



universidad
de león

SALUD Y RENDIMIENTO EN BOMBEROS FORESTALES: UN ENFOQUE MULTIDIMENSIONAL

Memoria presentada para la obtención del grado de Doctor:

D. Fabio García-Heras Hernández

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA
ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE
INSTITUTO DE BIOMEDICINA (IBIOMED)

León, 2024

Directores:

Dr. D. Jose A. Rodríguez Marroyo

Dra. Dña. María Pilar Sánchez Collado

“Bomberos forestales hasta las cenizas”

Agradecer a todos y cada uno de los bomberos forestales que cada año se juegan la vida en el desarrollo de esta bonita y peligrosa profesión, que si bien no está reconocida como se merece, estoy seguro de que en los próximos años se conseguirá el reconocimiento de la categoría de bombero forestal, y unas condiciones laborales dignas.

Esta Tesis no podría haber sido elaborada sin las experiencias vividas durante todas las campañas de extinción de incendios forestales que tuve el placer de compartir en mis años como bombero forestal. Agradecer a toda la gente de la *Base ELIF el Maíllo* (Sierra 2), donde me inicié en esta bonita profesión en 2007, aprendiendo lo duro que es el trabajo con el calabozo en el jaral y a descubrir el maravilloso mundo del “voleibol forestal”. Gracias a la gente del *Romeo 12.5 de Sotoserrano* (2009), donde aprendí lo realmente duro de este trabajo, trabajar durante todo un turno en el monte, y a última hora ir a un incendio a pasar la noche entera, todo mi reconocimiento a los trabajadores de las cuadrillas de tierra. Gracias a toda la gente de la *Base ELIF de Guadramiro* (Sierra 3) donde en 2010 volví a la “buena vida” de la Helitransportada, amig@s para toda la vida de esta campaña. En 2011, me tocó cambiar de tercio de nuevo y conocer el trabajo de las autobombas, como “Peón de Montes” de la *Charlie 11.9* (Benavente), verano tranquilo junto a Javi, una gran persona y profesional que me abrió las puertas de su casa sin dudar. En 2012 pase por un breve periodo en el *Romeo 7.5 de la Herguijuela de la Sierra* (Salamanca), con compañeros y amigos de toda la vida, para pasar a mitad de campaña a la *Charlie 13.9 de Villaralbo* (Zamora), campaña que repetí en 2013 junto a mis compis de fatigas de la Charlie y de la *Base ELIF de Villaralbo* (Zulú 3), siempre en el recuerdo el durísimo incendio de Villardiega de la Ribera. En 2014 cambio de tercio para volver a la “buena vida” y recuperar mi pasión por el “voleibol forestal”, 4 campañas en la *Base ELIF de Rosinos de la Requejada* (Zulú 1) donde más que amigos tengo una familia (te echaremos de menos Edu), a la que estoy profundamente agradecido por todo lo que me enseñaron en estos años, y como no, por hacerme sentir uno más: Nuria, Jechu, Peter, Tenazas, Chuchi, Edutron, Emisorote, Mario, Pequeño, Domi, Pablo,..... a TOD@S gracias de corazón. Finalmente, en 2018, aterricé en la *Base ELIF de Camposagrado* (Lima 3) para terminar mis andadas en esta bonita profesión junto a compañeros y amigos inseparables como Carlitos.

A mi familia y compañeros de fatigas de la “cueva” (Guti y Juanillo), sinceramente no sé cómo me aguantáis, pero se agradece y se os quiere a

partes iguales. Y Guti compañero, solo tú sabes lo que nos ha costado llegar hasta aquí.

Agradecer a todos los sujetos que desinteresadamente han formado parte de los estudios de esta Tesis Doctoral, amigos, compañeros de trabajo, Bomberos y Bomberas Forestales profesionales, alumnos de la FCAFD.... Además de agradecer a todas y cada una de las personas que de manera directa o indirecta han contribuido al desarrollo de esta Tesis, especialmente al personal de la FCAFD de León, a los miembros de las Brigadas de Refuerzo contra Incendios Forestales, y al Centro para la Defensa contra el Fuego por ayudarnos en todo lo que se les solicitó.

Agradecer a mis directores de Tesis (Dr. Jose A. Rodríguez-Marroyo y Dra. María Pilar Sánchez Collado) y mis compañeros del Grupo VALFIS por iniciarme en el mundo de la investigación y la docencia. Mención especial a Gerardo, y a aquella conversación en el Anáhuac, donde en una servilleta nos mostró lo que ahora mismo se ha convertido en esta Tesis Doctoral.

Gracias a la “Jefa” y su inseparable compañero “runner” por contar conmigo sin miramientos en sus investigaciones y asignaturas, y por ayudarme en los momentos más duros.

A todos los amigos que me han aguantado antes, durante, y espero que después del proceso de escribir el presente documento.

No puedo terminar los agradecimientos sin dedicarle unas palabras a las mujeres de mi vida (Maddi, Panchi y Luci), sois lo más grande que me ha pasado y sin vosotras no estaría aquí. Además, agradecer a mi querido Agus por enseñarme lo que es el esfuerzo y el sacrificio. Rafa y Elisa (mis queridos hermanos) que, si bien muchas veces estamos a cientos de kilómetros, siempre os tengo cerca. A toda mi familia de Talavera, y de Mogarraz, se os quiere y aunque algunos ya no estén, siempre os llevo en mi corazón.

La presente Tesis Doctoral ha dado lugar a las siguientes publicaciones:

García-Heras, F., Gutiérrez-Arroyo, J., León-Guereño, P., Carballo-Leyenda, B., & Rodríguez-Marroyo, J. A. (2022). Chronic pain in Spanish wildland firefighters. *Journal of Clinical Medicine*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/jcm11040989>

Gutiérrez-Arroyo, J., García-Heras, F., Carballo-Leyenda, B., Villa-Vicente, J. G., Rodríguez-Medina, J., & Rodríguez-Marroyo, J. A. (2023). Effect of a high-intensity circuit training program on the physical fitness of wildland firefighters. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2073. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032073>

Parte de los resultados de esta memoria han sido objeto de las siguientes comunicaciones:

García-Heras, F., Gutiérrez-Arroyo, J., Carballo-Leyenda, AB., Rodríguez-Marroyo, JA., Sánchez-Collado, MP., Suárez, D., Vaquera, A., & Villa-Vicente, JG. Optimizar un entrenamiento específico HIIT como método efectivo para mejorar el rendimiento y la seguridad del PEEIF. Comunicación oral presentada en el X Simposio Nacional de Incendios Forestales (SINIF). La Nucía (Alicante, España), octubre, 2019.

García-Heras, F., Gutiérrez-Arroyo, J., Carballo-Leyenda, AB., Rodríguez-Marroyo, JA., Sánchez-Collado, MP., Suárez, D., Vaquera, A., & Villa-Vicente, JG. El entrenamiento específico HIIT consigue mejoras en equilibrio y flexibilidad del PEEIF. Comunicación póster presentada en el X Simposio Nacional de Incendios Forestales (SINIF). La Nucía (Alicante, España), octubre, 2019.

García-Heras, F., Gutiérrez-Arroyo, J., Carballo-Leyenda, AB., Rodríguez-Marroyo, JA., Sánchez-Collado, MP., Suárez, D., Vaquera, A., & Villa-Vicente, JG. Composición corporal y capacidad aeróbica del personal especialista en extinción de incendios forestales (PEEIF) en activo. Comunicación póster presentada en el X Simposio Nacional de Incendios Forestales (SINIF). La Nucía (Alicante, España), octubre, 2019.

Gutiérrez-Arroyo, J., García-Heras, F., Carballo-Leyenda, AB., Rodríguez-Marroyo, JA., Sánchez-Collado, MP., Suárez, D., Vaquera, A., & Villa-Vicente, JG. Entrenamiento óptimo para mejorar la prueba pack test, específica de selección del personal especialista en extinción de incendios forestales (PEEIF). Comunicación oral presentada en el X Simposio Nacional de Incendios Forestales (SINIF). La Nucía (Alicante, España), octubre, 2019.

Gutiérrez-Arroyo, J., García-Heras, F., Carballo-Leyenda, AB., Rodríguez-Marroyo, JA., Sánchez-Collado, MP., Suárez, D., Vaquera, A., & Villa-Vicente, JG. Capacidad aeróbica (VO_{2max}) en PEEIF, bomberos de estructura y militares en función del rango de edad laboral. Comunicación póster presentada en el X Simposio Nacional de Incendios Forestales (SINIF). La Nucía (Alicante, España), octubre, 2019.

García-Heras, F., & Gutiérrez-Arroyo, J. Entrenamiento HIIT, una propuesta para el personal especialista en extinción de incendios forestales (PEEIF).

Comunicación oral presentada en el 15º Congreso Internacional de Ciencias del Deporte y la Salud (SPORTIS). Pontevedra (España), noviembre, 2019.

Gutiérrez-Arroyo, J., & García-Heras, F. Mejora en prueba específica de selección del personal especialista en extinción de incendios forestales tras 8 semanas de entrenamiento de alta intensidad. Comunicación oral presentada en el 15º Congreso Internacional de Ciencias del Deporte y la Salud (SPORTIS). Pontevedra (España), noviembre, 2019.

García-Heras, F., Gutiérrez-Arroyo, J., Carballo-Leyenda, B., Sánchez-Collado, P., Rodríguez-Marroyo, JA., & Villa-Vicente, JG. Entrenamiento específico HIIT como método efectivo para mejorar el rendimiento y la seguridad del personal especialista en extinción de incendios forestales. Actas de congreso (p.146) VIII Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad (DESEi+d2020), Centro Universitario de la Defensa. Zaragoza (España), noviembre, 2020.

Gutiérrez-Arroyo, J., García-Heras, F., Carballo-Leyenda, B., Sánchez-Collado, P., Rodríguez-Marroyo, JA., & Villa-Vicente, JG. Mejora en prueba específica de selección del personal especialista en extinción de incendios forestales tras 8 semanas de entrenamiento de alta intensidad. Comunicación oral presentada en el VIII Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad (DESEi+d2020), Centro Universitario de la Defensa. Zaragoza (España), noviembre, 2020.

García-Heras, F., Gutiérrez-Arroyo, J., Carballo-Leyenda, B., Sánchez-Collado, P., Villa-Vicente, JG., & Rodríguez-Marroyo, JA. Entrenamiento de alta intensidad en circuito (HICT) para la mejora de la condición física en bomberos forestales. Actas de congreso, XIII Simposio Internacional de Actualizaciones en Entrenamiento de la Fuerza III NSCA Spain National Conference. Madrid (España), diciembre, 2021.

García-Heras, F., Gutiérrez-Arroyo, J., Rodríguez- Medina, J., Carballo - Leyenda, B., & Rodríguez-Marroyo, JA. Propuesta de entrenamiento para reducir las diferencias de sexo en los bomberos forestales. Comunicación oral presentada en el XXIII Congreso Internacional ORP, Fundación Internacional ORP. Bilbao (España), abril, 2023.

Gutiérrez-Arroyo, J., García-Heras, F., Carballo-Leyenda, B., Rodríguez-Medina, J., Villa- Vicente, JG., & Rodríguez-Marroyo, JA. Efectos de la aplicación de un programa de entrenamiento específico de alta intensidad

sobre la condición física y rendimiento en mujeres aspirantes a bomberas forestales. Comunicación oral presentada en el XXIII Congreso Internacional ORP, Fundación Internacional ORP. Bilbao (España), abril, 2023.

ÍNDICE



Equipo de Lucha contra Incendios Forestales de la Base de Rosinos de la Requejada, Zamora, Campaña de 2017.

ÍNDICE DE TABLAS	17
ÍNDICE DE FIGURAS.....	19
ABREVIATURAS.....	21
RESUMEN.....	23
1. INTRODUCCIÓN.....	25
1.1 PROFESIONES FÍSICAMENTE EXIGENTES	27
1.1.1 BOMBEROS FORESTALES.....	27
1.1.1.1 Operativo de Extinción de Incendios Forestales de Castilla y León	29
1.1.1.2 Cuadrillas helitransportadas o Equipos de Lucha contra Incendios Forestales	29
1.1.1.3 Brigadas de Refuerzo contra Incendios Forestales.....	31
1.2 INCENDIOS FORESTALES, LÍNEAS GENERALES DE ACTUACIÓN.....	33
1.2.1 TIPOS DE INCENDIOS FORESTALES.....	33
1.2.1.1 Tipos de incendios en función de la superficie afectada.....	33
1.2.1.2 Tipos de incendios en función del tipo de trabajo realizado ...	33
1.2.1.3 Tipos de incendios en función de la duración	34
1.2.2 LINEAS GENERALES DE ACTUACIÓN	34
1.2.2.1 Labores preventivas y tratamientos silvícolas.....	35
1.2.2.2 Labores de extinción, remate y liquidación de incendios forestales	36
1.2.2.3 Labores de vigilancia activa.....	38
1.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SALUD Y EL RENDIMIENTO DE LOS BOMBEROS FORESTALES	38
1.3.1 EMERGENCIA Y SITUACIONES DE RESPUESTA INMEDIATA	38
1.3.2 CONDICIONES DEL TERRENO, PESO DEL EQUIPO, DURACIÓN DEL ESFUERZO	40
1.3.2.1 Transporte de cargas pesadas	40
1.3.2.2 Larga duración de las intervenciones	41
1.3.3 INHALACIÓN DE HUMOS Y SUS EFECTOS EN LA SALUD.....	42
1.3.4 ESTRÉS TÉRMICO Y ESTRÉS AMBIENTAL EN EL ENTORNO DE TRABAJO.....	43
1.3.5 DESHIDRATACIÓN Y SU IMPACTO EN LA SALUD Y EL RENDIMIENTO.....	44
1.3.6 IMPORTANCIA DEL SUEÑO Y EL DESCANSO EN LA RECUPERACIÓN Y EL RENDIMIENTO.....	46
1.3.7 EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL Y SU INFLUENCIA EN LA SALUD Y EL RENDIMIENTO.....	47
1.3.8 CARGA FÍSICA Y GASTO DE ENERGÍA EN EL TRABAJO DE LOS BOMBEROS FORESTALES.....	49

1.3.9	ESTRÉS MENTAL Y ANSIEDAD EN PROFESIONES EXIGENTES.....	52
1.3.10	LESIONES Y DOLOR CRÓNICO RELACIONADOS CON EL DESEMPEÑO DE ESTAS PROFESIONES.....	53
1.4	CONDICIÓN FÍSICA DE LOS BOMBEROS FORESTALES.....	55
1.4.1	IMPORTANCIA DE LA CONDICIÓN FÍSICA EN LOS CUERPOS DE BOMBEROS FORESTALES.....	55
1.4.2	PRUEBAS DE APTITUD ESPECÍFICAS Y PRUEBAS DE ACCESO A LAS PROFESIONES DE BOMBEROS FORESTALES	56
1.4.3	ENTRENAMIENTO FÍSICO PARA LOS BOMBEROS FORESTALES ..	59
1.4.3.1	Entrenamiento en circuito.....	59
1.4.3.2	Entrenamiento en circuito de alta intensidad	60
1.5	INFLUENCIA DEL CALOR EN LOS BOMBEROS FORESTALES	63
1.5.1	ACLIMATACIÓN AL CALOR EN EL ENTORNO LABORAL	63
1.5.2	ESTRATEGIAS PARA REDUCIR EL ESTRÉS TÉRMICO EN EL TRABAJO	66
1.6	DIFERENCIAS DE SEXO EN LA CONDICIÓN FÍSICA	67
1.6.1	DIFERENCIAS GENERALES EN LA CONDICIÓN FÍSICA.....	67
1.6.2	DIFERENCIAS DE SEXO EN LOS BOMBEROS FORESTALES.....	69
1.6.2.1	Diferencias en la composición corporal/hormonales.....	69
1.6.2.2	Diferencias en la capacidad de realizar fuerza y del sistema muscular	70
1.6.2.3	Diferencias en la capacidad aeróbica.....	72
1.6.2.4	Diferencias termorregulatorias.....	72
1.6.2.5	Diferencias en la capacidad de trabajo y transporte de cargas pesadas.....	73
1.6.2.6	Diferencias de sexo en las lesiones musculoesqueléticas	74
2.	OBJETIVOS	77
3.	ESTUDIOS PLANTEADOS.....	81
3.1	ESTUDIO 1. PERFIL FÍSICO Y FISIOLÓGICO DE LOS <i>FIRST RESPONDERS</i> : UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA CON METAANÁLISIS	83
3.1.1	INTRODUCCIÓN	85
3.1.2	MATERIAL Y MÉTODOS.....	86
3.1.2.1	Diseño	86
3.1.2.2	Fuentes de datos y búsquedas	87
3.1.2.3	Criterios de selección.....	87
3.1.2.4	Extracción de datos.....	88
3.1.2.5	Presentación de los resultados.....	88
3.1.2.6	Riesgo de sesgo.....	89
3.1.2.7	Síntesis de datos y análisis estadístico	89
3.1.3	RESULTADOS.....	89

3.1.3.1 Riesgo de sesgo.....	90
3.1.3.2 Consumo máximo de oxígeno	97
3.1.3.3 Umbrales de esfuerzo	98
3.1.3.4 Fuerza máxima de agarre	99
3.1.3.5 Fuerza máxima de del tren superior (press de banca).....	101
3.1.3.6 Fuerza máxima de del tren inferior.....	102
3.1.3.7 Resistencia a la fuerza	102
3.1.4 DISCUSIÓN.....	104
3.1.4.1 Capacidad aeróbica.....	105
3.1.4.2 Umbrales de esfuerzo	107
3.1.4.3 Fuerza máxima	108
3.1.4.4 Resistencia a la fuerza	110
3.2 ESTUDIO 2. INFLUENCIA DEL SEXO EN EL ESFUERZO REALIZADO DURANTE LA EXTINCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES	111
3.2.1 INTRODUCCIÓN	113
3.2.2 METODOLOGÍA.....	115
3.2.2.1 Sujetos.....	115
3.2.2.2 Diseño experimental	115
3.2.2.3 Pruebas de laboratorio	115
3.2.2.4 Extinción de incendios forestales.....	116
3.2.2.5 Análisis estadísticos	117
3.2.3 RESULTADOS.....	117
3.2.3.1 Características de los sujetos	117
3.2.3.2 Características de los incendios forestales	117
3.2.3.3 Diferencias de sexo en las demandas fisiológicas de los bomberos forestales.....	118
3.2.3.4 Duración del incendio y táctica utilizada.....	120
3.2.4 DISCUSIÓN.....	121
3.3 ESTUDIO 3. DIFERENCIAS DE SEXO EN LA CONDICIÓN FÍSICA GENÉRICA Y ESPECÍFICA DE LOS BOMBEROS FORESTALES	127
3.3.1 INTRODUCCIÓN	129
3.3.2 METODOLOGÍA.....	130
3.3.2.1 Procedimiento.....	130
3.3.2.2 Prueba de extinción de incendios forestales simulada	133
3.3.2.3 Análisis estadístico.....	135
3.3.3 RESULTADOS.....	135
3.3.4 DISCUSIÓN.....	140
3.4 ESTUDIO 4. EFECTO DE UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO EN CIRCUITO DE ALTA INTENSIDAD SOBRE LA APTITUD FÍSICA DE LOS BOMBEROS FORESTALES	147

3.4.1 INTRODUCCIÓN	149
3.4.2 METODOLOGÍA.....	151
3.4.2.1 Participantes.....	151
3.4.2.2 Procedimiento.....	152
3.4.2.3 Programa de entrenamiento	154
3.4.2.4 Pruebas de valoración	154
3.4.2.5 Análisis estadístico.....	156
3.4.3 RESULTADOS.....	157
3.4.4 DISCUSIÓN.....	160
3.5 ESTUDIO 5. EFECTOS DE DOS PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO (MODERADA vs. ALTA INTENSIDAD) EN LA CONDICIÓN FÍSICA GENÉRICA Y ESPECIFICA DE UN GRUPO DE ASPIRANTES A BOMBEROS FORESTALES	167
3.5.1 INTRODUCCIÓN	169
3.5.2 METODOLOGÍA.....	171
3.5.2.1 Participantes.....	171
3.5.2.2 Procedimiento.....	171
3.5.2.3 Programas de entrenamiento	171
3.5.2.4 Pruebas de valoración	174
3.5.2.5 Análisis estadístico.....	175
3.5.3 RESULTADOS.....	176
3.5.3.1 Análisis de la carga de trabajo	176
3.5.3.2 Efecto del programa de entrenamiento.....	176
3.5.3.3 influencia del sexo de los sujetos	177
3.5.3.4 Interacción entrenamiento y sexo de los sujetos.....	178
3.5.3.5 Diferencias de sexo	179
3.5.4 DISCUSIÓN.....	179
3.6 ESTUDIO 6. DOLOR CRÓNICO EN LOS BOMBEROS FORESTALES ESPAÑOLES.....	185
3.6.1 INTRODUCCIÓN	187
3.6.2 METODOLOGÍA.....	188
3.6.2.1 Análisis de datos	189
3.6.3 RESULTADOS.....	190
3.6.4 DISCUSION.....	193
4. CONCLUSIONES	199
5. REFERENCIAS.....	205
6. ANEXOS	247
6.1 ANEXO 1: CHRONIC PAIN IN SPANISH WILDLAND FIREFIGHTERS	249
6.2 ANEXO 2: EFFECT OF A HIGH-INTENSITY CIRCUIT TRAINING PROGRAM ON THE PHYSICAL FITNESS OF WILDLAND FIREFIGHTERS.....	251

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Convocatorias para el acceso a bombero forestal en España.	28
Tabla 2. Porcentajes de frecuencia cardiaca y zonas de intensidad durante la extinción de incendios forestales.....	42
Tabla 3. Demanda energética de la extinción de incendios.....	50
Tabla 4. Prueba de acceso Pack Test y sus modificaciones.	57
Tabla 5. Indicaciones generales sobre variables intervinientes en protocolos de adaptación al estrés térmico por calor.....	64
Tabla 6. Diferencias de sexo en récords del mundo, en pruebas de carrera (velocidad, medio fondo y fondo).....	68
Tabla 7. Diferencias de sexo en récords del mundo, en pruebas de salto y lanzamiento.	68
Tabla 8. Resumen de los artículos seleccionados.....	91
Tabla 9. Resumen del análisis del riesgo de sesgo o Risk of Bias.....	94
Tabla 10. Datos descriptivos sobre la capacidad aeróbica por sexo, tipo de trabajo y sexo*tipo de trabajo.	97
Tabla 11. Resultados de los umbrales aeróbicos y anaeróbicos en hombres <i>first responders</i>	99
Tabla 12. Resultados de fuerza máxima (kKg) de agarre por sexo, tipo de trabajo y sexo*tipo de trabajo.	100
Tabla 13. Valores reportados (kg) en la prueba de press de banca por sexo, tipo de trabajo y sexo*tipo de trabajo.	101
Tabla 14. Resultados (kg) de la fuerza máxima del tren inferior.	102
Tabla 15. Datos descriptivos (número de repeticiones) de los valores de resistencia a la fuerza de la musculatura del tren superior (<i>push up test</i>) y del core (<i>sit up test</i>).....	103
Tabla 16. Características antropométricas y fisiológicas de los bomberos forestales.....	118
Tabla 17. Intensidad del ejercicio y carga de trabajo según el sexo de los bomberos, la duración de los incendios y las tácticas de extinción.	119
Tabla 18. Características antropométricas y fisiológicas de los sujetos.....	131
Tabla 19. Prueba específica de rendimiento simulado.....	134
Tabla 20. Diferencias de sexo en la composición corporal.....	135
Tabla 21. Diferencias de sexo en los valores de fuerza.	136
Tabla 22. Diferencias de sexo en valores de capacidad aeróbica.	137
Tabla 23. Variables fisiológicas analizadas durante la prueba de extinción de incendios simulada.....	139
Tabla 24. Resultados fisiológicos durante la prueba de extinción de incendios simulada.....	139

Tabla 25. Programación de entrenamiento.....	153
Tabla 26. Características fisiológicas de los sujetos.	158
Tabla 27. Resultados antropométricos y de condición física.	159
Tabla 28. Valores de prueba específica de selección Pack Test.....	159
Tabla 29. Programaciones de entrenamiento.	173
Tabla 30. Variables físicas y fisiológicas, respecto al tipo de entrenamiento.	176
Tabla 31. Variables físicas y fisiológicas, respecto al sexo.....	177
Tabla 32. Porcentajes de cambio en variables físicas y fisiológicas.	178
Tabla 33. Diferencias de sexo en variables físicas y fisiológicas.....	179
Tabla 34. Variables sociodemográficas según el dolor crónico y el sexo...	190
Tabla 35. Frecuencia acumulada (porcentaje) de dolor crónico según diferentes variables de agrupación.....	191
Tabla 36. Frecuencia acumulada (porcentaje) de zonas del cuerpo con dolor crónico según variables de agrupación.....	192

