que proporciona energía rápida y mejora la capacidad de realizar esfuerzos prolongados. Según un estudio realizado por (Jeukendrup y Killer 2010), la ingesta de carbohidratos antes y durante la actividad física mejora el rendimiento y retrasa la aparición de fatiga. Además, el consumo de proteínas después de la actividad física es crucial para la reparación y



regeneración muscular, especialmente después de esfuerzos prolongados o intensos (Phillips, 2014).

Además, la alimentación preentrenamiento es importante para maximizar el rendimiento. Un estudio de Slater et al. (2016) demostró que una comida rica en carbohidratos y moderada en proteínas, ingerida 2 a 3 horas antes de la actividad, mejora el rendimiento y ayuda a mantener la energía durante todo el esfuerzo. Asimismo, una buena nutrición post-entrenamiento ayuda a restaurar las reservas de glucógeno y facilita la recuperación, lo que reduce el riesgo de lesiones y mejora la capacidad de rendimiento en sesiones futuras (Kerksick et al., 2018).

Los programas de hidratación y nutrición son componentes clave para mantener la eficiencia y seguridad tanto en ambientes laborales como deportivos, especialmente bajo condiciones de estrés térmico. Un enfoque integral que incluya la hidratación adecuada, el consumo de electrolitos, y una nutrición balanceada antes, durante y después de la actividad física es esencial para prevenir la deshidratación, la fatiga y mejorar el rendimiento físico.

El consumo adecuado de líquidos antes, durante y después de la exposición al calor es fundamental para prevenir la deshidratación. La ingesta de electrolitos también es clave para mantener el equilibrio hídrico.

Discusión.

El estrés térmico es una de las mayores amenazas para los bomberos, quienes enfrentan condiciones extremas de calor durante las intervenciones en incendios. El uso de trajes de protección, diseñados para salvaguardar la integridad física de los bomberos frente al fuego, también



se convierte en un factor que contribuye significativamente al estrés térmico. Esta interacción entre la protección y la acumulación de calor dentro del traje plantea riesgos tanto para la eficiencia como para la seguridad de los bomberos. En esta discusión, se exploran los principales factores que contribuyen al estrés térmico en este contexto y sus implicaciones sobre el desempeño y la salud de los bomberos, así como las estrategias potenciales para mitigar estos riesgos.

Uno de los factores clave que contribuye al estrés térmico en los bomberos es el diseño del traje de protección contra incendios. Aunque los trajes están fabricados con materiales avanzados diseñados para resistir temperaturas extremas, estos mismos materiales actúan como una barrera térmica que limita la capacidad del cuerpo para disipar el calor. La capacidad limitada de ventilación de estos trajes incrementa la carga térmica interna, lo que puede llevar a un sobrecalentamiento del cuerpo. El calor generado por el entorno, combinado con el esfuerzo físico que los bomberos deben realizar, puede elevar rápidamente la temperatura corporal central, aumentando el riesgo de golpe de calor y agotamiento térmico (Goswami et al., 2019).

Casa et al. (2015) destacan que, aunque los trajes de protección proporcionan una barrera esencial contra las llamas, su diseño puede ser una limitación para la eficiencia térmica. Los materiales usados en los trajes, aunque resistentes al fuego, son poco transpirables y, por ende, dificultan la regulación térmica del cuerpo. Esto crea un ambiente térmicamente estresante que compromete la capacidad de los bomberos para mantener un rendimiento óptimo durante las intervenciones. Además, los trajes son pesados y voluminosos, lo que puede reducir la movilidad y



aumentar la fatiga. En consecuencia, el riesgo de errores operativos y accidentes durante una intervención puede verse incrementado, ya que los bomberos no pueden moverse con la misma agilidad ni realizar las tareas con la misma eficacia (Maughan et al., 2012).

El estrés térmico también está determinado por las condiciones ambientales en las que los bomberos operan. Las temperaturas extremas generadas por los incendios, junto con factores como la humedad relativa y la radiación térmica, elevan el riesgo de un incremento de la temperatura corporal. Los incendios generan calor extremo, y en espacios cerrados o confinados, las temperaturas pueden superar los 500 °C (Kenefick, 2018). A medida que la temperatura ambiental aumenta, el esfuerzo que el cuerpo debe hacer para regular su temperatura interna se intensifica, lo que aumenta las probabilidades de sufrir trastornos térmicos.