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de selección de los artículos (Salameh et al., 2020).	90
Figura 2. Datos descriptivos de la capacidad aeróbica.....	98
Figura 3. Datos descriptivos de la fuerza máxima de agarre	100
Figura 4. Datos descriptivos de la fuerza máxima del tren superior.....	101
Figura 5. Datos descriptivos de la resistencia a la fuerza del tren superior, medida con la prueba <i>push up</i> (repeticiones).....	104
Figura 6. Datos descriptivos de la resistencia a la fuerza de la musculatura del core, medida con la prueba <i>sit up</i> (repeticiones).....	104
Figura 7. Distribución de la intensidad del esfuerzo (tiempo) en incendios forestales según el sexo de los bomberos forestales.	119
Figura 8. Distribución de la intensidad del esfuerzo (porcentaje del tiempo total) en incendios forestales según el sexo de los bomberos forestales....	120
Figura 9. Resultados de rendimiento durante el estadio 1 (cuestas) de la prueba de extinción de incendios forestales simulada.....	137
Figura 10. Resultados de rendimiento durante el estadio 2 (golpeo con batefuegos) de la prueba de extinción de incendios simulada.....	138
Figura 11. Resultados de rendimiento durante el estadio 3 (manejo de azada o rastrillado) de la prueba de extinción de incendios simulada.....	138
Figura 12. Cambios relativos para el rendimiento de las pruebas en el grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad (HICT) y el grupo de control (GC).....	160
Figura 13. Distribución del dolor crónico en más de una zona del cuerpo según el rango de edad de los bomberos forestales.....	193

ABREVIATURAS

>: mayor que

<: menor que

≥: mayor o igual que

~: aproximadamente

%: porcentaje

“: segundos

1RM: repetición máxima

AE: ansiedad estado

BBEE: bomberos de estructura

BBFF: bomberos forestales

BRIF: brigadas de Refuerzo Contra Incendios Forestales

CDF: Centro para la Defensa contra el Fuego

CMJ: *countermovement jump*, o salto con contramovimiento

CP: *chronic pain*, o dolor crónico

CT: *circuit training*, o entrenamiento en circuito

EEII: extremidades inferiores

EESS: extremidades superiores

e.g.: exempli gratia, por ejemplo

ELIF: Equipo de Lucha contra Incendios Forestales

EPI: equipo de protección individual

ES: *effect size*, o tamaño del efecto

FC: frecuencia cardiaca

FC_{max}: frecuencia cardiaca máxima

FR: *first responders*, o trabajadores de emergencia

GEA: gasto de energía por actividad

GTE: gasto energético total

HICT: *high intensity circuit training*, o entrenamiento en circuito de alta intensidad

HIFT: *high intensity functional training*, o entrenamiento funcional de alta intensidad

HIIT- WB: entrenamiento interválico de alta intensidad de cuerpo entero

HIIT: *high intensity interval training*, o entrenamiento interválico de alta intensidad

IC: intervalo de confianza

IF: incendios forestales

IMC: índice de masa corporal

kcal: kilocalorías

kg: kilogramo

kgf: kilogramo de fuerza
km: kilómetro
km·h⁻¹: kilómetro por hora
MET: equivalente metabólico
MG: masa grasa
min: minuto
MITECO: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
MLG: masa libre de grasa
ml·kg⁻¹·min⁻¹: mililitros por kilogramo minuto
n: tamaño de la muestra
°C: grados centígrados
OEIFCyL: Operativo de Extinción de Incendios Forestales de Castilla y León
p: nivel de significación
PA: pruebas de acceso
ppm: pulsaciones por minuto
PT: Pack Test
RCT: *respiratory compensation threshold*, o umbral de compensación respiratorio
RER: cociente respiratorio
RPE: *Rate Perceived Exertion*, o percepción subjetiva del esfuerzo
s: segundos
SD: *Standar Deviation*, o desviación estándar
SICT: *submaximal intensity circuit training*, o entrenamiento en circuito de intensidad submáxima
sRPE: RPE sesión
TC: temperatura central
TL: *training load*, o carga de trabajo
UA: unidades arbitrarias
VCO₂: consumo de dióxido de carbono
VE: ventilación
VO₂: consumo de oxígeno
VO_{2max}: consumo máximo de oxígeno
vs: *versus*, frente a.
VT: umbral ventilatorio
VT1: primer umbral ventilatorio
W: vatios
*x*²: chi- cuadrado

RESUMEN

El trabajo de los bomberos forestales representa una ocupación sumamente exigente desde el punto de vista físico, con potencial para afectar su salud a corto-largo plazo. La comprensión detallada de las demandas laborales a las que se enfrentan resulta crucial para diseñar programas de entrenamiento específicos que apunten a mejorar su aptitud física y, consecuentemente, optimizar su rendimiento de manera segura. Esta Tesis Doctoral aborda de manera integral este tema, incluyendo un análisis de la influencia del sexo de los bomberos en las mejoras alcanzadas. La tesis se organiza en seis estudios distintos: los dos primeros se centran en analizar las características físico-fisiológicas de los bomberos, así como el esfuerzo realizado durante la supresión de incendios reales. En el tercer estudio, se examina la influencia del sexo de los bomberos en su condición física y desempeño laboral. El cuarto y quinto estudio evalúan la efectividad de diversos programas de entrenamiento para mejorar la condición física, tanto en términos generales como específicos. Finalmente, el sexto estudio se dedica al análisis del dolor crónico en los bomberos forestales. En términos generales, los resultados de estos estudios resaltan las notables demandas asociadas a las tareas desempeñadas por estos profesionales. Se observa que, a pesar de que las mujeres trabajan a intensidades similares a sus colegas masculinos, su condición física inferior afecta la eficiencia en la ejecución de las tareas propias de su labor. La implementación de programas de entrenamiento basados en circuitos de alta intensidad se presenta como una herramienta eficaz y eficiente para mejorar la aptitud física, siendo igualmente beneficiosa para ambos sexos. Por último, se describe una alta prevalencia del dolor crónico en este colectivo (~60%), vinculándose con factores como el sexo, el puesto de trabajo, la edad y la experiencia laboral. Variables adicionales, como el peso del equipo de protección y la altura, inciden negativamente en la probabilidad de experimentar dolor crónico en diversas áreas corporales.

ABSTRACT

The work of wildland firefighters constitutes an extremely physically demanding occupation, with the potential to impact their health in the short and long term. A detailed understanding of the job demands they face is crucial for designing specific training programs aimed at improving their physical fitness and, consequently, optimizing their performance safely. This doctoral thesis comprehensively addresses this topic, including an analysis of the influence of firefighters' sex on the improvements achieved. The thesis is structured into six distinct studies: the first two focus on analyzing the physical and physiological characteristics of firefighters, as well as the effort exerted during real wildfire suppression. In the third study, the influence of firefighters' sex on their physical condition and job performance is examined. The fourth and fifth studies evaluate the effectiveness of various training programs to improve overall and specific physical fitness. Finally, the sixth study is dedicated to the analysis of chronic pain in wildland firefighters. Overall, the results of these studies highlight the significant demands associated with the tasks performed by these professionals. It is observed that, despite women working at similar intensities to their male counterparts, their lower physical fitness affects efficiency in carrying out their job tasks. The implementation of high-intensity circuit training programs emerges as an effective and efficient tool for improving physical fitness, equally benefiting both sexes. Lastly, a high prevalence of chronic pain in this collective (~60%) is described, being linked to factors such as sex, job position, age, and work experience. Additional variables, such as the weight of protective equipment and subjects' height, negatively impact the likelihood of experiencing chronic pain in various body areas.

1. INTRODUCCIÓN



Equipo de Lucha contra Incendios Forestales de Rosinos de la Requejada, Zamora (2016), junto con integrantes de la Charlie 3.9. Tras la realización de prácticas de tendido de manguera.

1.1 PROFESIONES FÍSICAMENTE EXIGENTES

El trabajo realizado por los servicios de emergencias o *first responders* (FR) está incluido dentro de las llamadas “profesiones físicamente exigentes”, ya que los trabajadores deben emplearse al máximo en condiciones cambiantes y bajo la incertidumbre que provoca la emergencia (Roberts et al., 2016). Se trata de ocupaciones laborales cuya naturaleza y demandas físico-fisiológicas son tales que estos trabajadores no pueden realizarlas de manera adecuada sin una exposición al riesgo inevitable, tanto a corto como a largo plazo (Plat et al., 2011). En España, y al amparo de la Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil, tendrán la consideración de servicios públicos de intervención y asistencia en emergencias los Servicios Técnicos de Protección Civil y Emergencias de todas las Administraciones Públicas, los Servicios de Prevención, Extinción de Incendios y Salvamento, y de Prevención y Extinción de Incendios Forestales, las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad, los Servicios de Atención Sanitaria de Emergencia, las Fuerzas Armadas y, específicamente, la Unidad Militar de Emergencias, los órganos competentes de coordinación de emergencias de las Comunidades Autónomas, los Técnicos Forestales y los Agentes Medioambientales, los Servicios de Rescate, los equipos multidisciplinares de identificación de víctimas, las personas de contacto con las víctimas y sus familiares, y todos aquellos que dependiendo de las Administraciones Públicas tengan este fin. En resumen, tanto los bomberos de estructura (BBEE) como los bomberos forestales (BBFF), policías y rescatadores se considerarían FR.

1.1.1 BOMBEROS FORESTALES

Los BBFF, son el colectivo sobre el que nos vamos a centrar durante el desarrollo de la presente tesis doctoral. En concreto se profundizará en los factores que influyen sobre su salud y el rendimiento laboral, como la utilización de equipos de protección individual (EPI), trabajo en condiciones de calor y exposición directa o indirecta a las llamas, transporte y utilización de herramientas y cargas pesadas, larga duración del esfuerzo, y la superación de pruebas de acceso al puesto de trabajo, entre otros.

Tabla 1. Convocatorias para el acceso a bombero forestal en España.

CCAA	Servicio	COLECTIVO
Andalucía	Público	Incendios Forestales Comunidad de Andalucía (INFOCA)
	Privado	Cuadrillas terrestres (SARGA)
Aragón	Privado	Brigadas helitransportadas (SARGA)
	Privado	Autobombas (SARGA)
	Público	Bombero especialista (Gobierno del Principado de Asturias)
Canarias	Privado/público	Equipos de Intervención y Refuerzo en Incendios Forestales (EIRIF) (GESPLAN)
	Privado	Brigadas de emergencia terrestres (TRAGSA)
Cantabria	Público	Técnicos auxiliares del medio natural (Gobierno de Cantabria)
Castilla La Mancha	Público	Dispositivo de extinción de Incendios Forestales de Castilla la Mancha. (GEACAM)
Castilla y León	Privado	Brigadas helitransportadas (TRAGSA, TALHER, DEMONTES, IGM, ORTHEM, etc.)
	Público	Cuadrillas terrestres (TRAGSA, TALHER, DEMONTES, ORTHEM, etc.)
	Público	Peón de montes o ayudante de autobomba (Junta de Castilla y León)
	Público	Conductor de autobombas (Junta de Castilla y León)
Cataluña	Público	Bombers de la Generalitat (Generalitat de Catalunya)
Comunidad Valenciana	Privado	Brigadas de emergencia terrestres (TRAGSA)
	Privado	Brigadas helitransportadas (TRAGSA)
	Privado	Brigadas forestales (DIVALTERRA, extinguida actualmente)
Extremadura	Público	Bombero conductor (INFOEX)
	Privado	Brigadas helitransportadas (TRAGSA)
Galicia	Público	Bombero Forestal (Servicio de Prevención y Defensa Contra Incendios Forestales)
	Público	Bombero forestal-conductor de motobomba (Servicio de Prevención y Defensa Contra Incendios Forestales)
	Privado	Brigadas helitransportadas y terrestres (TRAGSA, DEMONTES)
Islas Baleares	Público	Vigilantes forestales y especialistas Nivel I, II. (IBANAT)
La Rioja	Privado	Peón especialista forestal (TRAGSA)
	Privado	Conductores autobombas (TRAGSA)
Madrid	Privado	Brigadas helitransportadas (TRAGSA)
	Privado	Cuadrillas terrestres (TRAGSA)
Murcia	Privado	Brigadas helitransportadas (TRAGSA)
	Privado	Cuadrillas de tierra (TRAGSA)
Nacional	Privado	Bombero forestal del dispositivo BRIF (Brigadas de Refuerzo contra Incendios Forestales) (TRAGSA)
Navarra	Público	Auxiliar bombero (Servicio de Bomberos de Navarra-Nafarroako Suhiltzaileak).

Fuente: elaboración propia

Tras realizar un análisis exhaustivo sobre los operativos de extinción de incendios forestales en las Comunidades Autónomas de España, encontramos más de 30 convocatorias distintas para acceder a esta profesión, la mayoría de ellas de carácter privado (Tabla 1).

Para la presente Tesis Doctoral, nos hemos enfocado en los BBFF que forman parte de la comunidad de Castilla y León, específicamente en sus destacamentos de Brigadas Helitransportadas o ELIF (Equipos de Lucha contra Incendios Forestales). Además, también hemos considerado a las Brigadas de Refuerzo contra Incendios Forestales (BRIF), debido principalmente a las similitudes en la forma de trabajar que ambas profesiones aúnan. Tanto la ELIF como la BRIF utilizan similares medios de transportes para llegar a la emergencia, metodologías de trabajo, EPI, bases o centros de operaciones y turnicidad.

1.1.1.1 Operativo de Extinción de Incendios Forestales de Castilla y León

El Operativo de Extinción de Incendios Forestales de Castilla y León (OEIFCyL), definido como aquellos trabajadores o bomberos forestales que en el momento de emergencia se podrán desplazar al IF a realizar labores extinción, remate- liquidación, vigilancia, activa, coordinación o conducción, está compuesto por alrededor de 3000 trabajadores, repartidos en 336 medios de extinción.

1.1.1.2 Cuadrillas helitransportadas o Equipos de Lucha contra Incendios Forestales

En la actualidad, en la región de Castilla y León se encuentran operativas 21 unidades de ELIF. Estas cuadrillas, cuyo tamaño puede variar, están especialmente destinadas a la extinción de incendios durante la Época de Peligro Alto de Incendios Forestales. Durante el horario laboral, los miembros del equipo participan en diversas actividades que abarcan aspectos formativos y entrenamientos de carácter físico, técnico (relacionados con el manejo de herramientas), táctico (vinculados al comportamiento y la actuación durante incendios) y/o combinaciones mixtas que abarcan tanto lo físico como lo técnico-táctico. Estas prácticas preparan adecuadamente a los integrantes del equipo para abordar situaciones más desafiantes en el campo (Centro para la Defensa contra el Fuego (CDF), 2014). El liderazgo y la responsabilidad dentro del equipo recaen en un técnico o jefe de brigada, quien también se involucra activamente en las operaciones de combate a incendios junto al resto del equipo. El personal operativo se distribuye en cada cuadrilla de la siguiente manera: un técnico o jefe de brigada y entre cuatro y siete BBFF o especialistas, dependiendo de la base (Fernández- Huertas et al., 2002).

En cuanto al tamaño de la fuerza operativa, se cuenta con un total de 383 BBFF. Los recursos de extinción incluyen las 21 unidades ELIF, cada una compuesta por tres cuadrillas operativas que trabajan en turnos para cubrir todos los días de manera continua. Además, cada base dispone de un helicóptero asignado y suficientes vehículos todo terreno para facilitar el desplazamiento de los dos turnos de trabajo diarios, que varían entre dos y cuatro dependiendo de la base específica. Estos recursos aseguran una respuesta eficiente y continua ante posibles emergencias de incendios forestales en la región.

CARACTERÍSTICAS DEL TRABAJO DE UNA ELIF

Son distintos los manuales que hablan del trabajo de las ELIF, el cual se puede dividir en aquellas acciones realizadas antes, durante y después de la emergencia (Centro para la Defensa contra el Fuego (CDF), 2014; Fernández- Huertas et al., 2002; González- Garnelo & Fernández- Huertas, 2003).

Antes de una emergencia, los Equipos de Lucha contra Incendios Forestales (ELIF) llevan a cabo una serie de actividades de preparación fundamentadas en la ciencia y la práctica. Se dedican a la instrucción y entrenamiento sistemático de sus miembros, abarcando aspectos físicos, técnicos, tácticos y mixtos, con el propósito de mantener y mejorar sus habilidades y capacidades operativas. Asimismo, se enfocan en la adecuación y verificación de su equipo y material, siguiendo protocolos estandarizados para garantizar su eficiencia durante las intervenciones en situaciones de extinción de incendios forestales. Una característica distintiva de las ELIF radica en su movilidad y eficacia, atribuida al empleo de helicópteros como medio de transporte. Esto permite a las ELIF desplazarse de forma rápida y efectiva a ubicaciones remotas o de difícil acceso. Sin embargo, en escenarios con emergencias simultáneas o condiciones meteorológicas adversas que restringen el uso del helicóptero, las ELIF cuentan con vehículos todo terreno para asegurar el desplazamiento al incendio.

Durante una emergencia, las ELIF demuestran su capacidad de adaptación y versatilidad en diversos terrenos y condiciones climáticas. Aprovechando el helicóptero, estos equipos pueden acceder a áreas inaccesibles para otros medios de extinción, aunque es relevante tener en cuenta la limitación de acceso impuesta por dicho vehículo. En situaciones de incendios de tamaño pequeño o mediano, las ELIF pueden llevar a cabo la extinción completa, desde el primer ataque hasta la liquidación. Utilizando para ello distintas

técnicas como el ataque directo, ataque indirecto, ataque mixto (combinación de directo e indirecto), utilización de fuego técnico, realización de ataque directo en apoyo con medios aéreos o con vehículos autobomba, liquidación con herramientas manuales de corte y raspado, apoyo a grandes maquinarias, etc.,

Una vez finalizada la emergencia, las ELIF se ocupan de su propio abastecimiento, aseo personal y descanso. Asimismo, se realiza revisión y adecuación del material utilizado, a fin de garantizar la pronta disponibilidad y eficacia operativa para futuras emergencias forestales.

1.1.1.3 Brigadas de Refuerzo contra Incendios Forestales

Las Brigadas de Refuerzo contra Incendios Forestales (BRIF) surgieron en 1992, modelándose a partir de los *Hot Shot Crews* de Estados Unidos, y constituyen unidades altamente especializadas en la extinción de incendios forestales, desplegadas a nivel nacional. Su misión principal es proporcionar apoyo a los recursos propios de las distintas comunidades autónomas, interviniendo tanto en situaciones de incendios simultáneos como en operaciones dirigidas a controlar grandes incendios (MITECO, 2023c).

Actualmente, estas brigadas se encuentran bajo la dependencia del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, y cuentan con una fuerza operativa cercana a los 600 BBFF. Estos se encuentran distribuidos en 10 Bases BRIF, de las cuales 9 son BRIF-A, y una es BRIF-B. Cada una de las BRIF-A está compuesta por 17 miembros, denominados "personal operativo", y está dirigida por un técnico BRIF. Durante las operaciones de extinción, se mantiene un contacto permanente entre el técnico BRIF y dos cuadrillas de intervención, cada una formada por 7 bomberos forestales y 1 capataz bombero forestal. La movilización de estas cuadrillas se lleva a cabo mediante helicópteros que cuentan con una capacidad de descarga de aproximadamente 1200 litros (MITECO, 2023b). Por otro lado, las BRIF de invierno y la BRIF-B, localizada en Puerto el Pico (Ávila), están integradas por un total de nueve miembros del personal operativo, incluyendo un técnico BRIF, siete BBFF y un capataz bombero forestal. Estas brigadas también cuentan con el respaldo de un helicóptero con capacidad de descarga de aproximadamente 1200 litros de agua para llevar a cabo sus intervenciones (MITECO, 2023b).

CARACTERÍSTICAS DEL TRABAJO DE LAS BRIF:

Al igual que las ELIF, se ha realizado una clasificación del trabajo de las BRIF atendiendo a tres momentos, antes, durante y después de una emergencia (MITECO, 2023a, 2023d):

Antes de una emergencia su personal recibe continua formación, entrenamiento técnico- táctico y preparación física específica. Con relación a la formación, esta se divide en tres niveles; 1- nivel básico que incide específicamente en la seguridad en las labores de extinción; 2- análisis de actuaciones en incendio, para identificar errores y aciertos; 3- actividades formativas específicas (generalmente fuera de campaña, donde se incluyen cursos de manejo de maquinaria, comportamiento del fuego, conducción de vehículos todoterreno). Una vez son avisados para la emergencia realizan la acción de embarque en el helicóptero asignado, y son aerotransportados al incendio requerido.

Durante una emergencia, trabajan de forma conjunta con sus helicópteros, cuyo apoyo con el lanzamiento de agua mejora su eficacia y rendimiento. Además, los helicópteros constituyen un elemento fundamental para la seguridad del personal, pudiendo proceder a su evacuación en una eventual situación de peligro. Por ello, el conjunto BRIF-helicópteros se mantiene siempre unida excepto en los periodos nocturnos y durante los repostajes o paradas obligatorias de las aeronaves. Esto supone que los helicópteros de transporte no pueden ser destinados a otro incendio ni a otras misiones salvo las de salvamento y, con carácter excepcional, para el transporte de brigadas de la comunidad autónoma a la que están prestando apoyo. Si las circunstancias impiden que la BRIF pueda desplazarse en helicóptero, las bases cuentan con vehículos de apoyo para cumplir con esa función. Si la intensidad del frente de llama lo permite, la BRIF trabaja en ataque directo (sofocación directa de las llamas). Cuando la intensidad del fuego es tal que no permite acercarse al personal, se trabaja en ataque indirecto, realizando líneas de defensa limpias de combustible, corta de matorral o de arbolado y raspado del suelo con herramienta manual. Estas líneas sirven para posteriores acciones de ataque directo o como apoyo para realizar quemas de ensanche de forma segura. También la BRIF está habituada al uso del fuego táctico que consiste en la ignición de una línea de fuego por delante del frente de incendio que se pretende controlar.

Después de una emergencia, al igual que las ELIF, se ocupan de su propio abastecimiento, aseo personal y descanso, asimismo, se realiza revisión y una adecuación del material utilizado, a fin de garantizar la pronta disponibilidad y eficacia operativa para futuras emergencias forestales.

1.2 INCENDIOS FORESTALES, LÍNEAS GENERALES DE ACTUACIÓN

1.2.1 TIPOS DE INCENDIOS FORESTALES

Según la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes, un IF se considera al fuego que se extiende sin control sobre combustibles forestales situados en el monte y pueden ser clasificados de distintas maneras. Existen distintas clasificaciones de incendios forestales (IF), las cuales se pueden dividir en tres, atendiendo a la superficie afectada, el tipo de trabajo realizado, y la duración del incendio.

1.2.1.1 Tipos de incendios en función de la superficie afectada

- Conato: fuego que se extiende sin control sobre superficies forestales, con una superficie inferior a 1 hectárea.
- Incendio forestal: fuego que se extiende sin control sobre combustibles forestales situados en el monte, en una superficie mayor o igual a 1 hectárea
- Gran incendio forestal: IF caracterizados por superar 500 hectáreas de superficie forestal afectada.

1.2.1.2 Tipos de incendios en función del tipo de trabajo realizado

Un estudio publicado en 2011 clasificaba los incendios en función del tipo de trabajo realizado (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a). Hay que aclarar que esta clasificación es individual, ya que, muy posiblemente dentro de un mismo incendio, habrá trabajadores que realicen un método, mientras otros trabajadores realizan otro. Incluso el mismo trabajador pasa por los distintos tipos de trabajo durante un mismo incendio.

- Ataque directo: se refiere principalmente a situaciones en las que los trabajadores se concentran en este tipo de labor. Este método implica trabajar muy cerca de las llamas, a una distancia de menos de 5 m y enfrentarse a alturas de llama de 2-3 m.
- Ataque indirecto: tipo de trabajo que se utiliza generalmente cuando la intensidad y la altura de las llamas (>3m) son demasiado elevadas como para poder efectuar un ataque directo sin riesgo para los

trabajadores. En este caso, los BBFF actúan a una distancia segura de más de 100 m.

- Ataque mixto: implica la combinación de ambos tipos de trabajo, adaptándose a las condiciones cambiantes del incendio y empleando el método más adecuado en cada situación. Esta flexibilidad es esencial para abordar eficazmente los diferentes desafíos que pueden surgir en el combate contra IF.

1.2.1.3 Tipos de incendios en función de la duración

Diferentes autores han identificado diferentes tipos de incendios en función de su duración (Rodríguez-Marroyo et al., 2012a).

- IF de duración inferior a 1 h: En general, estos incendios requieren un esfuerzo intenso durante su extinción, ya que predominan las labores de ataque directo. Los BBFF se enfrentan a llamas cercanas y altamente intensas, lo que demanda una respuesta rápida y efectiva.
- IF de duración entre 1-3 h: En esta categoría, la intensidad del esfuerzo varía a lo largo del tiempo, dependiendo de los diferentes métodos de ataque empleados. La mayoría de las actuaciones en regiones como Castilla y León se encuentran en este rango de duración, lo que implica que los bomberos deben adaptar sus estrategias a las condiciones cambiantes del incendio.
- IF de duración mayor a 3 h: al igual que en incendios entre 1-3h, la intensidad del esfuerzo variará a lo largo del mismo. En incendios que superan las 3 horas, los BBFF deben ser aún más cuidadosos en la gestión de sus recursos y esfuerzo, ya que el combate puede ser prolongado. La adaptación y la economización del esfuerzo son esenciales para cumplir con los requerimientos de extinción en estos casos.

1.2.2 LINEAS GENERALES DE ACTUACIÓN

Antes de desarrollar el tipo de trabajo o principales acciones desarrolladas por los trabajadores de las ELIF y de las BRIF, se va a describir brevemente los tres momentos en los que se separa el año en la Comunidad de Castilla y León. Las épocas de peligro se establecen en función de las características de la zona, a partir del mapa de riesgo potencial ante IF y del mapa de riesgo diario. De acuerdo con lo previsto en la Directriz Básica se consideran tres tipos de épocas que quedan definidas de la siguiente manera:

- Época de peligro alto, en la que, en función de la evaluación del riesgo y la vulnerabilidad, se extremarán las medidas de prevención, y los

medios desplegados permanecerán en alerta. Del 12 de junio al 12 de octubre.

- Época de peligro medio, en la que, en función de la evaluación del riesgo y la vulnerabilidad, serán de aplicación ciertas medidas limitativas y prohibitivas y los medios desplegados permanecerán en alerta. Definida en función de las condiciones meteorológicas.
- Época de peligro bajo, en la que, en función de la evaluación del riesgo y la vulnerabilidad, no es preciso adoptar precauciones especiales. Resto del año.

En relación con las principales acciones llevadas a cabo por el personal ELIF y BRIF, encontramos las siguientes (Centro para la Defensa contra el Fuego (CDF), 2014, 2018; González- Garnelo & Fernández- Huertas, 2003; MITECO, 2023a):

- Labores preventivas y tratamientos silvícolas.
- Labores de extinción, remate y liquidación de IF.
- Vigilancia activa.

1.2.2.1 Labores preventivas y tratamientos silvícolas

Estas labores se desarrollan principalmente fuera de época de peligro alto, aunque algunos medios, como es el caso de “cuadrillas terrestres” durante esta época, realizan este tipo de labores durante una parte de su jornada. Se establecen como trabajos eminentemente físicos donde los trabajadores deben portar herramientas manuales y mecánicas durante largos periodos de tiempo (turnos de hasta 8 h) (González- Garnelo & Fernández- Huertas, 2003).

- Trabajo con herramientas mecánicas: herramientas que tienen un peso de entre 5-8 kg, (*e.g.*, desbrozadoras, motosierras, moto podadora, etc.). Con ellas se realizarán labores de desbroce, adecuación de caminos, podas, etc.
- Trabajo con herramientas manuales: para la realización de labores de poda, desbroces, acumulación de material. Se utilizan herramientas de corte o raspado como pértigas, azadas o rastrillos entre otros. Con un peso que varía entre 2-6 kg.
- Trabajo de acarreo de ramas: esta labor se realiza para retirar, en los casos que sea necesario, el material cortado, desbrozado o eliminado durante las labores de desbroce o adecuación de caminos.
- Trabajo de quemas prescritas: trabajo realizado fuera de época de peligro alto, donde los equipos primeramente deberán realizar labores de desbroce (en el caso de ser necesario), y generar zonas

seguras desde donde poder realizar la propia quema. Posteriormente, realizan una quema de una superficie forestal de terreno variable en función de las necesidades.

1.2.2.2 Labores de extinción, remate y liquidación de incendios forestales

El trabajo en un incendio, desde un punto de vista general, consiste en parar el fuego en la línea de control. Se debe aprovechar para ello cualquier barrera natural (arroyo, roquedo, arenal), artificial ya existente (camino, línea férrea, valla, cerca), o a construir (línea de defensa, pasada de bulldozer, perímetro controlado). Una vez controlado el avance de las llamas, se realizan los trabajos de liquidación y vigilancia para evitar que el incendio pueda reproducirse y reavivarse. Estas labores principalmente se desarrollan durante la época de peligro alto, aunque los IF se dan en cualquier momento del año (Centro para la Defensa contra el Fuego (CDF), 2014, 2018; González- Garnelo & Fernández- Huertas, 2003).

Extinción: consiste en la realización de las distintas acciones que permitan controlar el avance de las llamas. Este tipo de cuadrillas pueden realizar trabajos de forma autónoma, o pueden apoyar a otros medios, normalmente bulldozer, vehículos autobombas o medios aéreos. Los trabajos más habituales son los siguientes:

- Control con mochila de extinción y batefuegos.
- Extinción con herramientas: eliminación del combustible.
- Control con tierra.
- Control con apoyo de medios aéreos.
- Control con apoyo de autobomba.
- Combinación de agua con eliminación del combustible.
- Extinción mediante la utilización de fuego técnico.

Se establecen como labores muy duras, ya que unido al propio esfuerzo físico que supone portar las herramientas necesarias, a menudo durante horas, los trabajadores lo harán cerca o sobre las llamas, lo que incrementa las demandas del propio esfuerzo. Encontramos tres tipos principales de estrategias de “ataque” contra las llamas:

- Ataque directo: se llama así al trabajo que se realiza directamente sobre las llamas, donde se está produciendo la reacción de combustión. Es más común aplicar acciones básicas de enfriamiento o sofocación, aunque también puede eliminarse el combustible. En general es un trabajo con menos riesgo, puesto que mantiene al

trabajador junto a la zona negra, que normalmente se considera un lugar seguro. Sin embargo, su uso está limitado por la intensidad del calor, que puede llegar a impedir la presencia de personas junto al fuego. Con longitudes de llama superiores a 1.5 m empieza a ser imprescindible el apoyo con medios aéreos, autobombas o bulldozer. Más allá de 3.5 m el rendimiento de trabajo se hace muy lento incluso con estos apoyos. Si no se elimina el combustible durante el trabajo, se requiere de una liquidación posterior, al quedar el perímetro muy caliente y con alto riesgo de reproducciones.

- Ataque indirecto: este método consiste en trabajar a distancia del frente de llamas. Son más comunes las acciones de eliminación del combustible, aunque también puede aislarse del oxígeno por la aplicación de espumas, o enfriarse con agua antes de que llegue el fuego. Permite trabajar cuando el calor, el humo o la velocidad del fuego impiden el ataque directo. También se opta por este método cuando las condiciones requieren de una liquidación en profundidad, dado que minimiza el riesgo de reproducciones. En la ejecución se debe prestar atención a los posibles saltos de fuego a la línea de control establecida, que pueden condicionar el éxito de la actuación. Asimismo, para el cumplimiento de los protocolos de seguridad, se debe estar atento a las zonas de combustible verde entre los trabajadores y el incendio.
- Ataque mixto: método que consiste en aunar ambos tipos de ataques, directo e indirecto.

Liquidación- remate: la liquidación es el conjunto de labores que se realizan tras controlar el avance de las llamas para extinguir el incendio completamente. Constituyen un trabajo duro y lento, pero tan necesario como la extinción, pues una liquidación mal hecha puede suponer una reproducción más grave que el incendio inicial. La forma correcta de liquidar es recorrer todo el perímetro del incendio enfriando, disgregando y eliminando todos los puntos calientes. La liquidación solo con agua siempre es menos eficaz que con herramientas o bulldozer, puesto que solo enfría el combustible.

- Liquidación con apoyo de bulldozer: la cuadrilla realiza una labor complementaria al trabajo del tractor, revisando y apagando las carboneras que va dejando la máquina, quemando islas de combustible verde cerca del perímetro y rematando con herramientas puntos que no ha podido hacer la máquina.
- Liquidación con herramientas: los trabajadores mientras recorren el perímetro deberán ir realizando distintas labores de retirada y

eliminación de material con utilización de herramientas manuales tipo azadas, pulaski y/o herramientas motorizadas tipo motosierras o motodesbrozadoras.

- Liquidación con agua: se podrá realizar de tres formas: con mochilas extintoras, con vehículos autobombas, en apoyo a medios aéreos.

1.2.2.3 Labores de vigilancia activa

Una vez extinguido el incendio y durante un tiempo prudencial la cuadrilla queda vigilando, repartida por el perímetro, a la vista unos de otros o comunicados de viva voz, y siempre atentos a posibles reproducciones y puntos calientes. Para que sea efectiva se establecen recorridos visuales o itinerarios a pie. Si se divisa algún punto caliente se avisa y se procede a su liquidación (Centro para la Defensa contra el Fuego (CDF), 2014, 2018).

1.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SALUD Y EL RENDIMIENTO DE LOS BOMBEROS FORESTALES

A lo largo del presente apartado se realiza un análisis de los principales factores que afectan a la salud y el rendimiento de los BBFF. Estos factores abarcan desde la respuesta a emergencias inmediatas, las condiciones del terreno y el esfuerzo requerido, hasta la exposición a humos y su impacto en la salud. Además, el estrés térmico y ambiental, la intensidad y duración del esfuerzo físico, la hidratación, el descanso, los equipos de protección individual y la carga física influyen significativamente. A su vez, los desafíos mentales, lesiones y dolor crónico también son determinantes en este ámbito. Este apartado explorará en detalle cada uno de estos factores para comprender integralmente su efecto en los BBFF.

1.3.1 EMERGENCIA Y SITUACIONES DE RESPUESTA INMEDIATA

La Real Academia Española define emergencia como *“una situación de peligro o desastre que requiere una acción inmediata”*. Definiciones más detalladas como la del Sistema Nacional de Protección Civil describen situaciones de riesgo colectivo: *“aquella situación de riesgo colectivo sobrevenida por un evento que pone en peligro inminente a personas o bienes y exige una gestión rápida por parte de los poderes públicos para atenderlas y mitigar los daños y tratar de evitar que se convierta en una catástrofe”* (Ley 17/2015). Ambas definiciones comparten la idea de que se debe intervenir en el menor tiempo posible, para lo cual los FR utilizan una serie de alarmas sonoras/ acústicas que alertan de una situación que requiere su acción inmediata en cualquier momento del día o de la noche (Paterson et al.,

2016). En el momento de la activación de la alarma, los FR deben cesar de inmediato sus actividades, colocarse su Equipo de Protección Individual (EPI) y estar completamente operativos en menos de 2 min en el caso de los BBEE (Hall et al., 2016) y hasta 10min en el caso de los BBFF españoles (CDF, 2023).

La alarma de emergencia se ha relacionado con gran cantidad de eventos cardiovasculares adversos y muertes relacionadas con enfermedades coronarias observadas en los BBEE de Estados Unidos (Holder et al., 2006; Kuorinka & Korhonen, 1981). Este aumento de eventos cardiovasculares adversos se ha relacionado con el incremento repentino de la frecuencia cardiaca (FC) tras el sonido de la alarma (~66 ppm) (Hall et al., 2016), seguido de una actividad física extenuante (Karlsson et al., 2011). Además, en bomberos profesionales se ha reportado un incremento de la secreción de adrenalina (Paterson et al., 2016), asimismo, se ha observado como la utilización de alarmas aumenta la presión arterial en policías, BBEE y personal de ambulancias (Kales et al., 2009).

Durante la activación de la alarma en trabajadores de emergencias, puede producirse un aumento en los niveles de cortisol en la saliva. El cortisol, relacionado con la respuesta al estrés, desempeña un papel vital en la regulación del metabolismo, la respuesta inmunitaria, la presión arterial y el equilibrio de fluidos, movilizandando energía almacenada para suministrar rápidamente energía a los músculos y al cerebro (Kadmiel & Cidlowski, 2013). Sin embargo, niveles crónicamente elevados de cortisol debido al estrés prolongado pueden tener efectos negativos en la salud, como trastornos del sueño, problemas digestivos, supresión del sistema inmunológico y mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares (Oakley & Cidlowski, 2013). En un estudio realizado por Hall y colaboradores en 2016, se evaluó la respuesta de cortisol en saliva en un grupo de 16 participantes que pasaron cuatro días y noches en un laboratorio del sueño. Estos individuos fueron informados de que podrían recibir una alarma en cualquier momento durante los días uno, tres o cuatro, con un límite de una alarma por cada 24 horas. El estudio encontró diferencias significativas en los niveles de cortisol durante las alarmas nocturnas, mientras que no se observaron diferencias durante las alarmas diurnas, lo cual a largo plazo podría desarrollar los efectos negativos en estos profesionales.

1.3.2 CONDICIONES DEL TERRENO, PESO DEL EQUIPO, DURACIÓN DEL ESFUERZO

El trabajo de los BBFF se caracteriza principalmente por tres factores, transporte de cargas muy pesadas (7-29 kg), larga duración de sus intervenciones (>3 h), y condiciones orográficas adversas (Carballo-Leyenda et al., 2021; Cuddy et al., 2015; Rodríguez-Marroyo et al., 2011a, 2012a; Sol et al., 2018). Cada uno de ellos tiene unas características altamente demandantes, que al unirse podrán aumentar considerablemente el riesgo de sufrir algún tipo de accidente sobre el trabajador. Una característica común de los tres factores es que son variables, puesto que cada BBFF podrá portar cargas diferentes en función del tipo de trabajo realizado, el puesto, el tipo de incendio y las necesidades momentáneas. Del mismo modo, la duración del incendio o intervención y sus características orográficas serán variables.

1.3.2.1 Transporte de cargas pesadas

A nivel internacional se ha descrito como los BBFF utilizan cargas pesadas, que serán diferentes en función de la localización, y del tipo de BBFF que se esté analizando. En Estados Unidos donde conviven distintos tipos de BBFF, se han informado cargas de hasta 28 ± 6 kg de media de los *Interagency Hotshot Crews* (Sol et al., 2018). En Canadá, se han informado de cargas variables en función del tipo herramienta que deben portar, pero que van desde los 4.1 kg de masa del EPI, hasta los 28.5 kg del surtidor de agua (Gumieniak et al., 2018). Por el contrario, en España, se han informado cargas medias de 11.5 kg en el colectivo BRIF, con valores que van desde los 4 hasta los 25 kg (García-Heras et al., 2022).

El transporte de cargas pesadas aumenta la tensión fisiológica, reduce la capacidad para hacer trabajo externo, altera la mecánica de locomoción y, en consecuencia, aumenta el coste energético del trabajo durante el ejercicio intenso, y predispone a una mayor tasa de lesiones y dolor crónico sobre los trabajadores (Britton et al., 2013; Carballo-Leyenda et al., 2018, 2019; García-Heras et al., 2022; Ruby et al., 2003a; Taylor et al., 2016). Cuanto mayor sea la carga, más energía se destina a su transporte en lugar de la locomoción, además, el impacto de cualquier carga no solo está determinada por su masa, sino de sus dimensiones y distribución alrededor del cuerpo, sin obviar las cargas relativas en función de la masa corporal del trabajador que las porte (Taylor et al., 2016). Este último punto tiene especial relevancia en el colectivo forestal femenino, y aquellos trabajadores menos

pesados, donde cargas habituales de 20 kg pueden suponer hasta un 40% del peso de estos (Ruby et al., 2003a).

1.3.2.2 Larga duración de las intervenciones

La duración de las intervenciones de los BBFF es impredecible, “el bombero sabe cuándo sale a una intervención, pero no tiene certeza de cuándo regresará” (Pina-Orduña, 2014). La variación en la duración es notable según el país, además en Estados Unidos, Canadá o Australia los BBFF trabajan en turnos continuos que pueden llegar a días consecutivos (Chappel et al., 2016; Gumieniak et al., 2018; Lui et al., 2014). En el caso de España es variable en función del dispositivo, aunque existe una recomendación por parte del Comité de Lucha Contra Incendios Forestales de turnos de 8-12 h (que pueden llegar a 14 h en emergencias) con descanso mínimo de 10 h entre jornadas consecutivas (Comité de Lucha Contra Incendios Forestales, 2013).

Estas diferencias implican intensidades de esfuerzos distintas durante intervenciones reales que estarán condicionadas entre otras cuestiones a la duración de la intervención y al tipo de trabajo utilizado, cuestiones que fueron analizadas por nuestro Grupo de Investigación (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a, 2012a). En estos estudios se analizaron entre otras cuestiones el porcentaje de frecuencia cardiaca máxima (FC_{max}) al que trabajaban los BBFF durante extinción de más de 200 IF reales, y el porcentaje del tiempo en diferentes zonas de intensidad: zona 1 (esfuerzo de baja intensidad, por debajo del umbral aeróbico), zona 2 (esfuerzo de intensidad moderada, entre los umbrales aeróbico y anaeróbico) y zona 3 (esfuerzo de alta intensidad, por encima del umbral anaeróbico) (Tabla 2). El porcentaje de FC_{max} y el porcentaje del tiempo total empleado en zona 2 y zona 3 disminuyeron a medida que aumentaba la duración de los incendios. El aumento del trabajo que los BBFF deben realizar en incendios de mayor duración podría implicar una mayor fatiga muscular, lo que limita la capacidad de trabajar a mayores intensidades. Además, durante las fases iniciales de un incendio, los BBFF trabajan con mayor intensidad para controlar el fuego, actuando directamente contra las llamas o construyendo líneas utilizando diferentes herramientas manuales, todo lo cual requiere mayores tasas de trabajo y un aumento en los requerimientos energéticos y fisiológicos. Una vez que se ha controlado el fuego, el uso de herramientas manuales disminuye y las tareas realizadas son más ligeras.

Asimismo, el mayor tiempo y porcentaje del tiempo total pasado en zona 2 y zona 3 se observó en IF en los que se utilizó un ataque directo o mixto. Parece ser que la mayor cercanía de los BBFF a las llamas en un ataque directo podría involucrarlos a enfrentar temperaturas del aire más altas, fomentando así un aumento de la intensidad del esfuerzo. Además, el trabajo realizado en un ataque directo se suele realizar a un ritmo más rápido, en un intento de controlar rápidamente el avance del fuego, lo que incrementa los requerimientos físicos, fisiológicos y energéticos.

Tabla 2. Porcentajes de frecuencia cardiaca y zonas de intensidad durante la extinción de incendios forestales.

Tipo de incendio		FC _{max} (%)	Tiempo Zona 1 (%)	Tiempo Zona 2 (%)	Tiempo en zona 3 (%)
En función del tipo de trabajo	Ataque directo	67.2 ± 1.1	66.1 ± 2.5	27.0 ± 1.5	6.9 ± 1.0
	Ataque indirecto	58.1 ± 1.6	84.4 ± 2.6	12.9 ± 2.1	2.7 ± 0.6
	Mixto	66.3 ± 0.9	64.0 ± 2.1	28.8 ± 1.6	7.1 ± 0.8
En función de la duración	< 1 h	70.8 ± 0.8	57.1 ± 2.4	35.0 ± 2.1	7.9 ± 1.2
	1-3 h	67.0 ± 0.4	62.8 ± 2.0	30.2 ± 1.7	7.0 ± 0.9
	>3 h	62.0 ± 1.1	76.5 ± 2.1	20.5 ± 1.5	3.0 ± 0.6

Fuente: extraído de Rodríguez-Marroyo et al., 2011a, 2012a; Valores expresados como media ± SD. FC_{max}, frecuencia cardiaca máxima

1.3.3 INHALACIÓN DE HUMOS Y SUS EFECTOS EN LA SALUD

Los BBFF están expuestos a peligros para la salud por inhalación, incluidos los contaminantes atmosféricos peligrosos de la combustión de biomasa vegetal viva y muerta (humo) y la respiración del polvo del suelo, mientras trabajan a turnos de trabajo prolongados sin protección respiratoria (Navarro et al., 2019). El humo de los IF es una mezcla compleja de contaminantes del aire en fase gaseosa y de partículas, que incluyen entre otros, dióxido de carbono, monóxido de carbono, formaldehído, hidrocarburos aromáticos policíclicos (Adetona et al., 2016).

El estudio de la influencia de los contaminantes inhalados en estos profesionales se ha centrado principalmente en el análisis a corto plazo como se puede ver en diversas revisiones recientemente publicadas (Adetona et al., 2016; Barbosa et al., 2022; Groot et al., 2019; Koopmans et al., 2022). De ellas se puede extraer que existen disminuciones significativas de la función pulmonar individual, y en la capacidad de respuesta de las vías respiratorias después de la temporada de incendios en comparación con los valores previos. Al examinar modificaciones entre turnos de trabajo, se han

observado disminuciones significativas en la función pulmonar asociada con una alta exposición a levoglucosano (un marcador para el humo de la combustión de madera o vegetación), además se informaron niveles elevados de biomarcadores de inflamación sistémica en bomberos después de IF y quemas prescritas.

Los estudios a largo plazo son limitados, y se han basado en evaluaciones de riesgos o predicciones (Booze et al., 2004; Navarro et al., 2019). Booze et al. (2004), realizaron una evaluación de riesgos para la salud con el objetivo de caracterizar el riesgo de cáncer y los efectos no cancerosos en la salud de los BBFF, concluyendo que había riesgos elevados de desarrollar cáncer de pulmón, principalmente por la exposición al benceno y al formaldehído. Por otro lado, Navarro et al. (2019), demostraron, a través de las relaciones existentes entre la exposición y la respuesta a las partículas, mediante el uso de una concentración de partículas medida a partir del humo y las tasas de respiración en IF reales, que los BBFF tenían un mayor riesgo de desarrollar cáncer de pulmón y enfermedades cardiovasculares. Riesgo que aumenta con el incremento en la duración de la carrera y los días dedicados a incidentes de IF cada temporada de incendios.

1.3.4 ESTRÉS TÉRMICO Y ESTRÉS AMBIENTAL EN EL ENTORNO DE TRABAJO

El trabajo realizado por los BBFF conlleva unas elevadas exigencias, las cuales están condicionadas por las actividades que deben realizar, las condiciones ambientales donde se desarrollan y el equipo de protección que deben portar (Rodríguez-Marroyo et al., 2012a). Investigadores australianos han informado temperaturas de 35 a 45 °C, menos del 20% de humedad relativa, y velocidades del viento superiores a los 30 km·h⁻¹, durante las temporadas de IF (Aisbett et al., 2012). Estos factores conllevan que los BBFF lidien con una alta tensión térmica debido a las altas temperaturas cuando trabajan cerca del fuego, temperaturas centrales (TC) promedio de 38.3 ± 0.1 y TC máximas cercanas al golpe de calor (39.2 ± 0.3 °C) (Rodríguez-Marroyo et al., 2012a), mientras enfrentan una disipación de calor reducida debido al uso de equipo de protección (Petruzzello et al., 2009). En estas circunstancias, un aumento excesivo de las demandas termofisiológicas (incrementos de TC, temperatura de la piel, frecuencia cardiaca de la tasa de sudoración) podrían conducir a un rendimiento físico y cognitivo deteriorado, estrés térmico, calambres musculares, síncope por calor, agotamiento por calor o incluso golpe de calor (Butts et al., 2017;

Carballo-Leyenda et al., 2018; Cuddy et al., 2008; Périard et al., 2016, 2021; Petruzzello et al., 2009). El estrés térmico se refiere a la acumulación de calor en el cuerpo debido a factores ambientales, actividad física y características individuales, lo que puede resultar en problemas fisiológicos y psicológicos, así como enfermedades por calor y riesgo de accidentes (Aisbett et al., 2012), lo cual depende de la capacidad de termorregulación del individuo. Los calambres musculares por calor son un signo temprano de enfermedad por esfuerzo por calor, causados por agotamiento de sodio, deshidratación y fatiga neuromuscular (Périard & Racinais, 2019). El síncope por calor se desencadena por altas temperaturas y periodos prolongados de estar de pie, más común en la fase inicial de aclimatación al calor. La deshidratación y ciertos medicamentos aumentan el riesgo, mientras que la aclimatación al calor puede reducirlo (Racinais et al., 2015). El agotamiento por calor implica una incapacidad para mantener la actividad física en condiciones de alta temperatura corporal, y se manifiesta con síntomas como sudoración profusa, malestar y fatiga, diferenciándose del golpe de calor por la función cognitiva normal (Périard et al., 2021). Finalmente, el golpe de calor es la forma más grave de enfermedades por esfuerzo por calor, con temperaturas centrales superiores a 40 °C, y disfunción multiorgánica, lo que requiere tratamiento urgente con enfriamiento rápido, ya que puede ser potencialmente mortal (Périard et al., 2021).

Ante todo, una buena condición física desempeña un papel crucial en la reducción de la posibilidad de sufrir cualquiera de las enfermedades por esfuerzo por calor, ya que cuando el cuerpo está en buena forma, se aclimata mejor al calor y tiene una mayor capacidad para regular la temperatura interna de manera efectiva (Périard et al., 2021). Además, sujetos con una mayor resistencia cardiovascular y una mayor capacidad pulmonar tienen una mejor circulación sanguínea y oxigenación de los tejidos, lo que ayuda a mantener el equilibrio térmico durante el ejercicio y la exposición al calor (Daanen et al., 2018; Périard et al., 2021; Racinais et al., 2015).

1.3.5 DESHIDRATACIÓN Y SU IMPACTO EN LA SALUD Y EL RENDIMIENTO

La hidratación durante la práctica de actividad física ha demostrado tener una influencia directa en el desempeño físico y la salud en general. Por lo tanto, cualquier desequilibrio que impida mantener al individuo en un estado de hidratación óptima tendrá un impacto negativo tanto en su rendimiento como en su bienestar (Febbraio, 2001; Hargreaves, 2008;

Maughan, 1999). De acuerdo con las directrices del *American College of Sports Medicine*, se pueden emplear varios indicadores biológicos para evaluar el estado de hidratación durante la actividad física, como la medición de la pérdida de peso corporal, la determinación de la densidad urinaria o la evaluación del contenido total de agua en el cuerpo (Sawka, 2015; Sawka et al., 2007).