Un estudio realizado por Sawka et al. (2011) concluyó que la humedad en el ambiente también tiene un impacto significativo en la eficiencia de la evaporación del sudor, lo que impide que el cuerpo enfríe adecuadamente. A esto se le suma la radiación térmica directa del fuego, que puede incrementar la carga térmica en el cuerpo de los bomberos. Según Goswami et al. (2019), en condiciones de alta temperatura y humedad, la evaporación del sudor se ve obstaculizada, lo que limita la capacidad del cuerpo para mantenerse fresco. Este desequilibrio térmico crea un entorno propenso a la deshidratación y a la fatiga térmica, afectando tanto la seguridad como la eficiencia de los bomberos.

La actividad física es otro factor determinante en la acumulación de estrés térmico. Los bomberos realizan esfuerzos físicos extremadamente intensos durante las intervenciones, como levantar y transportar equipo



pesado, maniobras de rescate y control de incendios. Estas actividades generan una cantidad significativa de calor interno que, al combinarse con las altas temperaturas del entorno y las restricciones impuestas por el traje, puede resultar en un sobrecalentamiento rápido del cuerpo.

La intensidad de la actividad física aumenta directamente la producción interna de calor, lo que puede comprometer la regulación térmica del cuerpo, aumentando la probabilidad de sufrir golpes de calor o agotamiento térmico. Kenefick (2018) destaca que las demandas físicas de los bomberos durante las intervenciones incrementan significativamente la cantidad de calor que el cuerpo debe disipar. La falta de pausas de enfriamiento adecuadas y la imposibilidad de reducir la actividad física en un incendio incrementan aún más los riesgos de trastornos térmicos. Además, el esfuerzo físico durante las intervenciones puede reducir la habilidad cognitiva de los bomberos, lo que afecta negativamente su capacidad de tomar decisiones rápidas y efectivas en situaciones críticas (Maughan et al., 2012).

El estrés térmico tiene repercusiones no solo en la eficiencia física, sino también en la función cognitiva de los bomberos. La fatiga térmica puede alterar la capacidad de los bomberos para tomar decisiones rápidas y adecuadas, lo que aumenta el riesgo de errores en la ejecución de maniobras críticas. Kenefick (2018) sostiene que la deshidratación y el calor extremo no solo afectan el rendimiento físico, sino que también deterioran las funciones cognitivas, lo que puede comprometer la capacidad de un bombero para evaluar correctamente una situación de incendio y responder de manera eficaz.



La deshidratación, a su vez, reduce el volumen sanguíneo y la circulación eficiente, lo que provoca que los órganos, incluido el cerebro, reciban menos oxígeno y nutrientes, afectando las funciones cognitivas esenciales para la toma de decisiones. Sawka et al. (2011) concluyen que el estrés térmico no solo afecta la capacidad física, sino que interfiere con la concentración y el juicio, aumentando la probabilidad de errores operativos durante las intervenciones.

Conclusiones.

El estrés térmico es un riesgo significativo para la seguridad y el rendimiento de los bomberos, ya que afecta tanto su capacidad física como cognitiva durante las intervenciones. Ante los efectos adversos del calor extremo, es crucial implementar estrategias efectivas que reduzcan los riesgos asociados y mejoren las condiciones de trabajo de estos profesionales, contribuyendo al bienestar y a la eficiencia operativa en situaciones de alto riesgo.

Una recomendación clave es la mejora en el diseño de los trajes contra incendios. Aunque estos trajes son esenciales para proteger al bombero del calor y las llamas, su estructura multicapa dificulta la disipación del calor corporal, lo que puede aumentar la carga térmica interna. Es fundamental investigar materiales más ligeros, con mayor capacidad de ventilación y que faciliten una disipación eficiente del calor, así como integrar sistemas de refrigeración que ayuden a regular la temperatura sin comprometer la seguridad o movilidad del bombero. Los chalecos refrigerantes y otros dispositivos de enfriamiento pueden ser herramientas eficaces en este sentido, especialmente en ambientes de emergencia prolongados.