Durante la realización de actividad física, la temperatura del cuerpo aumenta, lo que desencadena una serie de mecanismos que intensifican la pérdida de calor (termorregulación). Esto implica un aumento en el flujo sanguíneo en los vasos más cercanos a la piel (vasodilatación periférica) y una mayor secreción de sudor (Sawka et al., 2007). El proceso de sudoración es esencial para disipar el calor durante ejercicios prolongados, incluso a niveles de intensidad submáxima, y especialmente en climas cálidos, además la relación directa entre temperaturas elevadas y humedad con el aumento en la temperatura corporal implica un mayor riesgo de deshidratación para el individuo (Sawka et al., 2007). La deshidratación puede afectar el rendimiento, causando fatiga, reduciendo la concentración y limitando la regulación térmica, con graves riesgos para la salud, como calambres, agotamiento por calor, insolación y riesgo de muerte. (Sawka, 2015). La sudoración conlleva la pérdida de agua junto con electrolitos, pérdida que no es uniforme en todos los individuos y, en particular, los electrolitos y sales más afectados por la producción de sudor son el sodio y el cloro (Sawka et al., 2011). Según la literatura, se estima que en promedio se pierden aproximadamente 3.2 g de sal por litro de sudor, y la eliminación de sudor se sitúa en un rango de 1 a 1.5 litros por hora de ejercicio, lo que puede desembocar en calambres musculares, y fatiga (Sawka et al., 2007; Sawka, et al., 2011).

En el caso de los BBFF que trabajan en IF, una correcta hidratación es esencial para prevenir la deshidratación y la fatiga, y para mantener la capacidad física y mental, además puede ayudar a prevenir accidentes y lesiones, lo que puede ser crucial en situaciones de alto riesgo. (Cuddy et al., 2008, 2015; Marks et al., 2020; Raines et al., 2013, 2015; Rosales et al., 2021). Se han descrito las siguientes consecuencias por la deshidratación de los BBFF (Cuddy et al., 2008, 2015; Marks et al., 2020; Raines et al., 2013, 2015; Rosales et al., 2021):

- ✓ Incremento en la sensación de cansancio y debilidad muscular, lo que podría aumentar el riesgo de sufrir lesiones y accidentes durante la labor.

- ✓ Aumento en la vulnerabilidad a experimentar golpe de calor, debido a la disminución en la capacidad del cuerpo para disipar el calor en situaciones de falta de hidratación.
- ✓ Mayor probabilidad de padecer trastornos gastrointestinales, como malestar estomacal, vómitos, diarrea o calambres abdominales.
- ✓ Desequilibrios en la distribución de electrolitos, lo cual puede derivar desde calambres musculares hasta anomalías en el ritmo cardíaco en casos más graves.
- ✓ Disminución en la capacidad de concentración mental y en la capacidad para tomar decisiones, lo que podría influir en la seguridad y eficacia durante el trabajo de los BBFF.

1.3.6 IMPORTANCIA DEL SUEÑO Y EL DESCANSO EN LA RECUPERACIÓN Y EL RENDIMIENTO

El sueño es un componente esencial en la salud y el bienestar, con impactos significativos en el desarrollo físico, la regulación emocional, el rendimiento cognitivo y la calidad de vida (Watson, 2017). Se ha descrito que la cantidad de sueño recomendada para lograr una salud y una calidad de vida óptimas varía a lo largo de la vida, con una disminución gradual desde el nacimiento hasta la edad adulta, estableciéndose un rango entre 7 y 9 h de sueño para un rendimiento y salud óptimos (Watson, 2017). Estas cantidades variarán ampliamente entre sujetos y pueden diferir día a día para el mismo individuo en función de una serie de factores que incluyen enfermedades, falta de sueño y estrés fisiológico o psicológico (Watson, 2017). Sin embargo, la duración es sólo un componente del sueño y la importancia de la calidad del sueño se reconoce cada vez más como un elemento vital para la salud y el bienestar general (Bird, 2013).

En el caso de deportistas, el sueño se establece como un componente clave en la optimización del rendimiento, la recuperación y en la calidad de vida (Charest & Grandner, 2020). Con recomendaciones sustancialmente superiores a las de la población general (9-10 h·día⁻¹), aunque la evidencia ha señalado que en general, la calidad y duración del sueño en deportistas está por debajo de las recomendaciones, provocado por cargas elevadas de entrenamiento, horarios de entrenamiento, competición, viajes y modificaciones horarias (Bird, 2013; Charest & Grandner, 2020; Watson, 2017). Esta privación del sueño, provoca en los atletas reducciones en el rendimiento cognitivo y motor, en los tiempos de reacción y en el estado de ánimo o estabilidad emocional (Bird, 2013).

El efecto de la privación del sueño en los BBFF ha sido ampliamente estudiado en Australia, EE. UU., y Canadá (Adetona et al., 2016; Aisbett et al.,

2012; Jeklin et al., 2020; McGillis et al., 2017; Vincent et al., 2015; Vincent, Aisbett, et al., 2018; Vincent, Ferguson, et al., 2018). Durante los despliegues de los BBFF, el personal puede dormir en alojamientos temporales cerca del lugar del incendio, e incluso en el mismo incendio forestal ya sea en el vehículo o en tiendas de campaña (Aisbett et al., 2012; Vincent et al., 2016). Las condiciones del lugar del incendio, como calor, luz, humo, ruido y entornos desconocidos, pueden contribuir a un ambiente inadecuado para dormir, lo que puede comprometer la cantidad y calidad del sueño (Aisbett et al., 2012; Jeklin et al., 2020; Vincent et al., 2015, 2016). En consecuencia, los bomberos han informado que durante despliegues de varios días de IF consecutivos duermen entre 3 y 6 horas por noche (Cater et al., 2007; Vincent et al., 2016). Esta restricción del sueño no influye en el desempeño de tareas físicas de los BBFF y la capacidad cognitiva cuando ambas se miden a corto plazo (2-3 días de restricción de sueño) (Vincent et al., 2015, 2016), sin embargo, a medida que los despliegues aumentan en duración (14-17 días) existen reducciones significativas en el rendimiento cognitivo, mayor fatiga, y mayor somnolencia (Jeklin et al., 2020).

1.3.7 EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL Y SU INFLUENCIA EN LA SALUD Y EL RENDIMIENTO

El uso del EPI es necesario y obligatorio dentro del trabajo de los BBFF, ya que entre otras cuestiones protege a los trabajadores a la exposición térmica (Carballo-Leyenda et al., 2018, 2019). Carballo-Leyenda et al., (2019), analizaron la exposición térmica de los BBFF españoles durante intervenciones en IF reales, y observaron entre otras cuestiones, como el flujo de calor (transferencia de energía térmica que ocurre entre dos objetos o sistemas que tienen diferentes temperaturas) se redujo en un ~70% debido a la protección del EPI, en mediciones tanto en el pecho como en el muslo de los BBFF. Sin embargo, el uso adicional del EPI puede reducir la capacidad de trabajo y la movilidad, además de aumentar la tensión fisiológica sobre los sujetos que lo portan, y en consecuencia limitar su rendimiento y seguridad (Carballo-Leyenda et al., 2017, 2018; Louhevaara et al., 1984; McGill et al., 2013; Phillips et al., 2016; Taylor et al., 2016).

En el caso de los BBFF el EPI esta compuesto por un traje ignífugo, un casco, guantes, cubrenucas, gafas de protección y botas de cuero (Carballo-Leyenda et al., 2017, 2018, 2021), lo que aumenta considerablemente el peso de este (Selkirk & McLellan, 2004), y muy significativamente la respuesta térmica durante pruebas de laboratorio (Carballo-Leyenda et al., 2018). En este último estudio seis BBFF realizaron una prueba de ejercicio gradual de 120 minutos usando tres configuraciones de ropa diferentes: 1- equipo

deportivo corto (control); 2- EPI portando solo el traje y las botas (EPI); 3- EPI completo (EPIC; traje, casco, gafas, guantes, cubrenucas, y botas de protección). Observándose aumentos de las temperaturas centrales de los BBFF, todas ellas al final de las pruebas excedieron el valor de 38°C (factor limitante del rendimiento durante el ejercicio en condiciones de calor), sin embargo, el aumento de la temperatura central fue aproximadamente dos veces más rápido en condiciones de EPIC, en comparación con EPI o control. Esto ocurrió como resultado del efecto combinado del aumento de la producción de calor metabólico y la limitación de la disipación de calor asociada al uso del EPI completo, lo que resultó en una marcada situación de estrés térmico no compensable. Además, se ha visto en pruebas simuladas como el uso del EPI aumenta la tasa de sudoración e incrementa variables fisiológicas como el VO_{2max} , ventilación y porcentajes de FC_{max} al trabajar o caminar a mismas intensidades, cuando se comparan a los mismos sujetos con y sin uso del EPI (Carballo-Leyenda et al., 2021; Phillips et al., 2018).

Se ha demostrado que el incremento de variables fisiológicas conlleva reducciones del rendimiento en pruebas máximas y pruebas específicas de acceso al cuerpo de BBFF como el Pack Test (Carballo-Leyenda et al., 2018, 2021; Phillips et al., 2018). En Carballo-Leyenda et al., (2018) el tiempo de ejercicio fue más corto cuando portaban el equipo de protección completo (62.4 ± 13.3 min) respecto a la funda y botas (115.5 ± 5.0 min) y al control (ropa deportiva) (118.2 ± 20.7 min). En Phillips et al., (2018), realizaron una prueba de esfuerzo máxima en 3 condiciones: 1- LEX: cargado (mochila de 20.3 kg) y ropa deportiva; 2- LW: cargado y ropa de trabajo (funda y botas de seguridad); 3- UEX: descargado y ropa deportiva. Se observaron reducciones significativas en el tiempo de esfuerzo entre las condiciones UEX y LEX (1228 ± 33 min y 873 ± 31 min, respectivamente), condiciones UEX y LW (1228 ± 33 y 793 ± 27 min respectivamente), y condiciones LEX y LW (873 ± 31 min y 793 ± 27 min respectivamente), por lo que la adición del equipo de trabajo (funda y botas), supuso una reducción del rendimiento del 9% en los BBFF. Así mismo estos autores midieron el efecto del EPI (LEX vs. LW) en la realización de la prueba Pack Test, la cual consta de la realización de un recorrido de 4.83 km, portando una carga de 20.3kg en menos de 45 min, los BBFF tuvieron una reducción significativa del tiempo de finalización, pasando de 41.2 ± 0.5 min, a 42.6 ± 0.5 min en LEX y LW, respectivamente. En otro estudio (Carballo-Leyenda et al., 2021) se analizó el impacto del EPI completo (es decir, mono, guantes, casco y botas) en el desempeño de la prueba Pack Test en 8 BBFF profesionales. En este caso los BBFF mostraron una reducción de entorno al 12% en rendimiento de la prueba Pack Test (33.3 ± 3.9 min, 37.2 ± 4.4 min, en condiciones de control (ropa deportiva) y EPI completo respectivamente).

1.3.8 CARGA FÍSICA Y GASTO DE ENERGÍA EN EL TRABAJO DE LOS BOMBEROS FORESTALES

A nivel internacional ha sido descrito el gran desgaste energético que estos profesionales sufren durante el desarrollo de su trabajo (Cuddy et al., 2008, 2011; Elsner & Kolkhorst, 2008; Marks et al., 2020; Sol et al., 2018). Ya en 2004 el Centro de Fisiología del Trabajo y Metabolismo del Ejercicio de Montana (Universidad de Montana, EE.UU) determinó que los BBFF estadounidenses tenían un gasto energético total durante sus intervenciones de 2719–6260 kcal·d⁻¹ (Ruby et al., 2002), y quince años después reportaron un rango similar 2946–6083 kcal·d⁻¹ con una producción promedio de 4556 ± 943 kcal·d⁻¹, demostrando de nuevo la naturaleza exigente de la profesión (Cuddy et al., 2015) (Tabla 3).

Para la medición del gasto de energía en estos profesionales se han utilizado los siguientes aparatos o métodos:

Acelerómetros: Miden la frecuencia y la magnitud de distintos movimientos corporales, el gasto energético total puede ser estimado basándose en la edad, sexo, talla y peso del individuo. Pueden medir la intensidad y la velocidad de los movimientos en 1 (uniaxial) o 3 (triaxial) planos. Los acelerómetros han sido validados bajo condiciones habituales de vida con calorimetría indirecta y agua doblemente marcada (Plasqui & Westerterp, 2007).

Agua doblemente marcada: se trata del estándar de oro o prueba más fiable para la estimación del gasto de energía durante actividades físicas y laborales exigentes (Ruby et al., 2002). El protocolo consiste en enriquecer el agua corporal de un sujeto con hidrógeno pesado (²H) y oxígeno pesado (¹⁸O), y luego determinar la diferencia en la cinética de lavado entre ambos isótopos, en función de la producción de dióxido de carbono. El método del agua doblemente marcada es el método indicado para medir el gasto energético en cualquier ambiente, especialmente en lo que se refiere al gasto energético de la actividad, sin interferencia con el comportamiento de los sujetos. La principal limitación de este método es que requiere de complicados sistemas de medición, y su medición implica estrictos protocolos metodológicos (Westerterp, 2017).

Tabla 3. Demanda energética de la extinción de incendios.

Estudio	Muestra	Método de medición	Momento de medición	Demanda energética
Ruby et al., 2002	17 BBFF	Estimación del GTE mediante la utilización del agua doblemente marcada.	5 días de extinción de IF reales.	4878 ± 716 kcal (hombres); 3541 ± 718 kcal (mujeres)
Heil, 2002	10 BBFF	Utilización de monitor electrónico de actividad (acelerómetro unidimensional) para la estimación del GTE, y Gasto de Energía Actividad, durante la extinción de incendios.	Turno de extinción de IF de 21 días de duración.	4768 ± 478 kcal (GTE, por día de trabajo). 2585 ± 406 kcal (GEA, durante la extinción de IF).
Cuddy et al., 2015	15 BBFF	Estimación del Gasto Total de Energía mediante acelerómetro triaxial.	Turno de extinción de IF de 3 días de duración. A un promedio de 11.4 ± 0.7h trabajo/día	4556 ± 943 kcal (GTE, por día de trabajo), 2381 ± 746 kcal (GEA, durante la extinción de IF). 10 kcal/min de trabajo. Tiempo de extinción: 49 ± 8% (<1.49 MET); 39 ± 6% (1.50-2.99 MET); 12 ± 2% (>3 MET)
Robertson et al., 2017	21 BBFF	GTE de 24 horas estimada utilizando: gasto individual, promedio y por hora observado para cada tipo de trabajo; tiempo medio de sueño; y valores MET del Compendio de Actividades Físicas.	Temporada de IF de 2014. Dividiéndose en tres momentos; 1- trabajo en base; 2- ataque inicial (labores de alta intensidad: ataque directo); 3- ataque ampliado (labores de intensidad moderada: ataque indirecto).	Trabajo en base: 2842 ± 650 kcal (8.1 ± 3.4 MET) Ataque inicial: 4538 ± 1006 kcal (11.6 ± 1.6 MET) Ataque ampliado: 4029 ± 1165 kcal (9.9 ± 3.2 MET)

Fuente: elaboración propia; BBFF, bomberos forestales; IF, incendios forestales; GTE, gasto total de energía; GEA, Gasto de energía por actividad; MET, equivalente metabólico; kcal, kilocaloría.

Equivalentes metabólicos: La principal forma de caracterizar las demandas energéticas del trabajo de extinción de IF, es a partir de los equivalentes metabólicos (MET). Los valores MET se definen como la relación entre la tasa metabólica de trabajo y una tasa metabólica estándar en reposo de 1.0 kcal·kg⁻¹·h⁻¹. Un MET se considera el gasto energético de una persona en reposo. Los valores MET van desde 0.9 MET para dormir hasta 23 MET para

correr a 14.0 mph (Ainsworth et al., 2011). Para un adulto de referencia, 1 MET es aproximadamente $3.5 \text{ ml de oxígeno kg}^{-1} \text{ peso corporal} \cdot \text{min}^{-1}$ o $1 \text{ kcal} \cdot \text{kg} \cdot \text{h}^{-1} \text{ peso corporal}$. En general, se ha recomendado estimar el costo calórico de la actividad física con la ecuación, kilocalorías = MET \times peso en kilogramos \times duración en horas. En el compendio de actividades físicas de 1993, se publicaron los distintos equivalentes metabólicos relacionados con actividades físicas, sedentarias y laborales, detallando que aquellos esfuerzos sedentarios son <1.49 MET, esfuerzos ligeros >1.50 - 2.99 MET, esfuerzos moderados 3 - 5.99 MET, y esfuerzos vigorosos >6 MET (Ainsworth et al., 1993).

Los requisitos ocupacionales de estos trabajadores requieren el consumo de alimentos que satisfagan las demandas de energía y proporcionen una satisfacción adecuada para mantener los patrones de consumo durante la totalidad de los turnos de trabajo (Marks et al., 2020), que en función del puesto pueden variar en intensidad y duración, y la duración de la temporada de incendios, que generalmente se extiende de junio a octubre en España. En este sentido la literatura deportiva ha señalado como una correcta suplementación nutricional durante el ejercicio de larga duración (>2 h) tiene una mayor capacidad para completar el trabajo físico (Burke et al., 2011; Jeukendrup, 2017), y en concreto tanto en los BBFF (Cuddy et al., 2007) como en personal militar (Montain et al., 1997; Tharion et al., 1997) una correcta suplementación con carbohidratos provocó una mejor producción de trabajo durante las últimas horas de trabajo, así como una preservación significativa de del glucógeno muscular, el cual es un determinante de la fatiga física y mental. En este sentido, Marks et al., (2020) en su estudio realizado a 86 BBFF que trabajaron en turnos de 14 h, demostraron que los BBFF tenían un déficit en la ingesta de energía, ya que el total consumido fue de $3684 \pm 1493 \text{ kcal} \cdot \text{d}^{-1}$, mientras que el gasto energético total para tareas similares fue de $4556 \pm 943 \text{ kcal} \cdot \text{d}^{-1}$, además se demostró un mayor consumo de grasas y proteínas al recomendado, y una menor cantidad de carbohidratos. El consumo inadecuado de macronutrientes durante la temporada de incendios podría estar relacionado con parámetros de salud disminuidos, como es el caso del aumento del colesterol total y de las lipoproteínas de baja densidad y aumento de la grasa visceral y corporal total (Coker et al., 2019; Collins et al., 2018) observados tras mediciones antes y después de la temporada de incendios en BBFF estadounidenses. Además, a pesar de contar con valores de condición física superiores a la media, un estudio realizado a 701 BBFF españoles indicó que el perfil de salud, analizado a través de la composición

corporal, mostraba un alto riesgo de sufrir enfermedades cardiometabólicas derivadas de altos porcentajes de grasa corporal, grasa visceral y un Índice de Masa Corporal elevado, combinado con un déficit de masa magra y masa ósea (Crespo-Ruiz et al., 2020).

1.3.9 ESTRÉS MENTAL Y ANSIEDAD EN PROFESIONES EXIGENTES

El aumento de la gravedad de los IF no solo conlleva mayores pérdidas ambientales y económicas, sino que también implica un creciente esfuerzo humano y material para su extinción, generando un impacto más profundo en el personal dedicado a esta labor (Bowman et al., 2017). La emergencia durante el combate de los IF genera una alta exigencia tanto física como mental, lo cual puede resultar en niveles elevados de ansiedad y estrés en los trabajadores (Aisbett & Nichols, 2007; García-Heras et al., 2021; Robinson et al., 2013).

El estrés vinculado al trabajo de los BBFF se define como la carga física, ambiental y mental que recae sobre ellos durante sus labores (Budd et al., 1997). Entre las fuentes comunes de estrés en la escena del incendio se incluyen el humo, la intensidad y duración del trabajo, así como la acumulación de calor producto del esfuerzo físico, las condiciones climáticas y el propio incendio (Aisbett & Nichols, 2007; Budd et al., 1997). Las respuestas fisiológicas al estrés experimentadas por los BBFF abarcan un aumento en la frecuencia cardíaca, sudoración excesiva, incremento en la ansiedad momentánea y niveles elevados de cortisol en la saliva (Aisbett & Nichols, 2007; Budd et al., 1997; García-Heras et al., 2021). Además, bajo estrés sostenido o creciente, la fatiga resultante puede llevar a una disminución rápida en la toma de decisiones y el desempeño, aumentando los riesgos de accidentes laborales, lesiones ocupacionales y enfermedades a largo plazo (Aisbett & Nichols, 2007; Budd et al., 1997; Ruby et al., 2002). La elevación de las variables fisiológicas mencionadas se origina en la activación de la división simpática del sistema nervioso autónomo y el eje hipotalámico-pituitario-suprarrenal, una respuesta más lenta. Estos sistemas se activan para preparar al cuerpo frente a amenazas, lo que resulta en un incremento de adrenalina y cortisol, a su vez, elevando la frecuencia cardíaca y la provisión de glucosa a los músculos (Robinson et al., 2013). En el estudio de Perroni et al. (2009), se observó un aumento del 108.5 % en la respuesta de cortisol en saliva después de una simulación de intervención en la extinción de incendios realizada en 20 bomberos italianos profesionales. Y como se señaló anteriormente niveles crónicamente

elevados de cortisol pueden tener efectos negativos en la salud, como trastornos en el sueño, problemas digestivos, supresión del sistema inmunológico e incremento del riesgo de enfermedades cardiovasculares (Oakley & Cidlowski, 2013).

En cuanto a la ansiedad, definida como un estado de agitación y tensión con reacciones somáticas y psíquicas especiales ante la anticipación, recuerdo o vivencia actual de situaciones de inseguridad o amenaza, tanto reales como imaginarias (Márquez, 2004), se han registrado incrementos significativos en la ansiedad del momento presente (ansiedad estado o AE) tras emergencias en IF e incendios estructurales (Curilem et al., 2014; García-Heras et al., 2021). En el estudio de García-Heras et al. (2021), se evaluó la AE en 24 BBFF profesionales en tres momentos distintos: antes de una emergencia, después de la primera emergencia y al final de la temporada de IF de 2017. Se observó un aumento del 40.5% en la AE de estos profesionales inmediatamente después de una emergencia. Los autores concluyeron que el trabajo de extinción de IF afecta negativamente a nivel emocional a sus profesionales, siendo esta influencia mediada principalmente por la experiencia, la responsabilidad y las circunstancias familiares.

1.3.10 LESIONES Y DOLOR CRÓNICO RELACIONADOS CON EL DESEMPEÑO DE ESTAS PROFESIONES

El trabajo de los FR implica requisitos laborales cuya naturaleza y demandas físico-fisiológicas son tales que estos trabajadores no pueden realizarlas de manera adecuada sin una exposición al riesgo inevitable, tanto a corto (lesión o accidente) como a largo plazo (dolor crónico, incapacidad laboral) (Plat et al., 2011).

Una lesión se considera relacionada con el trabajo (ocupacional) si un evento o exposición en el ambiente de trabajo causó o contribuyó a la lesión o agravó significativamente una lesión ya existente (Phelps et al., 2018). A nivel internacional se ha descrito la alta probabilidad de lesión ocupacional dentro de los trabajadores de emergencias (Britton et al., 2013; Gnacinski et al., 2015; Nazari et al., 2020; Orr et al., 2019; Smith, 2011), sobre todo en bomberos de estructura, donde se ha informado que cada ocho minutos un bombero se lesiona en acto de servicio, ya sea entrenando o en respuesta a una emergencia (Phelps et al., 2018). Un estudio realizado en 2016 durante un período de 12 meses, a una muestra de Bomberos profesionales que comprendían 14349 hombres y 642 mujeres, estableció que el 11.7% sufrió

algún tipo de lesión, con diferencias significativas entre el personal lesionado y el no lesionado en relación con el sexo, edad, consumo de tabaco y alcohol (Kim et al., 2016). Otro estudio, en este caso longitudinal, señala que entre los años 2003 y 2012, 177 de cada 1000 bomberos profesionales australianos se lesionaron en acto de servicio, siendo los sitios lesionados con mayor frecuencia la rodilla, zona lumbar, el hombro y el tobillo (Taylor, Dodd, et al., 2015). Otro estudio realizado a 19000 bomberos estructurales coreanos señala que el ~12% se lesionó en un periodo de 12 meses, con mención especial a la experiencia de los sujetos, ya que los menos experimentados sufrieron una tasa superior de lesiones frente a los más experimentados (14.6% vs. 8.0%) (Yoon et al., 2016). Por el contrario, existe una falta de conocimiento a nivel global de las lesiones ocupacionales en el personal forestal, únicamente se han reportado datos de lesiones en BBFF de Estados Unidos en dos estudios (Britton et al., 2013; Gordon & Lariviere, 2014). En el estudio de Britton et al., (2013) señalaron 1304 lesiones ocupacionales entre 2003 y 2007, siendo los resbalones o caídas la causa principal (~28%) seguidas del uso de herramientas y transporte de cargas pesadas (~22%) y en concreto, la extremidad inferior la zona más lesionada (~35%). El estudio de Gordon & Lariviere (2014), tuvo como objetivos analizar las lesiones ocupacionales, divididas en aquellas menos graves (primeros auxilios), y más graves (aquellas que implicaron baja laboral) e identificar los predictores de lesión en los BBFF. 24 BBFF (~10%) de los participantes del estudio sufrieron una lesión de primeros auxilios, mientras que 36 (~15%) sufrieron una lesión más grave. Factores como la edad, el historial de lesiones, la personalidad y la experiencia predijeron significativamente las lesiones de primeros auxilios, mientras que las lesiones más graves se relacionaron significativamente con el estrés laboral. Los autores concluyen que la reducción del estrés entre los BBFF podría ayudar a mitigar los incidentes laborales más importantes.

Se entiende que la lesión no implica directamente baja laboral, sino que puede existir o no, pero en todos los casos produce en el trabajador molestias y/o dolor, condicionando la calidad de vida y laboral del mismo (Scherzer, Rugulies, & Krause, 2005). Si el dolor o molestias tienen una duración igual o superior a tres meses se considera dolor crónico, el cual puede resultar de una enfermedad, lesión, traumatismo, cirugía o de origen desconocido y en la mayoría de los casos multifactorial (Levins et al., 2019).

1.4 CONDICIÓN FÍSICA DE LOS BOMBEROS FORESTALES

La evidencia científica ha demostrado que las labores realizadas por los BBFF conllevan un alto riesgo de lesiones, tanto de forma aguda como crónica (Drain & Reilly, 2019). Por ello, se subraya la necesidad de que estos profesionales mantengan un nivel elevado de condición física, lo que garantiza la capacidad de afrontar las demandas laborales en condiciones de seguridad y salud (Blacker et al., 2016; Louhevaara et al., 1984; D. Phillips et al., 2017; Roberts et al., 2016).

A lo largo del presente punto abordaremos la importancia de la condición física de los BBFF, pruebas de acceso a la profesión y así como entrenamientos que la evidencia ha propuesto específicamente eficientes para este tipo de trabajadores.

1.4.1 IMPORTANCIA DE LA CONDICIÓN FÍSICA EN LOS CUERPOS DE BOMBEROS FORESTALES

La condición física, según la definición de la *American College of Sports Medicine* en 2013, abarca un conjunto de atributos relacionados con la capacidad de las personas para llevar a cabo actividades físicas. Por ello, la importancia del mantenimiento de una condición física elevada en los BBFF radica en las particularidades de su desempeño profesional, así como en las duras condiciones ambientales y comportamentales a las que se enfrentan. A lo largo del apartado anterior se ha ido abordando el gran estrés físico y gasto energético que supone el trabajo en un IF, ya que sin contar con la propia labor de extinción remate o liquidación del IF a menudo se debe portar herramientas manuales que van desde los 3 hasta los 28.5 kg junto con caminatas de más de 5 h de duración (Aisbett & Nichols, 2007; Parker et al., 2017; Rodríguez-Marroyo et al., 2011a, 2012a; Ruby et al., 2002; Sharkey & Rothwell, 1996; Smith, 2011). Numerosos autores han destacado la influencia de una preparación física específica en la mejora del rendimiento laboral, la mejora de la seguridad y salud en el puesto de trabajo y se han establecido pruebas específicas de aptitud física que precisan de un nivel o estado de condición física previo antes del inicio de su actividad laboral como el Pack Test (Carballo-Leyenda et al., 2021; Gumieniak et al., 2019; Gumieniak et al., 2018a; Gumieniak et al., 2018; Larsen et al., 2015; Netto et al., 2013; Petersen et al., 2010; Phillips et al., 2011; Sharkey & Rotwell 1996; Sell & Livingston, 2012). Y sin olvidarse de la repercusión del estrés térmico al que se ven expuestos, su relación específica con la condición física y con las condiciones ambientales a las que se enfrentan al extinguir IF (Carballo-

Leyenda et al., 2017, 2018, 2019; Larsen et al., 2015; Rodríguez-Marroyo et al., 2012a). Todo ello hace referencia, directa o indirectamente, a la relación existente entre la mejora de la condición física y la prevención de lesiones, y como el menoscabo de la condición física y/o fatiga física, y su comprensión, son un punto clave para reducir lesiones por sobreesfuerzo y mejorar así la seguridad y la salud en estos profesionales (Aisbett & Nichols, 2007; Williams-Bell et al., 2017).

Durante la extinción de IF la naturaleza impredecible de los mismos crea un ambiente comprometido o peligroso y físicamente desafiante para los BBFF (Parker et al., 2017). Ello unido a la tendencia actual de veranos cálidos y secos, con condiciones meteorológicas favorables a la propagación de los IF (Bowman et al., 2017; Williams-Bell et al., 2017), remarca la importancia de la carga de trabajo a la que se ven sometidos, relacionada tanto con la duración de los IF como con la intensidad a la que trabajan (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a, 2012a; Villa et al., 2009). Se ha señalado que la carga a la que se enfrentan los BBFF se acerca o incluso sobrepasa la carga de trabajo semanal establecida en la bibliografía para deportistas de élite o profesionales (en deportes como ciclismo o maratón), haciendo hincapié en la mejora de la condición aeróbica o VO_{2max} y la capacidad muscular como factores de rendimiento y/o eficiencia laboral (Villa et al., 2009).

El incremento de la actividad física habitual, junto con la mejora de la condición física, están asociados a mejoras en los índices de salud, y en la condición de rendimiento físico (ACSM, 2013). Estas mejoras de condición física permitirían que los BBFF puedan llevar a cabo las tareas diarias habituales, afrontando las emergencias imprevistas sin una gran fatiga sobre el organismo. La mejora de su condición física podría hacer que los BBFF puedan enfrentarse a su labor profesional en mejores condiciones de seguridad y salud, además de afrontar las emergencias imprevistas sin una gran fatiga sobre el organismo (Aisbett & Nichols, 2007; López Satué, 2009; Villa et al., 2009).

1.4.2 PRUEBAS DE APTITUD ESPECÍFICAS Y PRUEBAS DE ACCESO A LAS PROFESIONES DE BOMBEROS FORESTALES

Para hacer frente a las demandas de la emergencia, numerosos autores han enfatizado la importancia de que estos profesionales mantengan una óptima condición física para acceder al puesto, asegurando así su capacidad para afrontar las exigencias laborales de manera segura y saludable (Blacker et al., 2016; Louhevaara et al., 1984; Phillips et al., 2017; Roberts et al., 2016;

Rodríguez-Marroyo et al., 2011a, 2012a). Además de ser crucial para el ingreso, es necesario mantener esta condición física a lo largo de su carrera para salvaguardar la salud durante toda su vida laboral (Christison et al., 2021; Cornell et al., 2017). Por lo tanto, en varios países, las agencias correspondientes han implementado pruebas no solo como requisito previo al empleo, sino también como una exigencia anual para continuar en el sector (Ministerio de Trabajo, 2019; Gumieniak et al., 2018a, 2018b; Gumieniak et al., 2018; Petersen et al., 2010; Phillips et al., 2011; Sharkey & Gaskill, 2009). Un ejemplo de esto es el Pack Test, una prueba adoptada por agencias estadounidenses (Sharkey & Gaskill, 2009), australianas (Petersen et al., 2010) y españolas (Carballo-Leyenda et al., 2021), entre otros lugares. El PT implica una caminata de 4.83 km sobre terreno llano mientras se transporta una carga de 20.4 kg en menos de 45 min (Sharkey & Rothwell, 1996) (Tabla 4). Esta prueba busca simular los requerimientos fisiológicos durante la extinción de IF, poniendo a prueba la aptitud cardiovascular y la fuerza muscular de los aspirantes (Netto et al., 2013).

Tabla 4. Prueba de acceso Pack Test y sus modificaciones.

Prueba	Explicación de prueba
Pack Test	<p>Consiste en la realización de un recorrido de 4.83 km en terreno llano, portando una mochila o carga de 20.4 kg de peso, en menos de 45 min, sin correr.</p> <p>Indicaciones:</p> <p>Realizarla con ropa deportiva y cómoda.</p> <p>Introducir un calentamiento previo pautado y guiado.</p> <p>Evitar las horas centrales del día.</p> <p>Posibilidad de realizarla en pista de atletismo, necesitando 12 vueltas para cumplir con los requisitos de distancia.</p>
Field Test	<p>Consiste en la realización de un recorrido de 3.20 km en terreno llano, portando una mochila o carga de 11 kg de peso, en menos de 30 min, sin correr.</p> <p>Indicaciones:</p> <p>Realizarla con ropa deportiva y cómoda.</p> <p>Introducir un calentamiento previo pautado y guiado.</p> <p>Posibilidad de realizarla en pista de atletismo, necesitando 8 vueltas para cumplir con los requisitos de distancia.</p>
Walk Test	<p>Consiste en la realización de un recorrido de 1.60 km en terreno llano, sin carga adicional, en menos de 16 min, sin correr.</p> <p>Indicaciones:</p> <p>Realizarla con ropa deportiva y cómoda.</p> <p>Introducir un calentamiento previo pautado y guiado.</p> <p>Posibilidad de realizarla en pista de atletismo, necesitando 4 vueltas para cumplir con los requisitos de distancia.</p>

Fuente: elaboración propia, adaptado de (Sharkey & Gaskill, 2009).

Desde su inicio, el Pack Test ha dado lugar a versiones modificadas por algunas agencias de BBFF (Tabla 4). En Australia y la USDA Forest Service en Estados Unidos, se realizan tres variantes del Pack Test según el papel de los

BBFF (Phillips et al., 2011; Ruby et al., 2023). Para roles considerados arduos o muy exigentes, se aplica el Pack Test estándar. Para tareas moderadas, se utiliza una prueba llamada Prueba de Caminata de Campo o *Field Test*. Para esfuerzos ligeros, se implementa la Prueba de Caminata Ligera o *Walk Test* (Sharkey & Gaskill, 2009). Además, algunas agencias de gestión de IF australianas han reducido el tiempo permitido estándar del Pack Test a 42.5 min para los bomberos que trabajan en áreas remotas y necesitan una mayor condición física (Aisbett, 2011).

También en Australia, la identificación de trabajadores físicamente aptos que pueden cumplir con las demandas de trabajo, a menudo se logra a través de pruebas de ajuste para el servicio o *Fit For Duty* (Rhea et al., 2004). El *Fit For Duty* mide la capacidad de un individuo para realizar el trabajo requerido, generalmente simulado a través de una batería de pruebas de aptitud que simulan las cargas de trabajo requeridas de la ocupación (Michaelides et al., 2008). En Australia cuentan con un grupo de bomberos voluntarios, y estos, en su gran mayoría, no realizan pruebas de *Fit For Duty* antes de ser desplegados en un incendio a excepción del Servicio Rural de Bomberos del Territorio de la Capital de Australia (Lord et al., 2012). Las formas de extinción de un incendio forestal por parte de los bomberos voluntarios australianos difieren de las efectuadas por los bomberos estadounidenses y españoles. En Australia se esfuerzan por reducir los IF utilizando mangueras conectadas a camiones de bomberos o "buques cisterna" (Aisbett & Nichols, 2007), sin llevar a cabo transporte de carga prolongados (Phillips et al., 2012). En cambio, en Estados Unidos y España principalmente se emplean herramientas manuales (rastrillos, hachas o batefuegos en el caso de los españoles), y caminan hacia los incendios (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a; Sharkey & Gaskill, 2009), por lo tanto, las pruebas de *Fit For Duty* realizadas pueden ser diferentes para estas agencias (Lord et al., 2012).

En Canadá, con modelos de trabajo distintos a los estadounidenses y españoles, el Ministerio de Recursos Naturales de Ontario ha aceptado recientemente el protocolo WFX-FIT, desarrollado para incluir simulaciones de las tareas más importantes, físicamente exigentes y frecuentes realizadas durante el trabajo de extinción de IF (Gumieniak et al., 2019; Gumieniak et al., 2018a, 2018b; Gumieniak et al., 2018). El WFX-FIT es un conjunto de pruebas que se realiza en forma de un circuito cronometrado dentro de un pabellón adecuadamente preparado. La disposición del circuito incluye idas y vueltas a un recorrido de 40 m, con rampas de 35° cada 20 m, lo que

simula las demandas de los diferentes terrenos que deben atravesar. Para ser considerado apto, los BBFF deben completar exitosamente las cuatro partes de este circuito en conjunto en 14 min y 30 s o menos. Las partes del circuito son las siguientes:

- 1- Cargar y transportar una bomba mediana en la espalda (28.5 kg) durante 160 m, pasando 8 veces por la rampa central.
- 2- Cargar y transportar la bomba mediana en las manos durante 80 m, sin rampas.
- 3- Transportar un paquete de cuatro secciones de mangueras a la espalda (25 kg), durante 1 km, pasando 50 veces por la rampa central.
- 4- Avanzar con un trineo de 18.5 kg que simula una manguera cargada de agua).

En general, se puede decir que estas pruebas (Pack Test y sus variantes, *Fit For Duty* y WFX-FIT) son fundamentales para asegurar que los BBFF estén siempre en condiciones óptimas para enfrentar sus demandas labores.

1.4.3 ENTRENAMIENTO FÍSICO PARA LOS BOMBEROS FORESTALES

En este tipo de profesiones, tanto aspirantes como los propios trabajadores, ya sean voluntarios o profesionales, se pueden beneficiar de un entrenamiento físico regular, demostrando los posibles beneficios que pueden tener en la mejora de la salud, reducción de lesiones y aumento del rendimiento laboral (Gumieniak et al., 2018a, 2018b; Gutiérrez-Arroyo et al., 2023; Michaelides et al., 2011; Perroni et al., 2014, 2021). Especialmente interesante es la implementación de programaciones de entrenamiento eficientes en el tiempo, ya que la imprevisibilidad de sus actuaciones así lo requiere (Drain & Reilly, 2019). Dos entrenamientos que destacan por su funcionalidad y economía son el entrenamiento en circuito y el entrenamiento en circuito de alta intensidad (HICT), los cuales pueden ser implementados con material mínimo y se basan en periodos cortos e intensos de esfuerzo generalmente autoseleccionados por el deportista, con periodos de recuperación breve (Clayton et al., 2019; Gutiérrez-Arroyo et al., 2023; Klika & Jordan, 2013).

1.4.3.1 Entrenamiento en circuito

El entrenamiento en circuito se presenta como un método especializado de acondicionamiento físico que implica que el individuo trabaje contra una variedad de cargas resistivas, a menudo utilizando su propio peso corporal como resistencia. Su objetivo principal es mejorar la condición física en términos de salud y rendimiento deportivo (Haff et al., 2016). Este enfoque

se ha demostrado efectivo para aumentar el consumo de oxígeno, la ventilación pulmonar, la fuerza y la capacidad funcional, al mismo tiempo que se observan mejoras en la composición corporal (Romero-Arenas, 2013). El entrenamiento en circuito implica la realización de una variedad de ejercicios con descansos parciales o incompletos, organizados en circuitos o bloques. Estos circuitos pueden estructurarse en función del tiempo (*e.g.*, 40 s de ejercicio seguidos de 20 s de descanso) o repeticiones (10-15 repeticiones seguidas de un período de descanso específico), adaptándose a las necesidades y objetivos de la sesión de entrenamiento (Gottlob, 2007).

Este método de entrenamiento no solo es aplicable a deportistas, sino que también se ha implementado con éxito en profesionales de emergencias, incluyendo bomberos estructurales, policías y personal militar. En el caso de los bomberos estructurales, se ha recomendado su inclusión en planes de entrenamiento debido a su enfoque en la mejora de la capacidad aeróbica (VO_{2max}) y la fuerza muscular, considerando ambos como componentes esenciales para optimizar el rendimiento laboral y promover la seguridad, la salud y la prevención de lesiones (Abel et al., 2011; Michaelides et al., 2008, 2011; Muñoz-Martínez et al., 2017; Rojas Quirós, 2013). Abel et al. (2011) propusieron que el entrenamiento en circuito puede generar adaptaciones significativas tanto en la condición aeróbica como en la fuerza muscular, siempre y cuando se alcancen niveles de intensidad adecuados (aproximadamente el $79.4 \pm 5.4\%$ de la frecuencia cardíaca máxima) durante las sesiones de entrenamiento. Además, enfatizaron la importancia de incorporar ejercicios que simulen o se asemejen al esfuerzo real que los bomberos enfrentan en su jornada laboral, incluyendo movimientos específicos de musculación y técnicas relacionadas con su trabajo, como el arrastre de mangueras, el golpeo con martillos sobre neumáticos y ejercicios tipo *farmer walk* que imitan el transporte de equipo.

1.4.3.2 Entrenamiento en circuito de alta intensidad

El entrenamiento de alta intensidad (*High Intensity Interval Training*, HIIT), es un tipo de entrenamiento altamente efectivo que, según la literatura, se considera ideal para períodos de tiempo cortos y espacios reducidos (Buchheit & Laursen, 2013; Follador et al., 2018; Klika & Jordan, 2013; López-Chicharro & Vicente Campos, 2018; Stork et al., 2018). En su forma clásica, implica la realización de breves series de sprints o ejercicios de alta intensidad, seguidos de períodos de recuperación incompleta, manteniendo una intensidad alta pero no máxima. Por otro lado, la modalidad no clásica o

HICT combina el entrenamiento en circuito con ejercicios que involucran el peso corporal o elementos como pesas rusas, cuerdas o balones medicinales, con el objetivo de mantener niveles elevados de intensidad, alternando con recuperaciones parciales (Gillen & Gibala, 2014; Klika & Jordan, 2013; Machado et al., 2017). En ambos tipos de entrenamiento (HIIT y HICT), la cuantificación de la intensidad es esencial y se puede establecer según la frecuencia cardíaca máxima (80-100%), la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) (>7.5) o el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) (90-100%) (Follador et al., 2018; Keating et al., 2017; Maillard et al., 2018). Este enfoque de entrenamiento es eficiente en términos de tiempo, ya que requiere menos volumen de entrenamiento para lograr adaptaciones cardiovasculares y musculares similares a otros métodos que demandan un mayor volumen de entrenamiento (Gillen & Gibala, 2014; Stork et al., 2018).

Maillard et al. (2017) identificaron varios componentes clave para diseñar un programa de HICT, como el número de repeticiones o la duración del trabajo por repetición (que varían según la intensidad, el individuo y el objetivo), el número de series (que también varían según múltiples factores), las fases de la duración, la intensidad entre series (que se ajusta según los objetivos), la intensidad máxima de la carga de trabajo y la duración máxima de la carga de trabajo (que dependen de la disciplina, los ejercicios y la individualización, entre otros), la carga de recuperación (que se estima utilizando diferentes parámetros como la frecuencia cardíaca, RPE, lactato, etc.) y la duración de la recuperación (que se determina según varios factores).

Un entrenamiento tipo HIIT o HICT correctamente pautado e implementado induce beneficios en los sujetos tales como, el aumento de la tasa metabólica, el aumento del gasto cardiaco, el aumento del VO_{2max} y mejoras a nivel muscular, junto con una mayor adherencia al programa de entrenamiento (Gist et al., 2014; Gist et al., 2014; Schaun et al., 2018; Tabata, 2019). Gist et al. (2014) realizaron una comparación entre un HIIT tradicional (que incluía sprints y bicicleta estática) y ejercicios calisténicos de alta intensidad. En ambos protocolos, se realizaron 4 series de 30 segundos a máxima intensidad intercaladas con recuperación activa de 4 minutos. Se encontró que la respuesta aguda en términos de $\%VO_{2pico}$, $\%FC_{max}$, respuesta metabólica > 4 mmol·l⁻¹ de lactato y RPE fue similar, aunque no equivalente. Sin embargo, el potencial para inducir adaptaciones fisiológicas a nivel central y periférico era similar entre el protocolo no tradicional y el tradicional. En 2018, Schaun et al. (2018) compararon tres

tipos de entrenamiento: HIIT tradicional (8×20 s al 130% de la velocidad aeróbica máxima en cinta), HIIT funcional (que incluía ejercicios como *burpees*, *mountain climbers*, *squat*, *thrusters* y *jumping jacks* en lugar de la cinta de correr) y MICT (entrenamiento continuo tradicional durante 30 minutos al 90% de la FC_{max}). Los resultados mostraron mejoras en los tres grupos en términos de VO_{2max} , tiempo hasta el agotamiento en el umbral anaeróbico y velocidad correspondiente a este umbral, lo que indicaba que se necesitaba menos volumen con los protocolos HIIT para lograr adaptaciones similares. También destacaron que el HICT podía ser igual de eficaz que el HIIT tradicional en términos de mejoras fisiológicas e indicadores funcionales de salud.

El entrenamiento HICT al igual que el entrenamiento en circuito ha sido estudiado en bomberos, en personal militar, y finalmente en BBFF (Gutiérrez-Arroyo et al., 2023; Haddock et al., 2016; Jahnke et al., 2015; Smith, 2011). En 2015, Jahnke et al., realizaron una revisión acerca del tipo de entrenamiento que realizaba una muestra de 625 bomberos de estructura, entre los cuales el 35% realizaba semanalmente entrenamiento tipo HICT, con ejercicios calisténicos y funcionales. Los datos sugieren que aquellos que realizaban entrenamiento tipo HICT eran menos propensos a sufrir algún tipo de accidente cardiovascular, así como eran los sujetos mejor preparados para las distintas pruebas de habilidad propias de su profesión y, en definitiva, a las acciones a las que se enfrentan durante su jornada laboral. También en bomberos de estructura, Smith (2011), recomienda la utilización de protocolos HICT dada su eficiencia, la especificidad y transferencia que supone para este tipo de profesionales. Así mismo la implementación de entrenamientos HICT en los que se introducían ejercicios propios (específicos) de su actividad laboral en distinta población militar (Haddock, et al., 2016), ha demostrado mejoras en la capacidad física, mejoras en la condición muscular y metabólica, aumento de cohesión grupal de los miembros del equipo y, en definitiva, promoción para las demandas físicas específicas de combate. Finalmente, en BBFF, se ha utilizado el entrenamiento HICT en una muestra de 8 BBFF españoles (Gutiérrez-Arroyo et al., 2023), donde los sujetos entrenaron durante 8 semanas, dos días a la semana, demostrando que el entrenamiento en circuito de alta intensidad compuesto por tareas de trabajo específicas es una buena alternativa para mejorar la condición física y el rendimiento de los BBFF. Además, los autores establecen que, dado que el protocolo HICT ahorra más tiempo que los modelos de entrenamiento más convencionales y no requiere el uso de material extra, podría ser una excelente herramienta para mejorar la

condición física de las BBFF durante las horas de trabajo en sus bases, pudiendo combinarlo con sus otras funciones y horarios impredecibles. Además, se concluye que las características del entrenamiento HICT favorecen que las sesiones de entrenamiento puedan ser realizadas de forma conjunta por sujetos de diferentes niveles de condición física, lo que podría facilitar la organización y el diseño de sesiones de entrenamiento en las bases de las BBFF y potencialmente favorecer la adherencia de todos los sujetos a los programas de ejercicio.

1.5 INFLUENCIA DEL CALOR EN LOS BOMBEROS FORESTALES

1.5.1 ACLIMATACIÓN AL CALOR EN EL ENTORNO LABORAL

Otro aspecto importante es la aclimatación al calor, término que hace referencia a aquellas adaptaciones fisiológicas (reducción de la temperatura corporal previo al esfuerzo, aumento de la capacidad de sudoración, disminución de la frecuencia cardiaca, y aumento del gasto cardiaco y del volumen plasmático) que se producen en el organismo debido a una exposición prolongada y repetida a condiciones de estrés por calor (Alhadad et al., 2019). Esto ayuda a reducir la velocidad en la que se aumenta la temperatura corporal durante el ejercicio en calor debido al aumento de la eficiencia y mecanismos de disipación de calor cardiovasculares (Christison et al., 2021). Las mejoras en el equilibrio de fluidos de la aclimatación son importantes e incluyen una mejor combinación de la sed con las necesidades de agua corporal, reducción en pérdidas de sodio en el sudor, aumento del agua corporal total y aumento del volumen sanguíneo (Sawka et al., 2011). Es por ello que aquellos sujetos aclimatados al calor pueden mantener mejor la hidratación durante el ejercicio en el calor, y así minimizar los déficits de agua del cuerpo y la deshidratación, siempre que el acceso a los líquidos no esté restringido o condicionado.

Se conocen distintos tipos de aclimatación (Tabla 5) y estas a su vez se dividen en función del tiempo de exposición (corto y largo plazo) y de su condición de ser activas o pasivas. Por un lado, tenemos aquella aclimatación que se realiza en condiciones reales o exposición natural y por otro lado aquella que se efectúa en condiciones controladas en laboratorio (Périard et al., 2015; Tyler et al., 2016). En referencia al tiempo de exposición se observan aquellas que requieren de pocos días, alrededor de 5-7 días, conocidas como estrategias de corto plazo estrategias a medio

plazo (8-14 días), y aquellas estrategias llamadas de largo plazo, que requieran de 2 o más semanas de duración (Racinais et al., 2015; Schleh et al., 2018). Aunque realizar ejercicio en calor es el método más efectivo para desarrollar la aclimatación, la exposición pasiva al calor también produce cierta adaptación (Alhadad et al., 2019). Además de todo esto, la mejora de la condición física y en concreto la mejora de la capacidad aeróbica o VO_{2max} se establece como estrategia muy efectiva en la mejora de la aclimatación al calor (Daanen et al., 2018; Périard et al., 2022; Racinais et al., 2015), por lo que un entrenamiento durante los meses previos a la campaña de extinción de IF o exposiciones intermitentes al calor, podrían ser una estrategia efectiva de mejora de la aclimatación al calor de los BBFF, y por ende, de reducir problemas ocasionados por la exposición al calor.

Tabla 5. Indicaciones generales sobre variables intervinientes en protocolos de adaptación al estrés térmico por calor.