Además, es imprescindible establecer protocolos rigurosos de hidratación y descanso durante las intervenciones. La deshidratación aumenta el riesgo de fatiga y calambres, lo que compromete el rendimiento operativo. Se recomienda la implementación de estaciones de descanso y el monitoreo constante de los niveles de temperatura corporal y frecuencia cardíaca, utilizando tecnologías de monitoreo en tiempo real. Estas herramientas permitirían a los líderes de equipos tomar decisiones informadas y oportunas sobre la necesidad de rotar al personal o brindar descansos para evitar el sobrecalentamiento y el agotamiento excesivo.

La aclimatación al calor es otro aspecto importante. Los programas de entrenamiento controlado en ambientes calurosos pueden mejorar la tolerancia al calor, reduciendo el riesgo de agotamiento y golpe de calor. Estos programas deben ser supervisados por expertos en salud ocupacional para garantizar que se mantengan dentro de un rango seguro para los bomberos.

Es fundamental combinar la mejora de los equipos de protección, estrategias de hidratación y descanso, y el monitoreo constante de los signos fisiológicos, para proteger a los bomberos y garantizar su rendimiento en condiciones extremas, maximizando así su seguridad y eficacia operativa.

Recomendaciones.

El estrés térmico representa un desafío significativo para la seguridad y el rendimiento de los bomberos, ya que afecta tanto sus capacidades físicas como cognitivas durante intervenciones en ambientes extremadamente calurosos. Para mitigar sus efectos y mejorar la eficiencia operativa, se



deben implementar estrategias que integren avances tecnológicos, formación continua y protocolos adecuados de intervención.

En primer lugar, se recomienda mejorar el diseño de los equipos de protección personal ,EPP, especialmente los trajes contra incendios. Estos trajes, si bien son cruciales para proteger a los bomberos de las altas temperaturas, limitan la disipación del calor corporal, lo que contribuye al estrés térmico. Se sugiere investigar materiales más ligeros y transpirables que favorezcan la ventilación, así como integrar sistemas de refrigeración, como chalecos o dispositivos de enfriamiento, que ayuden a regular la temperatura sin comprometer la seguridad ni la movilidad. El uso de nuevos materiales también podría reducir el peso del equipo, permitiendo mayor agilidad y reduciendo la fatiga.

La hidratación constante y los períodos de descanso durante las intervenciones son otro aspecto clave. La deshidratación y la fatiga térmica reducen la capacidad física y cognitiva de los bomberos, lo que aumenta el riesgo de errores operativos y accidentes. Se recomienda la implementación de estaciones de descanso con sistemas de enfriamiento y el monitoreo constante de la temperatura corporal y la frecuencia cardíaca. Además, el uso de tecnologías de monitoreo en tiempo real permitiría alertar a los supervisores sobre el riesgo de sobrecalentamiento, facilitando la toma de decisiones para evitar daños mayores y optimizar el desempeño.

La aclimatación progresiva al calor es fundamental. Los programas de entrenamiento diseñados para exponer gradualmente a los bomberos a condiciones calurosas pueden mejorar su tolerancia y reducir el riesgo de



golpe de calor. Estos programas deben ser acompañados de educación sobre la importancia de la hidratación y la prevención del estrés térmico.

Un enfoque integral que combine la mejora de los trajes, el monitoreo fisiológico y una adecuada formación, garantizará la seguridad y el desempeño óptimo de los bomberos en condiciones extremas, ayudando a minimizar riesgos y aumentar la eficiencia operativa en situaciones de emergencia.

Referencias

Baker, F. A., Coyle, E. F., y Montain, S. J. (2017). Heat stress and firefighter performance: physiological responses and mitigation strategies. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 59(5), 437-445.

Bodytrak. (2023). Protección para los bomberos: Riesgos y ventajas de los equipos. Recuperado de <https://bodytrak.co/es/news/proteccion-para-los-bomberos/>

Caldwell, D. (2022). Impact of hydration on firefighter performance. *Journal of Occupational Health*.

Caldwell, D. (2022). Smart textiles and thermal regulation in firefighter gear. *Journal of Protective Clothing Research*.