Variable	Explicación	Resultados principales
Duración	Corta; hasta 1 semana.	Se alcanzan el 75% de las adaptaciones totales haciendo hincapié en las mejoras en la respuesta de la frecuencia cardíaca y la temperatura a nivel cutáneo en situaciones de estrés térmico por calor. Las adaptaciones fisiológicas al calor generalmente se consideran completas después de 10 a 14 días de exposición sumando a las adaptaciones descritas anteriormente el descenso en la respuesta de la temperatura a nivel central y el aumento en la ratio de sudoración.
	Media; entre 1 y 2 semanas.	Junto con las adaptaciones descritas anteriormente se ve mejorada la tolerancia perceptiva al estrés térmico por calor.
	Larga; más de 2 semanas.	Útil para generar adaptaciones en estadios iniciales de la preparación y para mantener la adaptación en fases de alta carga de estrés térmico. Eficaz en el desarrollo de la adaptación cuando se dispone de una base previa y/o en periodos donde el tiempo disponible para entrenar es limitado.
Intensidad	Baja; RPE por debajo de 6 sobre 10.	Elevado impacto en las respuestas adaptativas al calor y generación de fatiga residual por lo que resulta apropiado en fases intermedias y, especialmente, finales de la preparación.
	Moderada/alta; RPE entre 6 y 8 sobre 10.	Conveniente en estadios de la preparación en los que no se dispone de un ambiente térmicamente estresante por calor generalmente asociado a las fases iniciales de la campaña.
Tipo de exposición	Activa; exposición al calor con práctica de ejercicio físico.	Aplicación muy limitada únicamente para desarrollar en EPA o periodos de alta carga de trabajo donde se pretenda retener adaptación sin generar fatiga.
	Activa termo neutra; generación de microambiente cálido por medio EPI con práctica de ejercicio físico.	
	Pasiva; exposición al calor sin práctica de ejercicio físico portando EPI.	

Fuente: elaboración propia.

A pesar de ello, en el contexto laboral de los BBFF es común que no se siga ningún protocolo estandarizado y la adaptación al estrés térmico se desarrolle progresivamente conforme avanza la campaña de extinción de IF (Lui et al., 2014). Aunque esta parece una estrategia eficiente económicamente su implementación pone en riesgo la salud y seguridad de los trabajadores debido al hecho de enfrentarse en los estadios iniciales de la temporada a situaciones estresantes térmica y físicamente sin una adaptación previa algo que también lastra el desempeño laboral que puede verse notablemente disminuido. Por ello conviene tener en cuenta las siguientes directrices extraídas de la literatura de referencia y ajustar aquellas cuestiones particulares de los contextos profesionales (Chalmers et al., 2014; Charlot et al., 2017; Ely et al., 2018; Malgoyre et al., 2018; Schleh et al., 2018). Charlot et al. (2017) analizaron el efecto de introducir 5 días de entrenamiento progresivo de poco volumen (32 a 35 min por sesión) y moderada intensidad 50% de VO_{2max} en la adaptación al calor de soldados que realizaban en torno a 6 h de tareas militares en ambientes térmicamente estresantes llegando a la conclusión de que este protocolo indujo mejoras sustanciales en la adaptación al calor tanto en reposo como durante el ejercicio. Al replicar el estudio con un protocolo de mayor duración observaron que las mejoras eran moderadas, aunque importantes en una prueba de rendimiento específica que simulaba sus demandas profesionales (Malgoyre et al., 2018). Los resultados de este trabajo concuerdan con otros estudios donde se muestra que, en contextos de profesiones físicamente exigentes, los protocolos de adaptación al calor de corta duración (una semana) son los que mayores mejoras generan en la tolerancia al calor (Chalmers et al., 2014). En este mismo contexto, protocolos de aclimatación al calor de corta duración (una semana) con únicamente tres sesiones de entrenamiento de larga duración (90 min) separadas por 48 h de recuperación y moderada intensidad (50% de intensidad asociada al VO_{2max}) en condiciones ambientales térmicamente estresantes (40 °C y 30% de humedad) como el propuesto por Schleh et al. (2018) demostraron mejoras en la adaptación al calor y la capacidad de realizar ejercicio físico en condiciones de calor. Por otra parte, conseguir ambientes estresantes térmicamente donde generar adaptación no siempre es una opción viable. En esta línea, aunque el impacto de realizar ejercicio físico a moderada intensidad en las respuestas termorreguladoras es mayor cuando se realiza en condiciones ambientales de calor que cuando se realiza en condiciones termo neutras con una gran cantidad de prendas aislantes (Ely et al., 2018),

esta estrategia genera ciertas adaptaciones al calor para nada desdeñables. En estadios iniciales de la preparación física en los que las respuestas adaptativas pueden conseguirse con un nivel bajo de estímulo esta puede ser una estrategia útil para un desarrollo progresivo, contemporizado y seguro.

1.5.2 ESTRATEGIAS PARA REDUCIR EL ESTRÉS TÉRMICO EN EL TRABAJO

En línea con apartados anteriores, se destaca que la preparación del organismo para trabajar en condiciones de calor y la reducción del riesgo de estrés térmico se pueden lograr de manera eficaz mediante la mejora de la condición física a través de un ejercicio planificado y respaldado por evidencia actual (Alhadad et al., 2019). Estudios han confirmado que individuos con una mayor aptitud aeróbica exhiben una temperatura corporal en reposo más baja antes del ejercicio (Mora-Rodriguez et al., 2010; Selkirk & McLellan, 2001), junto con un incremento en el flujo sanguíneo cutáneo y una activación más temprana de la sudoración (Fritzsche & Coyle, 2000; Kuwahara et al., 2005). Estos efectos combinados facilitan una mejor disipación del calor durante el ejercicio en condiciones de calor, permitiendo alcanzar temperaturas corporales finales más elevadas sin consecuencias adversas (Byrne et al., 2006; Cheung & McLellan, 1998; Selkirk & McLellan, 2001). Por tanto, la aptitud aeróbica se postula como la estrategia más eficaz para mitigar el riesgo de estrés térmico (Alhadad et al., 2019).

Sin embargo, una vez que nos encontramos en una situación de incendio y la temperatura corporal central de los trabajadores se acerca a niveles críticos, es necesario considerar estrategias adicionales para mantener su rendimiento óptimo. Se ha establecido que temperaturas centrales superiores a 38 °C pueden limitar el rendimiento durante el ejercicio en calor (González-Alonso et al., 1999). La literatura deportiva y ocupacional ha identificado dos tipos de estrategias: las *pre-coling* (realizadas antes de la exposición al calor) y las *per-coling* (realizadas durante la exposición al calor) (Périard et al., 2015; Racinais et al., 2015). Entre las acciones previas a la emergencia, se incluyen la ingesta de bebidas frías y el uso de prendas húmedas (Périard et al., 2015). En cuanto a las estrategias durante la emergencia, destacan la ingesta de bebidas frías y la ventilación de los equipos de protección personal, en particular los guantes y el casco. Estas medidas se convierten en elementos clave para garantizar la seguridad y el rendimiento efectivo de los trabajadores expuestos a condiciones de calor extremo.

1.6 DIFERENCIAS DE SEXO EN LA CONDICIÓN FÍSICA

1.6.1 DIFERENCIAS GENERALES EN LA CONDICIÓN FÍSICA

Tanto valores antropométricos (peso y altura), como la capacidad de fuerza y el VO_{2max} se establecen como los principales componentes del desempeño laboral en profesiones tipo BBFF (Nuzzo, 2023; Petersen et al., 2016; Roberts et al., 2016; Taylor, Fullagar, et al., 2015). Se ha descrito que los hombres son un 8% más altos, pesan alrededor de un 26% más, tienen un 10% menos de grasa corporal y alrededor de 30-40% de mayor masa muscular (Nuzzo, 2023; Wilmore et al., 2008). Estas diferencias vienen determinadas desde la pubertad, donde la regulación hormonal del crecimiento se torna cada vez más compleja especialmente en la mujer. Las hormonas femeninas (estrógenos) principalmente los estrógenos, tienen un papel importante en este proceso. Durante la pubertad, las concentraciones de estrógenos aumentan, acelerando el cierre de las epífisis en los huesos largos, lo que puede resultar en una estatura final más baja en la mujer (Devries, 2016). Mientras que las hormonas masculinas (GH, testosterona) tienden a la creación de músculo y al cerramiento tardío en las epífisis de los huesos largos, permitiendo alcanzar estaturas mayores en los hombres (Devries, 2016). En la fase adulta, la dinámica en la secreción de la hormona del crecimiento y especialmente las diferencias en los niveles de testosterona circulante (15 veces mayores en hombres), influyen directamente en las diferencias en la composición corporal entre hombres y mujeres (Roberts et al., 2016; Rogol et al., 2002), y se cree que explican la mayoría, si no todas, las diferencias sexuales en el rendimiento deportivo (Handelsman et al., 2018).

Estudios realizados a distintos colectivos reportan valores de fuerza máxima en promedio un 40% menores en mujeres (Epstein et al., 2013; Nuzzo, 2023; Tunde et al., 2015; Wilmore et al., 2008). Las diferencias en la fuerza máxima llegan al ~60% en el tren superior y al ~40% en el tren inferior, mientras que al relativizarlas a la masa muscular disminuyen al ~40 y ~25% respectivamente (Nuzzo, 2023; Wilmore et al., 2008). Varios estudios han señalado que las mujeres tienen entre un ~15 y un ~30% menos de VO_{2max} que los hombres (en términos absolutos $L \cdot min^{-1}$) y un 10% menos en valores relativos ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) (Roberts et al., 2016; Robinson et al., 2018). Al referirnos a esfuerzos anaeróbicos, entre 5 y 90 s, se han observado diferencias entre hombres y mujeres en pruebas de 30 segundos de duración del ~48% (valores absolutos), que se reducen al ~15% al

relativizarlo a la masa libre de grasa (Maud & Shultz, 1986), mientras que en población deportista se han informado valores del ~35% menos en capacidad anaeróbica medida en el test de Wingate de 30 s (Zupan et al., 2009). En términos de potencia anaeróbica se han informado valores absolutos de hasta un ~40% menor en mujeres, que tienden a reducirse respecto a los valores masculinos al relativizarlos respecto a la masa muscular llegando al ~17% (Epstein et al., 2013). Así mismo, se han encontrado diferencias entre deportistas profesionales masculinos y femeninos durante la realización de sprint de 30 m de hasta el ~14% (4.19, 4.80 segundos, hombres y mujeres respectivamente) (Cardoso de Araújo et al., 2020). Finalmente, y en línea con las diferencias en las distintas capacidades físicas, existen marcadas diferencias de sexo en los récords del mundo en pruebas de atletismo (Tablas 6 y 7).

Tabla 6. Diferencias de sexo en récords del mundo, en pruebas de carrera (velocidad, medio fondo y fondo).

Evento	Masculino	Femenino	Diferencia	Diferencia (%)
100 m (s)	9.58	10.49	0.91	9.5
200 m (s)	19.19	21.34	2.15	11.2
400 m (s)	43.03	47.60	4.57	10.6
800 m (min:s.cent)	1:40.91	1:53.28	12.37	12.3
1,500 m (min:s.cent)	3:26.00	3:50:07	24.07	11.7
5,000 m (min:s.cent)	12:35.35	14:06.62	1:31.27	12.1
10,000 m (min:s.cent)	26:11.00	29:17.45	3:06.45	11.9
Maratón (h:min:s)	2:01:39	2:14:04	12:25	10.2

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Diferencias de sexo en récords del mundo, en pruebas de salto y lanzamiento.

Evento	Masculino	Femenino	Diferencia	Diferencia (%)
Salto de altura (m)	2.45	2.09	0.36	14.7
Salto de longitud (m)	8.95	7.52	1.43	15.9
Triple salto (m)	18.29	15.50	2.79	15.2
Pértiga (m)	6.19	5.06	1.13	18.4
Lanzamiento de jabalina (m)*	98.48	72.28	26.20	28.2
Lanzamiento de peso (m)**	23.37	22.63	0.74	3.3
Lanzamiento de martillo (m)***	86.74	82.98	3.76	4.5
Lanzamiento de disco (m)****	74.08	76.80	2.72	3.5

Fuente: elaboración propia.

* Peso de la jabalina de 800, y 600 g para hombres y mujeres respectivamente

** Peso de lanzamiento 7.26, y 4 kg, para hombres y mujeres respectivamente

*** Peso del martillo 7.26, y 4 kg, para hombres y mujeres respectivamente

****Peso del disco 2, y 1 kg para hombres y mujeres respectivamente

1.6.2 DIFERENCIAS DE SEXO EN LOS BOMBEROS FORESTALES

Hasta hace unos 40 años se consideraba que la mujer era físicamente incapaz de realizar este tipo de empleos, debido a aspectos culturales y normativos. Afortunadamente hoy en día esta situación se está revirtiendo y las mujeres tienen igual acceso a casi todos los tipos de ocupaciones laborales (Roberts et al., 2016). A pesar de ello, actualmente el porcentaje de mujeres que trabajan como BBFF ronda el ~5% en España y llega al ~10% en EE. UU. (García-Heras et al., 2022; Sol et al., 2018). Para el acceso a las profesiones físicamente exigentes se aplican pruebas de selección o acceso (PA), las cuales han ayudado a garantizar que los trabajadores tengan los atributos físicos necesarios para completar sus trabajos de una manera segura y eficiente, sin embargo, se ha reportado que las PA son difíciles de justificar y ajustar, ya que existe cierto grado de incertidumbre en torno a cada puntuación de corte (Petersen et al., 2016). Especial atención se debe prestar a las diferencias de sexo, ya que las puntuaciones de corte para la mujer se han venido estableciendo generalmente solicitando puntuaciones más bajas. Esto parece haberse basado, considerando los estándares promedio de condición física y las diferencias sexuales de la población femenina general sin considerar específicamente los requisitos ocupacionales medidos objetivamente (Roberts et al., 2016).

En términos laborales, se ha registrado como la condición física menor en las mujeres bombero puede hacer mella en su rendimiento y su día a día laboral (Watkins et al., 2019), por lo que a continuación se profundizará en las diferencias fisiológicas entre hombres y mujeres y su implicación en el trabajo de los BBFF.

1.6.2.1 Diferencias en la composición corporal/hormonales

A nivel medio y sin tener en cuenta factores nutricionales o étnicos, las mujeres ingresan en la fase de la pubertad al menos dos años antes que los hombres (11 años niñas, 13 años niños). En esta etapa de la vida, la regulación hormonal del crecimiento se torna cada vez más compleja especialmente en la mujer, donde las hormonas femeninas (estrógenos) tienden a la acumulación de grasa, mientras que las masculinas (andrógenos) tienden a la creación de músculo (Devries, 2016). En la mujer, muchos de los efectos estimulantes del crecimiento están mediados por los estrógenos (hormonas como la progesterona) en lugar de los andrógenos (testosterona), ya sea mediante la secreción directa de estrógenos o mediante la conversión de andrógenos en estrógenos (Rogol et al., 2002), lo

que implica unos cambios estructurales y metabólicos importantes ya desde fases tempranas de la maduración. El principal papel que tienen los estrógenos en el crecimiento está relacionado con su efecto sobre la dinámica en la secreción de la hormona del crecimiento, lo que influye directamente en las diferencias en la talla entre hombres y mujeres, 8% (Roberts et al., 2016). Bajo la influencia de los andrógenos y principalmente la testosterona, los jóvenes adolescentes obtienen tejido muscular a mayor velocidad que las adolescentes (Epstein et al., 2013). En relación con sus niveles de testosterona, significativamente más altos, los hombres desarrollan músculos más fuertes y grandes, con un mayor potencial para el desarrollo muscular que las mujeres. La proporción de masa muscular de la parte superior del cuerpo es alrededor de un ~50% mayor en hombres, mientras que la parte inferior del cuerpo llega al ~30% más alta en hombres, lo que se corresponde con un 35% de más fibras musculares. Así mismo los hombres tienen una proporción de fibras rápidas (IIa y IIb) mayor, lo cual contribuye a las diferencias relacionadas con el sexo y la fuerza muscular (Miller et al., 1993). Respecto a la masa grasa durante la pubertad las mujeres tienden a acumular mayor masa grasa que los hombres, lo cual promedia en la edad adulta entorno al 20-25% en mujeres mientras que en hombres apenas llega al ~16% (Rogol et al., 2002). En resumen, los hombres son un ~8% más altos, pesan alrededor de un ~26% más, tienen un ~10% menos de grasa corporal y alrededor de 30-40% de mayor masa muscular (Roberts et al., 2016), lo cual se ha visto como factor limitante del rendimiento laboral e implica mayores porcentajes de esfuerzo en la mujer para un mismo trabajo.

1.6.2.2 Diferencias en la capacidad de realizar fuerza y del sistema muscular

Estudios realizados a distintos colectivos reportan valores de fuerza máxima en promedio un ~40% menores en mujeres (Epstein et al., 2013; Nuzzo, 2023; Tunde et al., 2015; Wilmore et al., 2008). Las diferencias en la fuerza máxima llegan al ~60% en el tren superior y al ~40% en el tren inferior, mientras que al relativizarlas a la masa muscular disminuyen al ~40 y ~25% respectivamente (Nuzzo, 2023; Wilmore et al., 2008). Recientemente se ha publicado una revisión narrativa con el propósito de informar y resumir la literatura sobre las diferencias de sexo en numerosas variables y resultados relacionados con el entrenamiento de fuerza: fuerza muscular y resistencia, masa y tamaño muscular, tipo de fibra muscular, fuerzas de contracción muscular y activación voluntaria, entre otros factores (Nuzzo, 2023). De esta revisión se puede extraer que la diferencia de sexo en la

fuerza muscular no solo varía en función de la parte del cuerpo evaluada, sino que también varía según el tipo de manifestación y la longitud del músculo. En pruebas de fuerza concéntrica, como el 1RM, la diferencia de sexo suele ser más pronunciada en comparación con las pruebas de fuerza isométrica. Esta disparidad se ha observado en varios grupos musculares, como los flexores y extensores del codo, así como los flexores y extensores de la rodilla. En las contracciones isométricas, la magnitud de la diferencia de sexo está influenciada por la longitud del músculo durante la contracción, siendo más significativa en longitudes musculares más largas. Además, se ha demostrado que las diferencias de sexo entre contracciones concéntricas y excéntricas son de entorno al ~43%, y ~27% respectivamente, en una prueba de extensores de rodilla (Marcell et al., 2014).

Respecto a población deportista de alto nivel se han observado diferencias en la capacidad de realizar saltos con contramovimiento (CMJ) de hasta 15 cm, los hombres saltan un 26.4% más que las mujeres, posiblemente influenciado por las diferencias entre hombres y mujeres en las dimensiones corporales y la arquitectura muscular, que influyen en la forma en que se produce la fuerza (Laffaye et al., 2014).

La capacidad de resistencia a la fuerza o resistencia muscular, la cual ha sido definida como la capacidad para mantener un pico de fuerza y una producción de fuerza concreta durante un determinado tiempo (González-Badillo & Ribas- Serna, 2018), y tiene relación directa a las acciones realizadas por los BBFF durante su desarrollo laboral (cargar material pesado, utilizar herramientas de extinción, aproximación a los incendios, etc.). Se ha visto como las mujeres son más resistentes a la fatiga muscular en términos relativos a la masa muscular (Hunter, 2016). Esto probablemente se deba al hecho de que la menor masa muscular ejerce menos fuerza absoluta con una carga de trabajo relativa y, por lo tanto, tiene menores demandas de oxígeno muscular, lo que prolonga el tiempo hasta la fatiga (Epstein et al., 2013). Además, la utilización del sustrato energético predominante en la oxidación de las grasas durante esfuerzos submáximos y la mayor cantidad de fibras tipo I podrían ayudar a fundamentar esta relación. Sin embargo, la magnitud de la ventaja femenina en la resistencia muscular disminuye a medida que aumenta la intensidad de la contracción, y solo en el rango más bajo de intensidad se puede observar una ventaja real en la fatigabilidad de las mujeres sobre los hombres (Hicks et al., 2001). Al hablar en términos absolutos (por ejemplo, levantar un peso dado a una altura fija como en el caso de coger, cargar o portar durante horas una

mochila de extinción de IF (20-30kg)), la resistencia muscular absoluta y la potencia son mayores en los hombres, con una diferencia porcentual media en la fuerza absoluta del ~56% (Epstein et al., 2013).

1.6.2.3 Diferencias en la capacidad aeróbica

La capacidad aeróbica, se establece como uno de los principales componentes de desempeño laboral en profesiones físicamente exigentes y especialmente en BBFF, y es definida como la aptitud que tiene el organismo para realizar un trabajo físico prolongado sin experimentar deficiencia de oxígeno y expresada como el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) (Phillips et al., 2016; Wilmore et al., 2008). Se observa como mujeres medianamente entrenadas tienen entre un ~15 y un ~30% menos de VO_{2max} que hombres medianamente entrenados (en términos absolutos $L \cdot min^{-1}$) y un ~10% menos en valores relativos ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) (Roberts et al., 2016). Una de las razones podría ser debido a que independientemente del tamaño del cuerpo, las mujeres tienen corazones más pequeños, con menor tamaño de la pared del ventrículo izquierdo y menor volumen de eyección de sangre o volumen sistólico, diferencias en la estructura cardíaca que provocan un gasto cardíaco menor, lo cual afecta directamente al consumo de oxígeno (Cain et al., 2009). Debido a que el volumen sistólico es menor para un consumo de oxígeno dado, las mujeres lo compensan con una frecuencia cardíaca mayor (Epstein et al., 2013). Dado que la extracción de oxígeno por parte de los tejidos está influenciada por el contenido de oxígeno en la sangre, otro de los factores adicionales que pueden contribuir a las diferencias en la función cardiorrespiratoria y capacidad aeróbica es la capacidad de transporte de oxígeno por parte de la hemoglobina (Cureton et al., 1986). Se han observado niveles promedio de hemoglobina en las mujeres de un ~10 a un ~16% inferiores respecto a hombres. Los efectos de una menor capacidad de transporte de oxígeno pueden verse agravados por una mayor prevalencia de deficiencia de hierro y anemia en las mujeres (Kelly et al., 2016).

1.6.2.4 Diferencias termorregulatorias

Los BBFF deben soportar temperaturas elevadas provenientes de la radiación de las llamas, y del efecto del sol y así como un incremento del calor producido por la carga metabólica y el esfuerzo realizado, lo que provoca estrés térmico y carga fisiológica elevadas (Gagnon et al., 2008, 2009). Esto realza la necesidad del análisis del estrés térmico desde distintas perspectivas y en este sentido cabe destacar la influencia del estrés térmico

en función del sexo. Para un cambio dado en el contenido de calor corporal, la menor masa corporal (y menor masa corporal magra) de las mujeres, junto con su mayor porcentaje de masa grasa hacen que su temperatura corporal aumente más que en los hombres (Cheung et al., 2000). Parece ser que hacer ejercicio en condiciones similares de producción de calor metabólico expone a las mujeres a un mayor riesgo de sufrir lesiones por calor, sin embargo, dada la mayor masa corporal y el mayor VO_{2max} en hombres, trabajar a un porcentaje del VO_{2max} provoca una mayor producción de calor metabólico en los hombres que en las mujeres (Epstein et al., 2013).

Se ha comentado que la menor sudoración en mujeres deportistas podría ser beneficiosa en carreras de larga distancia por retrasar la deshidratación (López- Chicharro & Fernández- Vaquero, 2006). Por ello, a pesar de que los hombres tengan tasas de sudoración más altas y mayores tasas absolutas de pérdida de calor por evaporación que las mujeres (Gagnon et al., 2008), el contenido de calor metabólico mayor en hombres resultará en una temperatura corporal central mayor que en las mujeres (Gagnon et al., 2009). Otro factor para tener en cuenta es la fase del ciclo menstrual de la mujer, ya que se ha visto como los niveles más altos de progesterona durante la fase lútea se han asociado con el aumento de la temperatura corporal central en reposo y el umbral de temperatura para la sudoración, mientras que la elevación de los niveles de estrógenos durante la fase folicular se asoció con una disminución de estos parámetros (Kaciuba-Uscilko & Grucza, 2001).

En 2014, se analizaron las diferencias de sexo existentes respecto al ritmo o velocidad mantenida en la misma prueba de maratón, pero realizadas en fechas diferentes (prueba en frío 2.72°C vs, prueba en calor 26.07°C) (Trubee et al., 2014). Los autores establecieron que en ambos sexos el calor influye en la pérdida de velocidad, pero en el caso de la mujer corredora se observa una tendencia a mantener el ritmo de una forma más eficiente, y esto puede ser debido a que las mujeres tienen una mayor relación superficie/masa corporal, lo que ayuda a la disipación del calor.

1.6.2.5 Diferencias en la capacidad de trabajo y transporte de cargas pesadas

Debido a diferencias en la composición corporal y en distintas capacidades físicas, la mujer promedio deberá trabajar a un porcentaje mayor de sus atributos fisiológicos máximos como fuerza, potencia, y/o capacidad aeróbica, que los hombres promedio, para realizar la misma tarea que los hombres (Petersen et al., 2016). Así mismo parece ser que en ocupaciones

tipo BBFF, donde se tienen que realizar tareas repetitivas de intensidad moderada y baja que algunas veces requieren de largas horas de duración, la mujer utilizando un mayor porcentaje de capacidad física, es capaz de desempeñarse de la misma forma que los hombres (Roberts et al., 2016). La identificación de las diferencias específicas por sexo en la condición física, patrones antropométricos, hormonales y termorregulatorios debería facilitar los ajustes en el entrenamiento para que ambos sexos puedan cumplir con las demandas profesionales neutrales en cuanto al sexo para las especialidades de ocupacionales militares físicamente exigentes (Nindl et al., 2016, 2017), personal del servicio de bomberos de estructura (Boyd et al., 2015; Watkins et al., 2019) y de los BBFF profesionales (Ruby et al., 2023).

Las diferencias de sexo que se han ido describiendo anteriormente son importantes para el desempeño de tareas sostenidas, como puede ser el transporte de cargas. Una preocupación con respecto a la fatiga muscular en el trabajo de extinción de IF tiene que ver con el transporte de cargas, ya que las cargas vienen estandarizadas por normativa laboral y no pueden ser cambiadas en función del sexo, tamaño corporal, o de la condición física. Un ejemplo es la carga de la mochila extintora, la cual tiene un peso que varía entorno a los 20-23 kg de peso y que tienen que llevar por igual todos los integrantes del operativo de extinción de IF. En 2016, un grupo de investigadores (Phillips et al., 2016) llevaron a cabo un estudio en mujeres para evaluar el efecto de llevar carga pesada durante el ejercicio, donde estudiaron las respuestas fisiológicas y los efectos en el rendimiento en un ejercicio gradual hasta la fatiga volitiva y en un ejercicio submáximo prolongado, con y sin una mochila de 25 kg. Estos autores señalaron el impacto negativo del transporte de carga tanto en hombres como en mujeres, y sus resultados mostraron que la respuesta fisiológica al ejercicio gradual con peso es similar entre ambos sexos, sin embargo, el rendimiento en la prueba, medido por la duración de esta, estaba moderadamente relacionado con el tamaño corporal. Dado el menor tamaño corporal de la mujer promedio con respecto al hombre promedio, éstas deberán transportar un mayor porcentaje de peso que los hombres, lo cual puede repercutir en que lleguen a la fatiga antes y en un mayor riesgo de lesiones musculoesqueléticas (Epstein et al., 2013; Tunde et al., 2015).

1.6.2.6 Diferencias de sexo en las lesiones musculoesqueléticas

La actividad física intensa puede aumentar la aparición de lesiones musculoesqueléticas agudas y por uso excesivo, que comprenden una amplia variedad de afecciones que involucran músculos, tendones, nervios,

ligamentos y tejidos óseos. En varios trabajos llevados a cabo en militares, se ha constatado que el género femenino es más susceptible de sufrir riesgos por lesiones por uso excesivo, especialmente durante el entrenamiento básico (Allison et al., 2015; Kelly et al., 2016; Roberts et al., 2016; Roy et al., 2015). Entre estos estudios se ha visto un consenso en la incidencia de lesiones; de 45 al 57% de mujeres y de 27 al 46% de hombres durante la fase inicial entrenamiento militar (Roberts et al., 2016). Sin embargo, un estudio en BBFF estadounidenses (2003–2007) encontró que las tasas de lesiones de las mujeres fueron solo un poco más altas que las de los hombres sin diferencias significativas por tipo de lesión (Britton et al., 2013). Los estudios observacionales relativos a este tema no acaban de explicar completamente por qué ciertas actividades colocan a las mujeres en un mayor riesgo de lesiones en comparación con los hombres. Algunas relaciones se atribuyen a la fuerza muscular, patrones de movimiento, laxitud articular y tamaño del ligamento (Roberts et al., 2016). Las diferencias anatómicas en la estructura ósea (huesos largos más estrechos con cortezas más delgadas) entre hombres y mujeres también pueden llevar a una mayor incidencia de fracturas por estrés (Epstein et al., 2013). Sin embargo, varios investigadores han concluido que el sexo es un factor independiente para predecir las tasas de lesiones, siendo la aptitud aeróbica el factor que más puede explicar la tasa de lesiones (Epstein et al., 2013; Roberts et al., 2016). Cuando se equipará la aptitud física aeróbica entre hombres y mujeres el número de lesiones es similar (Roberts et al., 2016) por lo que se sugiere que los altos niveles de aptitud cardiovascular pueden ayudar a reducir las tasas de lesiones, independientemente del sexo (Nindl et al., 2017).

2. OBJETIVOS



Integrantes de las Brigadas de Refuerzo contra Incendios Forestales, BRIF, durante la realización de ataque directo con mochila extintora y batefuegos.

El objetivo general de la presente tesis fue:

Ampliar el conocimiento acerca de cómo el entrenamiento físico y el sexo de los bomberos forestales influyen en el desarrollo de su condición física, condicionan su rendimiento, y mejoran su capacidad para abordar las demandas laborales de manera segura y efectiva.

Para la consecución de este objetivo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- 2.1 Describir las características físicas y fisiológicas específicas de los bomberos forestales y compararlas con las de otros *first responders*, como bomberos de estructura, rescatadores y policías.
- 2.2 Examinar las exigencias laborales, tanto en escenarios reales como simulados, considerando el sexo de los bomberos forestales.
- 2.3 Estudiar la influencia del sexo en la condición física, tanto general como específica, en un conjunto de bomberos forestales.
- 2.4 Evaluar el impacto de un programa de entrenamiento en circuito de alta intensidad en la mejora de la aptitud física de un grupo de bomberos forestales.
- 2.5 Analizar el impacto de la intensidad del entrenamiento en la mejora de la condición física de un grupo de aspirantes a bomberos forestales, determinando su influencia según el sexo de los sujetos.
- 2.6 Describir y analizar el dolor crónico en los bomberos forestales, y determinar el efecto que la edad y el sexo tienen en la aparición de este síntoma.

Para alcanzar estos objetivos se llevaron a cabo seis estudios:

- Estudio 1:** Perfil físico y fisiológico de los *first responders*: una revisión sistemática con metaanálisis.
- Estudio 2:** Influencia del sexo en el esfuerzo realizado durante la extinción de incendios forestales.
- Estudio 3:** Diferencias de sexo en la condición física genérica y específica de los bomberos forestales.
- Estudio 4:** Efecto de un programa de entrenamiento en circuito de alta intensidad sobre la aptitud física de los bomberos forestales.

Estudio 5: Efectos de dos programas de entrenamiento en circuito (moderada vs. alta intensidad) en la condición física genérica y específica de un grupo de aspirantes a bomberos forestales.

Estudio 6: Dolor cónico en los bomberos forestales españoles.

3. ESTUDIOS PLANTEADOS



Equipo de Lucha contra Incendios Forestales de Camposagrado, León (2018)

3.1 ESTUDIO 1. PERFIL FÍSICO Y FISIOLÓGICO DE LOS *FIRST RESPONDERS*: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA CON METAANÁLISIS



Sujeto durante la realización de una prueba de esfuerzo en el laboratorio del Grupo de Investigación VALFIS, Universidad de León.

3.1.1 INTRODUCCIÓN

El trabajo realizado por los servicios de emergencias o FR está incluido dentro de las llamadas “profesiones físicas”, ya que los trabajadores deben emplearse al máximo en condiciones cambiantes y bajo la incertidumbre que provoca la emergencia (Roberts et al., 2016). Se trata de ocupaciones laborales cuya naturaleza y demandas físico-fisiológicas son tales que estos trabajadores no pueden realizarlas de manera adecuada sin una exposición al riesgo inevitable, tanto a corto como a largo plazo (Plat et al., 2011). En este tipo de profesiones encontramos a bomberos de estructura (BBEE), bomberos forestales (BBFF), policías y rescatadores.

Numerosos autores han analizado las demandas fisiológicas de las distintas tareas a las que se enfrentan los trabajadores de emergencias durante el desarrollo de su labor. Las tareas realizadas por los BBEE implican acciones como trabajos en espacios reducidos, trabajo en altura, extracción de heridos y extinción de incendios estructurales (Blacker et al., 2016). En lo que respecta a BBFF, su labor se caracteriza por la larga duración del esfuerzo (10-12 h de turno de trabajo y a menudo días consecutivos) (Chappel et al., 2016), largas caminatas transportando cargas muy pesadas (20-25 kg) (Sol et al., 2018), manejo de distintas herramientas de raspado, corte y extinción, y alta tensión térmica debido a las altas temperaturas cuando trabajan cerca del fuego (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a). En el caso de policías, sus labores incluyen disturbios poblacionales, violencia física, accidentes, robos y enfrentamientos armados (Marins et al., 2019). Al hablar de rescatadores nos encontramos a cuatro tipos, rescatadores de montaña, rescatadores mineros, rescatadores acuáticos y rescatadores bomberos. El personal de rescate atiende incidentes en ubicaciones remotas, a menudo en terrenos difíciles y condiciones climáticas hostiles (Callender et al., 2012). Las emergencias suelen implicar períodos prolongados en terrenos montañosos o elevados (Callender et al., 2012), cuevas o espacios confinados (Prieto et al., 2013), y en el mar (Prieto et al., 2016).

Los FR además de hacer frente a la emergencia, deben portar a menudo cargas realmente pesadas y utilizar el Equipo de Protección Individual (EPI) adecuado a las características de su labor profesional. En BBEE se ha descrito que llevar el EPI reduce la movilidad en un ~17% en el hombro y un ~26% en el tobillo (Coca et al., 2010), incrementa la tensión muscular (Davis & Gallagher, 2014), y aumenta la carga de calor por limitar la disipación de calor de forma eficiente, además la utilización de herramientas pesadas y el

Equipo de Respiración Autónomo (SCBA por sus siglas en inglés), incrementan la carga a transportar (20-25 kg de media) y con ello las demandas fisiológicas de la labor (Morris & Chander, 2018). En BBFF el impacto de la utilización del EPI ha sido estudiado en condiciones simuladas en laboratorio, en concreto la influencia del EPI junto al casco, guantes y botas, provoca reducciones de hasta el 50% del rendimiento en pruebas simuladas, aumentos del 20% en el VO_{2max} para un mismo esfuerzo, y temperaturas centrales superiores a 39 °C (Carballo-Leyenda et al., 2018). En el caso de policías, se han informado reducciones del rendimiento en salto vertical de ~13%, y aumentos del ~8% y ~11% en $\%FC_{max}$ y $\%VO_{2max}$ respectivamente, durante pruebas simuladas mientras portaban equipo de protección estándar y complementos (7.65 kg) (Dempsey et al., 2014). En rescatadores, las características de sus actuaciones implican portar EPI y material específico de rescate (cuerdas, aseguradores, etc.), (>22 kg), a lo que hay que sumar el peso de la “camilla” (hasta 28 kg) y del herido a transportar, lo cual implica un aumento de las demandas fisiológicas (Callender et al., 2012; Conolly et al., 2015).

La evidencia ha demostrado que las actividades realizadas por los FR presentan un gran riesgo de lesiones, tanto por exposición aguda como crónica (Drain & Reilly, 2019), por ello se ha señalado la necesidad de que estos profesionales dispongan de una elevada condición física que garantice la capacidad de afrontar las demandas laborales en condiciones de seguridad y salud (Blacker et al., 2016; Louhevaara et al., 1984; Phillips et al., 2017; Roberts et al., 2016). A nivel internacional, se ha descrito que los FR y en concreto policías y bomberos, a menudo no cumplen con los estándares de condición física saludables, con alta prevalencia de obesidad y enfermedad cardiovascular (Leischik et al., 2015; Morris & Chander, 2018), mermando considerablemente su seguridad y salud, y disparando el riesgo de mortalidad por accidente fatal (Marins et al., 2019). Por todo ello, la presente revisión sistemática tuvo como objetivo principal, describir el perfil físico-fisiológico de los FR. Como objetivo secundario se pretendió determinar la influencia del sexo y el tipo de FR en las características físicas y fisiológicas de los sujetos.

3.1.2 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1.2.1 Diseño

Se llevó a cabo una revisión sistemática siguiendo las recomendaciones de PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Review) (Liberati et al.,

2009). Todos los autores se reunieron y desarrollaron una estrategia de búsqueda sistemática siguiendo la estrategia PICOS (problema, intervención, control/comparación, resultado y diseño del estudio). El estudio se registró previamente en el Registro Internacional de Prospección de Revisiones Sistemáticas.

3.1.2.2 Fuentes de datos y búsquedas

La búsqueda se realizó en tres bases de datos electrónicas: PubMed-Medline, Web of Science y la Biblioteca Cochrane, sin restricción de fecha desde el inicio hasta el 13 de mayo de 2022. Se utilizaron los siguientes términos combinados: (("First Responders" or "Firefighters" or "fire-fight*" or "Fireman*") AND ("Fire*" or "Wildfire*" or "Wildland fire" or "Experimental attempt" or "Field test" or "Physical employment standards" or "Job-task performance" or "Work performance" or "on duty" or "pack test" or "pack hike test") AND ("Physiological demands" or "Works demands" or "Heart Rate" or "RPE" or "Rating of perceived exertion" or "Lactate" or "VO₂" or "Oxygen consumption" or "VO_{2max}" or "Maximal oxygen consumption" or "Aerobic capacity" or "Anaerobic power" or "Anaerobic capacity" or "RCT" or "Respiratory compensation threshold" or "TRIMP*" or "Core temperature" or "Body temperature" or "Skin temperature" or "Rectal temperature" or "Sweat*" or "Thermal sensation" or "Thermal strain" or "Physiological strain index" or "PhSI" or "PSI" or "PeSI" or "Tolerance time" or "Exercise intensity" or "Load carriage" or "PPE" or "Personal Protective Equipement" or "Equipement weight" or "Equipement mass" or "Strength" or "force" or "Power" or "Velocity" or "Endurance" or "Resistance"). Dos autores revisaron de forma independiente los títulos y resúmenes, identificaron y leyeron artículos de texto completo, extrajeron información relevante de los artículos incluidos y evaluaron la calidad metodológica de los ensayos clínicos incluidos. En caso de desacuerdo entre los dos revisores, se consultó a un tercer autor para llegar a un consenso

3.1.2.3 Criterios de selección

Solo se seleccionaron aquellos artículos que cumplieran con los siguientes criterios de inclusión: (a) artículos de investigación, publicados en inglés y con acceso al texto completo y sin aplicar restricciones para la fecha de búsqueda; (b) la muestra debía estar compuesta por profesionales en activo (policías, bomberos o BBFF y rescatadores) en el momento de la medición, sin lesiones o patologías; (c) entre los resultados descritos al menos debían incluir alguno de los siguientes valores de fuerza: 1RM press de banca, 1RM

press de pierna, 1RM sentadilla, 1RM dinamometría manual, flexiones máximas o *push up test* y abdominales o *sit up test*; (d) para la evaluación de la capacidad aeróbica las pruebas deberían ser máximas, medidas en laboratorio, en condiciones ambientales estables, con ropa deportiva y medidas directamente con analizador de gases; (e) aquellos estudios que disponían de datos a lo largo del tiempo, únicamente se seleccionaron los más actuales; (f) en el caso de estudios con valoración previa y post a una fase experimental, únicamente se seleccionó la valoración previa. Se excluyeron los estudios si: a) se publicaron en un idioma distinto al inglés; b) eran estudios de caso; c) actas de conferencias; (c) revisiones, revisiones sistemáticas y metaanálisis.

3.1.2.4 Extracción de datos

Dos autores recuperaron de forma independiente los artículos relevantes. También se examinaron las listas de referencias de los artículos incluidos en busca de artículos adicionales relevantes y se estableció contacto con los autores correspondientes de algunos artículos para obtener información no declarada. Se codificaron los estudios que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión, y se extrajo la siguiente información: autores del estudio, año de publicación, tamaño de la muestra, sexo de la muestra, tipo de muestra (policías, bomberos, BBFF o rescatistas), edad (años), peso (kg), altura (cm); fuerza de agarre de la mano dominante (kg); 1RM press de banca (kg); 1RM press de piernas (kg); 1RM sentadillas (kg); prueba de flexiones o *push up test* (nº de repeticiones); prueba de abdominales o *sit up test* (nº de repeticiones); consumo máximo de oxígeno ($VO_{2\text{máx}}$; absoluto [$L \cdot \text{min}^{-1}$] y relativo [$\text{ml kg}^{-1} \text{min}^{-1}$]) y umbrales ventilatorios VT1 y RCT (umbral de compensación respiratoria o umbral ventilatorio 2) [$\text{ml kg}^{-1} \text{min}^{-1} \%$ del $VO_{2\text{max}}$, FC y $\%$ de la FC_{max}] y FC.

3.1.2.5 Presentación de los resultados

Entre los muchos componentes de la aptitud física, la aptitud aeróbica está considerada como la medida principal para la determinación de la aptitud para el trabajo (von Heimburg et al., 2013); en este sentido el $VO_{2\text{max}}$ es la mejor manera de medir la resistencia cardiorrespiratoria, siendo indicador de capacidad aeróbica o capacidad de trabajo físico (Wilmore & Costil, 2007). Al igual que la aptitud aeróbica, la fuerza y la resistencia musculares son consideradas capacidades vitales en el desarrollo de la profesión de bombero (Noh et al., 2020), por ello se han considerado necesario el análisis de variables de fuerza máxima como el 1RM en press de banca, 1RM press

de pierna, 1 RM sentadilla y presión manual máxima con dinamometría; y variables de resistencia muscular como *Sit Up Test*, *push up Test*.

3.1.2.6 Riesgo de sesgo

La calidad metodológica y el riesgo de sesgo de los estudios seleccionados se evaluaron utilizando la Herramienta de Evaluación de Calidad para Estudios de Cohorte Observacionales y Estudios Transversales (<https://www.nhlbi.nih.gov/health-topics/study-quality-assessment-tools>) y se evaluaron de forma independiente por dos autores. Esto incluye los siguientes ítems, que se evaluaron como Sí, No u Otro (CD, no se puede determinar; NA, no aplicable; NR, no reportado). Cada ítem se describió como: teniendo un bajo riesgo de sesgo, un alto riesgo de sesgo o un riesgo de sesgo no claro.

3.1.2.7 Síntesis de datos y análisis estadístico

El metaanálisis y los análisis estadísticos se realizaron utilizando el *Comprehensive Meta-Analysis* (CMA). Se calculó la estimación de la media, el error estándar de la media y el intervalo de confianza utilizando el método de efectos aleatorios. Los resultados se calcularon combinando el sexo, el tipo de trabajo de emergencia y la interacción entre sexo y tipo de trabajo de emergencia.

La meta-regresión se analizó con un modelo de efectos aleatorios utilizando el *Comprehensive Meta-Analysis* (CMA). Se utilizó la regresión de efectos mixtos (máxima verosimilitud no restringida) para medir la variación entre los estudios (τ^2). La meta-regresión se aplicó a aquellas variables que contenían 10 estudios o más.

3.1.3 RESULTADOS

El proceso de selección de los artículos se muestra en la Figura 1. De los 2394 artículos encontrados inicialmente, se incluyeron 70 para su análisis cualitativo final, así mismo se añadieron nueve artículos recuperados de otras fuentes (ResearchGate, Google Scholar), por sus potenciales datos relevantes para la presente revisión, sumando un total de 79 artículos (Tabla 8).

Dados los objetivos del presente trabajo, no se consideró limitar la búsqueda en un rango establecido por años, por lo que las investigaciones seleccionadas se publicaron entre 1977 y 2021. El tamaño de la muestra varió de 6 a 2103 participantes, con un total de 11403 *First Responder* (6428, 4173, 439 y 363 bomberos de estructura, policías, BBFF y

rescatadores respectivamente). En 9 de los 79 artículos, se analizaron FR femeninos, mientras que, en los otros 70 estudios, los participantes incluidos eran exclusivamente hombres o simplemente no se aportaban datos en función del sexo.

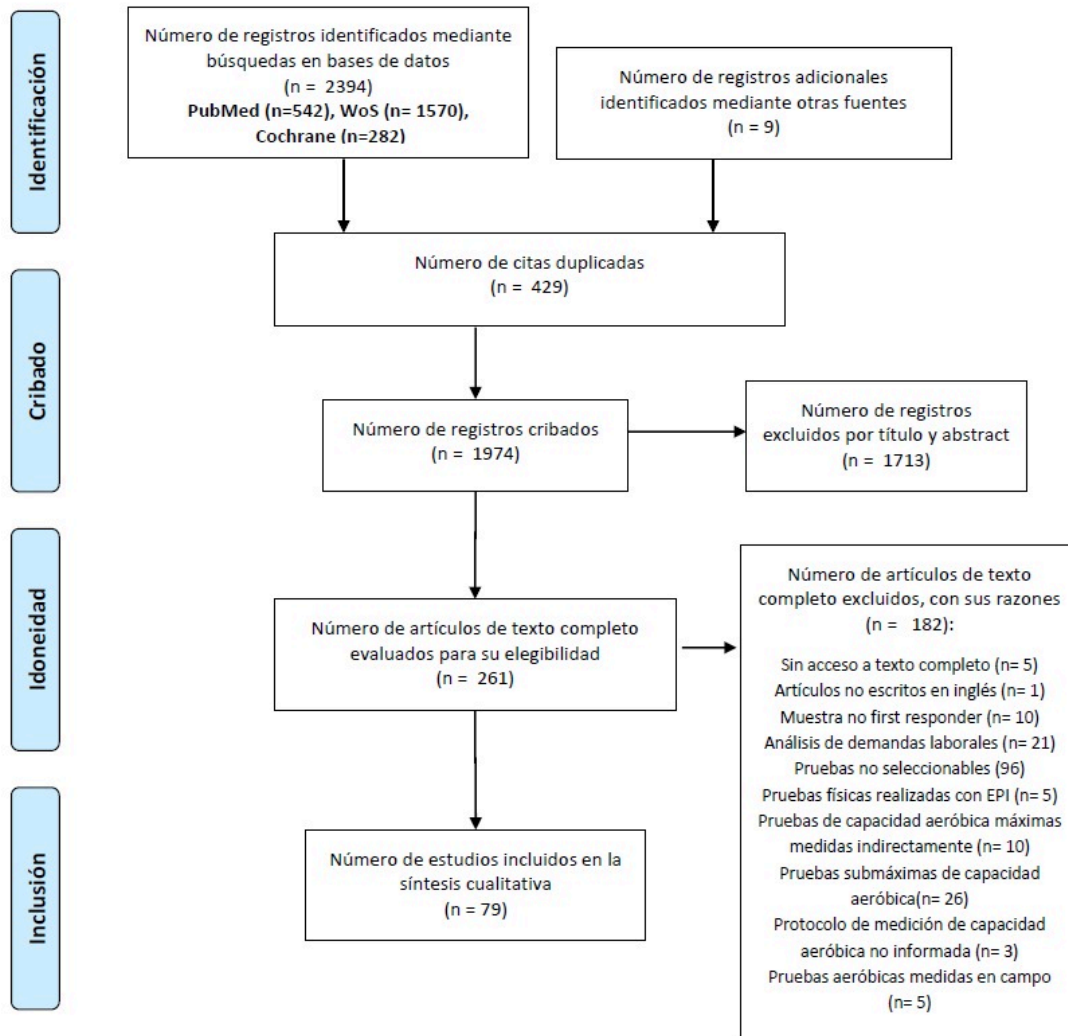


Figura 1. Proceso de selección de los artículos (Salameh et al., 2020).

3.1.3.1 Riesgo de sesgo

En general los estudios fallaron cuando tenían que proporcionar el tamaño de la muestra, además y dado que no se estudia el efecto de alguna variable, y simplemente se describen valores, el efecto del riesgo de sesgo es mínimo en los resultados del presente estudio. Los datos del riesgo de sesgo se presentan en la Tabla 9.

Tabla 8. Resumen de los artículos seleccionados.