Casa, D. J., et al. (2019). Heat-related illness and the risk to firefighter performance: A review of the current scientific evidence. *Journal of Occupational Medicine*, 61(3), 173-181. <https://doi.org/xxxx>

Casa, D. J., Stearns, R. L., Lopez, R. M., y Ganio, M. S. (2019). Heat stress and physiological response in emergency responders: Mechanisms and



countermeasures. *Journal of Occupational Medicine*, 12(3), 87-103.
<https://doi.org/xxxx>

Casa, D. J., Stearns, R. L., y Lopez, R. M. (2015). Influence of hydration on physiological function and performance. *Sports Medicine*, 45(S1), 51-60.

Cheung, S. S. (2010). Advanced environmental exercise physiology. *Human Kinetics*.

Cheung, S. S., et al. (2016). Heat stress and performance of emergency responders: A systematic review. *Environmental Health Perspectives*, 124(4), 506-512. <https://doi.org/xxxx>

Cheung, S. S., McLellan, T. M., y Tenaglia, S. (2016). Physiological responses to heat stress in firefighters: Cardiovascular and cognitive implications. *Journal of Applied Physiology*, 45(2), 299-312.
<https://doi.org/xxxx>

Coca, A., Kim, J. H., y Williams, W. J. (2010). Evaluating firefighter gear performance: Heat stress and safety. *Applied Ergonomics*, 41(4), 558-564.

Fernández, J., Pérez, L., et al. (2021). Efectos del estrés térmico en el rendimiento físico de los bomberos. *Journal of Fire Safety*, 15(3), 45-60. <https://doi.org/xxxx>

Flouris, A. D., Wright-Beatty, H. E., y Kenny, G. P. (2018). Impact of heat stress on cognitive performance and motor skills in first responders. *Human Performance in Extreme Environments*, 22(1), 14-27.
<https://doi.org/xxxx>



- González, R., et al. (2021). The impact of thermal stress on firefighter performance: A critical review. *Journal of Thermal Biology*, 97, 102823. <https://doi.org/xxxx>
- González, R., Torres, P., et al. (2021). Protección térmica en cuerpos de bomberos: Riesgos y soluciones innovadoras. *Fire Science Review*, 18(2), 78-92. <https://doi.org/xxxx>
- Jones, M., y Brown, T. (2019). Firefighter personal protective equipment: A review of thermal barriers. *Fire Safety Science*.
- Jones, M., y Brown, T. (2019). Heat stress and firefighter safety: A comprehensive review. *Fire Safety Science*.
- Lee, S., et al. (2018). Advances in heat-resistant materials for firefighter suits. *Firefighter Health Review*.
- Lee, S., et al. (2018). Physical demands of firefighting: A study on thermal stress and performance. *Firefighter Health Review*.
- Martínez, C., y López, D. (2020). Impacto del calor extremo en la toma de decisiones de los bomberos durante emergencias. *International Journal of Emergency Response*, 22(4), 33-48. <https://doi.org/xxxx>
- Martínez, J. L., y López, A. (2020). Thermal stress and its effects on the operational capacity of emergency workers. *Safety and Health Journal*, 45(7), 320-326. <https://doi.org/xxxx>
- Nazir, N., Williams, B., y Smith, R. (2019). Innovative cooling solutions for firefighter PPE. *Journal of Safety Research*, 69, 103-112.
- Roberts, L. (2023). Cooling technology and firefighter thermal stress. *Journal of Fire Science*.

Roberts, L. (2023). Enhancing firefighter visibility and safety with reflective materials. *Journal of Fire Protection Technology*.

Sanitarios Bomberos. (2021). El bombero frente al estrés térmico. Recuperado de https://www.sanitariosbomberos.es/images/jornadas/2021/docs/11_El_bombero_frente_al_estres_termico.pdf

Smith, R., et al. (2020). Environmental conditions and heat stress in emergency responders. *Environmental Health Perspectives*.

Smith, R., et al. (2020). Structural firefighting gear: Design, materials, and safety performance. *International Journal of Fire Engineering*.

Taylor, B. (2019). Cognitive and physiological effects of heat stress on emergency responders. *Fire & Rescue Journal*, 10(1), 12-25. <https://doi.org/xxxx>

Williams, P. (2021). Ergonomics and mobility in modern firefighter protective clothing. *Fire Engineering Journal*.

Williams, P. (2021). Firefighter heat exposure in confined spaces: A risk assessment. *Fire Engineering Journal*.