Estudio	Tipo de muestra	n	Sexo	Edad (Años)	SD	Variable de medición
1 (Atikah et al., 2015)	BBEE	385	H	-	-	Agarre; Push up; Sit up
2 (Bahrke, 1982)	BBEE	50	H	34	6.7	Agarre; Prensa de piernas
3 (Baker et al., 2000)	BBEE	18	H	32.8	1.7	VO _{2max}
4 (Beach et al., 2014)	BBEE	54	H	-	-	Agarre; Push up
5 (Boyce et al., 2008)	BBEE (n=922); Policías (n=1208)	2330	H(n=2093); M(n=237)	38.6	7.2	Press de banca
6 (Callender et al., 2012)	Rescatadores	8	H	45.5	8.9	VO _{2max} ; Umbrales
7 (Carballo-Leyenda et al., 2017)	BBFF	8	H	30.8	8.4	VO _{2max}
8 (Carballo-Leyenda et al., 2018)	BBFF	6	H	30.6	7.9	VO _{2max}
9 (Carballo-Leyenda et al., 2021)	BBFF	9	H	31.1	3.2	VO _{2max} ; Umbrales
10 (Davis et al., 1982)	BBEE	100	H	33.1	7.6	VO _{2max} ; Agarre; Push up
11 (Dawes et al., 2017)	Policías	495	H	-	-	Agarre; Push up; Sit up
12 (Dawes et al., 2017)	Policías	631	H (n=597); M (n=34)	37.8	8.3	Agarre; Push up; Sit up
13 (Donovan & McConnell, 1999)	BBEE	8	H	31	2.1	VO _{2max}
14 (Drew-Nord et al., 2011)	BBEE	63	H	40.1	6.9	VO _{2max}
15 (Elsner & Kolkhorst, 2008)	BBEE	20	H	37.4	8.5	VO _{2max}
16 (Ensari et al., 2017)	BBEE	21	H	29	8.1	VO _{2max}
17 (Faff & Tutak, 1989)	BBEE	18	H	26.4	7.4	VO _{2max} ; Umbrales
18 (Frio Marins et al., 2019)	Policías	13	H	36.8	3.7	VO _{2max}
19 (Garver et al., 2005)	BBEE	68	H	40.1	8.1	Agarre; Push up; Sit up
20 (Gendron et al., 2015)	BBEE	13	H	28.4	5.1	VO _{2max}
21 (Gendron et al., 2019)	BBEE	13	H	30.7	7.1	VO _{2max}
22 (Horn et al., 2015)	BBEE	19	H	27.8	6.9	VO _{2max}
23 (Hostler & Pendergast, 2018)	BBEE	10	H	32.9	7.6	VO _{2max}
24 (Houck et al., 2020)	BBFF	80	H	34.9	7.9	Agarre
25 (Kaikkonen et al., 2017)	BBEE	21	H	38	7	VO _{2max}
26 (Kirlin et al., 2017)	BBEE	159	M	43.8	-	Push up- sit up
27 (Kiss et al., 2014)	BBEE	1249	H	38	10	VO _{2max}
28 (Klaren et al., 2014)	BBEE	22	H	27.5	7.1	VO _{2max}
29 (Leischik et al., 2015)	BBEE (n=97); Policías (n=55)	152	H	-	-	VO _{2max} ; Umbrales
30 (Lemon & Hermiston, 1977)	BBEE	45	H	35.0	2.5	VO _{2max}
31 (Li et al., 2017)	BBEE	76	M	38.0	10.1	VO _{2max}
32 (Lindberg et al., 2013)	BBEE	18	H	-	-	VO _{2max}

3.1 Estudio 1

33	(Lindberg et al., 2014)	BBEE	18	H	35.5	6.9	Agarre
34	(Lui et al., 2014)	BBFF	12	H	27	4	VO _{2max}
35	(Martin et al., 2019)	BBEE	74	H	40.1	12.2	Sit up
36	(McGill et al., 2013)	BBEE	282	H	36.5	9.4	Agarre
37	(McKinney et al., 2021)	BBEE	52	H (n=48); M(n=4)	-	-	VO _{2max}
38	(Michaelides et al., 2008)	BBEE	38	H	32.3	6.1	Press de banca; Sentadillas; Push up; Sit up
39	(Michaelides et al., 2011)	BBEE	67	H	33	7	Agarre; Press de banca; Sentadillas; Push up; Sit up
40	(Nazari et al., 2018)	BBEE	49	H (n=46); M (n=3)	36.2	6.4	Agarre
41	(Noh et al., 2020)	BBEE	102	H (n=84); M (n=18)	36.2	7.3	VO _{2max} ; Agarre
42	(Pawlak et al., 2015)	BBEE	20	H	-	-	Agarre
43	(Perroni et al., 2009)	BBEE	20	H	32	1	VO _{2max}
44	(Phillips et al., 2011)	BBFF	38	H	41.8	12.1	VO _{2max} ; Agarre; Push up
45	(Prieto et al., 2013)	BBEE (n=37): Rescatadores (n=81)	118	H	28.8	4.1	VO _{2max}
46	(Prieto et al., 2016)	Rescatadores	44	H	26.0	3.3	VO _{2max}
47	(Punakallio et al., 2005)	BBEE	29	H	42.3	3.2	Sit up
48	(Rahimi et al., 2017)	Rescatadores	230	H	-	-	Sit up
49	(Robinson et al., 2018)	Policías	42	H	-	-	Press de banca; Sentadillas
50	(Rodríguez-Marroyo et al., 2011a)	BBFF	60	H	28	1	VO _{2max} ; Umbrales
51	(Rodríguez-Marroyo et al., 2012a)	BBFF	160	H	25.2	0.4	VO _{2max} ; Umbrales
52	(Selkirk, McLellan, & Wong, 2006)	BBEE	12	H	40.7	0.8	VO _{2max}
53	(Selkirk, McLellan, & Wong, 2004)	BBEE	15	H	40.7	0.8	VO _{2max}
54	(Sell & Livingston, 2012)	BBFF	20	H	25.0	3.7	Agarre; Push up; Sit up
55	(Sheaff et al., 2010)	BBEE	33	H	27.5	1.8	VO _{2max} ; Press de banca; Prensa de piernas
56	(Siddall et al., 2018)	BBEE	68	H	41	8	VO _{2max}
57	(Skinner et al., 2020)	BBEE	42	H	38.4	7.6	VO _{2max} ; Push up
58	(Sokoloski et al., 2020)	BBEE	22	H	37.6	10.0	VO _{2max} ; Push up; Sit up
59	(Sothmann et al., 1991)	BBEE	10	H	31	8	VO _{2max}
60	(Sothmann et al., 1992)	BBEE	10	H	32	3	VO _{2max}
61	(Stevenson et al., 2019)	BBEE	69	H (n=64); M (n=5)	37	6	VO _{2max}
62	(Storer et al., 2014)	BBEE	48	H	43	8	Agarre; Push up; Sit up

63	(Tierney et al., 2010)	BBEE	76	H	36.3	5.7	VO _{2max}
64	(Vandersmissen et al., 2014)	BBEE	605	H	40.4	11.5	VO _{2max}
65	(von Heimburg et al., 2006)	BBEE	14	H	37.6	9.6	VO _{2max} ; Umbrales; Press de banca; Prensa de Piernas
66	(von Heimburg et al., 2013)	BBEE	43	H	40.5	4.0	VO _{2max}
67	(von Heimburg et al., 2017)	BBEE	12	H	39	5	VO _{2max}
68	(Walker et al., 2015)	BBEE	42	H	39.9	8.5	VO _{2max}
69	(Webb et al., 2010)	BBEE	12	H	33.7	4.9	VO _{2max}
70	(Williams-Bell et al., 2010a)	BBEE	36	H	40.7	6.6	VO _{2max} ; Agarre; Press de banca; Prensa de piernas
71	(Williams-Bell et al., 2010b)	BBEE	36	H	36.6	4.0	VO _{2max}
72	(Williford et al., 1999)	BBEE	91	H	31.7	7.4	Agarre; push up; Sit up
73	(Windisch et al., 2017)	BBEE	16	H	39	9	VO _{2max} ; Umbrales; Agarre; Prensa de piernas; Push up
74	(Windisch et al., 2017)	BBEE	41	H	39	9	VO _{2max} ; Agarre; Prensa de piernas; Push up
75	(Wittink et al., 2015)	Policías	1529	H (n=1068); M (n=461)	38.1	9.9	VO _{2max}
76	(Wright-Beatty et al., 2014)	BBEE	18	H	38.3	0.9	VO _{2max}
77	(Yook, 2019)	BBEE	705	H	55.9	3.7	VO _{2max}
78	(Yu et al., 2015)	BBEE	95	H	35.5	7.3	VO _{2max}
79	(Zeigler et al., 2021)	BBFF	46	H	-	-	VO _{2max}

SD, Desviación estándar; n, número de participantes (muestra); M: mujeres; H, Hombres; BBEE, bomberos de estructura; BBFF, bomberos forestales; VO_{2max}, consumo máximo de oxígeno.

3.1 Estudio 1

Tabla 9. Resumen del análisis del riesgo de sesgo o Risk of Bias.

	1. Pregunta de Investigación	2. Población de Estudio	3. Tasa de participación	4. Grupos reclutados de la misma población y criterios de elegibilidad uniformes	5. Justificación del tamaño de la muestra	6. Evaluación de la exposición antes de la medición del resultado	7. Tiempo suficiente para observar un efecto	8. Diferentes niveles de la exposición de interés	9. Medidas y evaluación de la exposición	10. Evaluación repetida de la exposición	11. Medidas del resultado	12. Cegamiento de los evaluadores del resultado	13. Tasa de seguimiento	14. Análisis estadístico	Total
(Atikah et al., 2015)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Bahrke, 1982)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Baker et al., 2000)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Beach et al., 2014)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Boyce et al., 2008)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Callender et al., 2012)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Carballo-Leyenda et al., 2017)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Carballo-Leyenda et al., 2018)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Carballo-Leyenda et al., 2021)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Davis et al., 1982)	0	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	4
(Dawes et al., 2017)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	0	NR	NA	NA	4
(Dawes et al., 2017)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Donovan & McConnell, 1999)	0	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	4
(Drew-Nord et al., 2011)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Elsner & Kolkhorst, 2008)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Ensari et al., 2017)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Faff & Tutak, 1989)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Frio Marins et al., 2019)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Garver et al., 2005)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Gendron et al., 2015)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Gendron et al., 2019)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Horn et al., 2015)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Hostler & Pendergast, 2018)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Houck et al., 2020)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Kaikkonen et al., 2017)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Kirlin et al., 2017)	1	1	1	1	1	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	6
(Kiss et al., 2014)	1	1	1	1	1	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	6

(Klaren et al., 2014)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Leischik et al., 2015)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Lemon & Hermiston, 1977)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Li et al., 2017)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Lindberg et al., 2013)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Lindberg et al., 2014)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Lui et al., 2014)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Martin et al., 2019)	1	1	1	1	1	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	6
(McGill et al., 2013)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(McKinney et al., 2021)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Michaelides et al., 2008)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Michaelides et al., 2011)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Nazari et al., 2018)	1	1	1	0	1	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Noh et al., 2020)	1	1	1	1	1	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	6
(Pawlak et al., 2015)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Perroni et al., 2009)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Phillips et al., 2011)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Prieto et al., 2013)	1	1	1	1	1	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	6
(Prieto et al., 2016)	1	1	1	1	1	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	6
(Punakallio et al., 2005)	1	1	0	1	1	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Rahimi et al., 2017)	1	1	1	1	1	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	6
(Robinson et al., 2018)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Rodríguez-Marroyo et al., 2011a)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Rodríguez-Marroyo et al., 2012a)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Selkirk et al., 2006)	1	1	0	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	4
(Selkirk et al., 2004)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Sell & Livingston, 2012)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Sheaff et al., 2010)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Siddall et al., 2018)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Skinner et al., 2020)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Sokoloski et al., 2020)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Sothmann et al., 1991)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Sothmann et al., 1992)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Stevenson et al., 2019)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Storer et al., 2014)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5

3.1 Estudio 1

(Tierney. et al., 2010)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Vandersmissen et al., 2014)	1	1	1	1	1	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	6
(von Heimburg et al., 2006)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(von Heimburg et al., 2013)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(von Heimburg et al., 2017)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Walker et al., 2015)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Webb et al., 2010)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Williams-Bell et al., 2010a)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Williams-Bell et al., 2010b)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Williford et al., 1999)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Windisch et al., 2017)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Windisch et al., 2017)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Wittink et al., 2015)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Wright-Beatty et al., 2014)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Yook. 2019)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Yu et al., 2015)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5
(Zeigler et al., 2021)	1	1	1	1	0	NA	NA	NA	NA	NA	1	NR	NA	NA	5

Fuente: <https://www.nhlbi.nih.gov/health-topics/study-quality-assessment-tools>;

NA, no aplicable; N, no reportado.

3.1.3.2 Consumo máximo de oxígeno

De los 79 artículos revisados, 57 aportan datos de consumo de oxígeno en valores absolutos ($L \cdot \text{min}^{-1}$) y relativos ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) (43, dos, ocho, dos y dos artículos de bomberos de estructura, policías, BBFF, rescatadores y mixtos, donde se incluye muestra con BBEE y rescatadores (Prieto et al., 2013) y muestra de BBEE con policías (Leischik et al., 2015) respectivamente), con una edad promedio que varía entre los 26 y los 56 años. Únicamente en siete de los 57 artículos aparecen valores de $\text{VO}_{2\text{max}}$ de FR femeninos (seis y uno, BBEE y policías respectivamente).

Tabla 10. Datos descriptivos sobre la capacidad aeróbica por sexo, tipo de trabajo y sexo*tipo de trabajo.

	Media e intervalo de confianza del 95%.			Heterogeneidad				Total entre					
	n	Grupos	Media \pm SD	Q-value	df (Q)	p	I^2	Q-value	df	p			
BBEE	3975	56	45.9 \pm 0.7	4146.1	55	0.000	98.7%	22.1	3	<0.001			
Policías	1597	4	37.2 \pm 2.5	302.4	3	0.000	99.0%						
Rescatadores	132	4	45.0 \pm 2.6	91.9	3	0.000	96.7%						
BBFF	357	11	50.8 \pm 1.6	633.5	10	0.000	98.4%						
Mujeres BBEE	131	7	42.0 \pm 1.9	96.9	6	0.000	93.8%	35.4	5	<0.001			
Mujeres policías	461	1	31.6 \pm 4.8	0.0	0	1.000	0.0%						
Hombres BBEE	3862	50	46.2 \pm 0.7	4076.2	49	0.000	98.8%						
Hombres policías	1136	3	39.2 \pm 2.8	33.1	2	0.000	94.0%						
Hombres rescatadores	132	4	45.0 \pm 2.5	91.9	3	0.000	96.7%						
Hombres BBFF	339	10	52.4 \pm 1.6	328.9	9	0.000	97.3%						
Mujeres	592	8	40.7 \pm 2.9	480.6	7	0.000	98.5%				4.010	1	0.045
Hombres	5469	67	46.8 \pm 1.0	17763.2	66	0.000	99.6%						
Totales	6061	75	44.3 \pm 3.0	21102.3	74	0.000	99.7%						

Valores expresados en $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \pm \text{SD}$. BBEE, bomberos de estructura; BBFF, bomberos forestales; Q-value, variabilidad entre estudios; df (Q), grados de libertad; p, significación asociada al valor Q; I^2 , porcentaje de variabilidad en los efectos

La Tabla 10 y Figura 2 muestran las estadísticas resumidas del $\text{VO}_{2\text{max}}$ para los trabajadores de emergencia. Se observó una interacción significativa cuando los estudios se categorizaron según el tipo de trabajo realizado ($p < 0.001$), el sexo ($p = 0.045$) y cuando se diferenciaron por sexo y tipo de trabajo ($p < 0.001$), a favor de los BBFF, los hombres y los hombres BBFF. Además, los grupos BBEE, policías, rescatadores y BBFF mostraron altos niveles de heterogeneidad, superando el 95% en todos los casos. Las mujeres policías fueron la excepción, sin heterogeneidad en sus resultados. En términos generales, el grupo BBFF de hombres presentó el $\text{VO}_{2\text{max}}$ más

alto con $52.4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, mientras que las mujeres policías tuvieron el más bajo con $31.6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. La heterogeneidad total entre todos los grupos fue extremadamente alta, con un 99.7%.

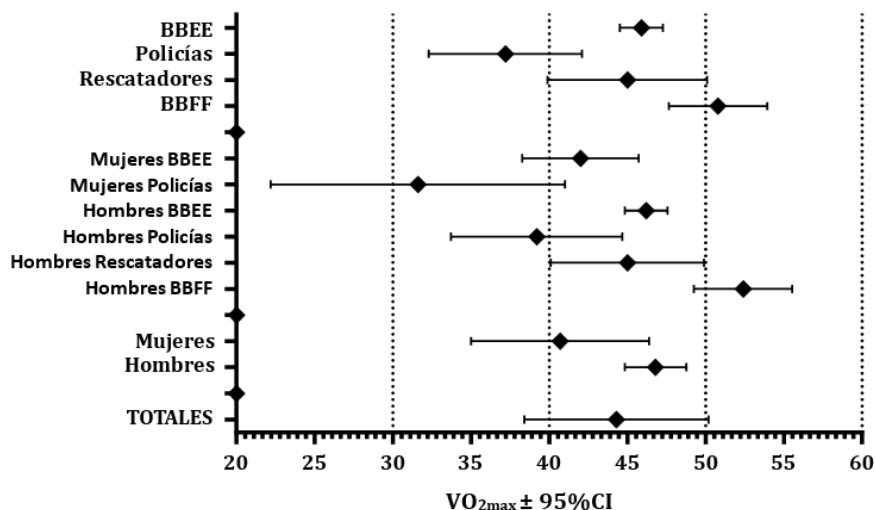


Figura 2. Datos descriptivos de la capacidad aeróbica.

VO_{2max}, consumo máximo de oxígeno; CI, intervalo de confianza al 95%.

3.1.3.3 Umbrales de esfuerzo

En ocho de los 79 artículos analizados se presentan datos correspondientes a los umbrales (tres de BBEE, tres de BBFF, uno de rescate y uno de muestra mixta que incluye BBEE y policías, como se informa en el estudio de Leischik et al., 2015). En total, se incluyeron 437 FR, distribuidos en 145 BBEE, 55 policías, 229 BBFF y ocho rescatadores, con edades promedio que oscilaron entre los 26 y los 45 años.

Se observó una interacción significativa cuando los estudios se agruparon según el tipo de trabajo de emergencia realizado en la FC_{max} ($p < 0.001$), VT (%) ($p < 0.001$), FC_{VT} ($p < 0.001$) y FC_{RCT} ($p < 0.001$), (Tabla 11). Además, la heterogeneidad fue notablemente alta en la mayoría de los grupos, superando el 90% en muchos casos

Tabla 11. Resultados de los umbrales aeróbicos y anaeróbicos en hombres *first responders*.

	Media e intervalo de confianza del 95%.			Heterogeneidad			Total entre		
	n	Grupos	Media \pm SD	Q-value	df (Q)	p	I ²	Q-value	df
FC_{max} (ppm)									
BBEE	113	2	176 \pm 1	4.4	1	0.035	77.50%		
Policías	55	1	172 \pm 2	0.0	0	1.000	0.0%	172.71	3
Rescatadores	8	1	189 \pm 4	0.0	0	1.000	0.0%		<0.001
BBFF	229	3	190 \pm 0	4.6	2	0.101	56.1%		
Total	405	6	182 \pm 5	191.9	6	0.000	96.9%		
VT (%)									
BBEE	113	2	58 \pm 0.65	29.2	1	0.000	96.57%		
Policías	55	1	53 \pm 2.39	0.0	0	1.000	0.0%	131.50	3
Rescatadores	220	1	47 \pm 2.7	0.0	0	1.000	0.0%		<0.001
BBFF	8	2	49 \pm 0.49	1.2	1	0.273	16.92%		
Total	396	6	51.28 \pm 2.41	4095.2	5	0.000	99.87%		
FC_{VT} (%)									
BBEE	16	1	64.7 \pm 2.1	0.0	0	1.000	0.0%		
Rescatadores	8	1	62.4 \pm 3.1	0.0	0	1.000	0.0%	16.19	2
BBFF	229	3	71.2 \pm 0.6	54.4	2	0.000	96.3%		<0.001
Total	253	4	66.6 \pm 3.1	75.2	4	0.000	94.7%		
RCT (%)									
BBEE	145	3	76.2 \pm 1.90	33.8	2	0.000	94.08%		
Policías	55	1	71.6 \pm 4.09	0.0	0	1.000	0.0%	5.06	3
Rescatadores	220	1	81.8 \pm 3.42	0.0	0	1.000	0.0%		0.167
BBFF	8	3	78.9 \pm 1.38	329.5	1	0.000	99.7%		
Total	428	7	77.55 \pm 1.84	366.1	7	0.000	98.0%		
FC_{RCT} (%)									
BBEE	113	2	81.7 \pm 1.24	75.3	1	0.000	98.67%		
Policías	55	1	77.7 \pm 2.02	0.0	0	1.000	0.0%	52.67	3
Rescatadores	8	1	81.5 \pm 3.21	0.0	0	1.000	0.0%		<0.001
BBFF	229	3	89.5 \pm 0.75	59.7	2	0.000	96.7%		
Total	405	7	82.78 \pm 3.14	273.9	6	0.000	97.8%		

BBEE, bomberos de estructura; BBFF, bomberos forestales; Q-value, variabilidad entre estudios; df (Q), grados de libertad; p, significación asociado al valor Q; I², porcentaje de variabilidad en los efectos; FC_{max}, frecuencia cardiaca máxima; VT, primer umbral ventilatorio, umbral aeróbico expresado como porcentaje del VO_{2max}; RCT, umbral de compensación respiratorio, umbral anaeróbico expresado como porcentaje del VO_{2max}; FC_{VT}, frecuencia cardiaca en el VT, expresada en porcentaje respecto a la FC_{max}; FC_{RCT}, frecuencia cardiaca en el RCT, expresada en porcentaje respecto a la FC_{max}.

3.1.3.4 Fuerza máxima de agarre

Un total de 21 artículos (16 en BBEE, 2 en policías y 3 en BBFF) analizaron la fuerza máxima de agarre en 2691 FR. En tres de estos artículos (2 en BBEE y 1 en policías), se proporcionaron datos sobre 55 mujeres además de los datos de hombres. En 18 de los 21 artículos, solamente se incluyeron datos de hombres. En total, se examinaron 33 grupos en los 21 artículos que analizaron la fuerza de agarre manual. En la Tabla 12 y Figura 3 se presentan las estadísticas de la fuerza máxima de agarre para los

3.1 Estudio 1

trabajadores de emergencia. Se observó una interacción significativa cuando se diferenciaron según el sexo ($p < 0.001$) y cuando se diferenciaron por sexo y tipo de trabajo ($p < 0.001$) a favor de los BBFF.

Tabla 12. Resultados de fuerza máxima (kKg) de agarre por sexo, tipo de trabajo y sexo*tipo de trabajo.

	Media e intervalo de confianza del 95%.			Heterogeneidad				Total entre		
	n	Grupos	Media \pm SD	Q-value	df (Q)	p	I^2	Q-value	df	p
BBEE	1427	25	52.5 \pm 1.2	1398.0	24	0.000	98.3%			
Policías	1126	4	50.5 \pm 2.9	323.5	3	0.000	99.1%	4.731	2	0.094
BBFF	138	4	59.1 \pm 3.1	19.4	3	0.000	84.5%			
Mujeres BBEE	21	2	34.9 \pm 4.4	4.4	1	0.035	77.4%			
Mujeres policías	34	1	37.9 \pm 5.2	0.0	0	1.000	0.0%			
Hombres BBEE	1406	23	53.6 \pm 1.1	1269.6	22	0.000	98.3%	31.018	4	<0.001
Hombres policías	1092	3	54.6 \pm 3.0	2.1	2	0.357	29.9%			
Hombres BBFF	138	4	59.1 \pm 2.8	19.4	3	0.000	84.5%			
Mujeres	55	3	36.2 \pm 3.5	15.2	2	0.000	86.9%	24.915	1	<0.001
Hombres	2636	30	54.4 \pm 1.0	1655.0	29	0.000	98.2%			
Totales	2691	33	53.0 \pm 1.1	2014.9	32	0.000	98.4%			

BBEE, bomberos de estructura; BBFF, bomberos forestales; Q-value, variabilidad entre estudios; df (Q), grados de libertad; p, significación asociada al valor Q; I^2 , porcentaje de variabilidad en los efectos esperados.

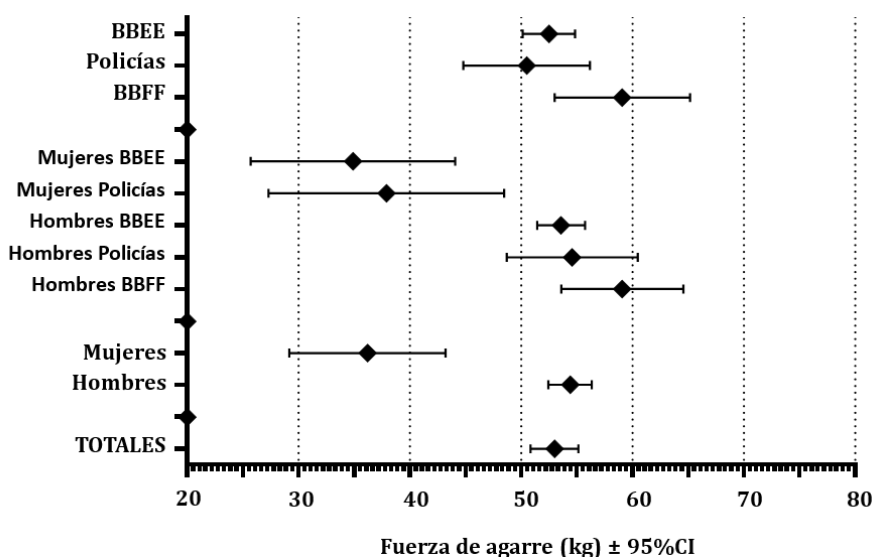


Figura 3. Datos descriptivos de la fuerza máxima de agarre CI, intervalo de confianza al 95%.

3.1.3.5 Fuerza máxima de del tren superior (press de banca)

Un total de siete artículos aportan datos de fuerza máxima de tren superior, mediante la realización de la prueba de 1RM de press de banca (cinco de ellos aportan únicamente datos de BBEE, uno de policías y uno artículo aporta datos de policías y BBEE). Uno de los siete artículos aporta datos de FR femeninos. La Tabla 13 y Figura 4 muestra las estadísticas resumidas de la fuerza de agarre manual para los trabajadores de emergencia. Se observó una interacción significativa cuando se diferenciaron según el sexo ($p < 0.001$) y cuando se diferenciaron por sexo y tipo de trabajo ($p < 0.001$), a favor de los BBFF.

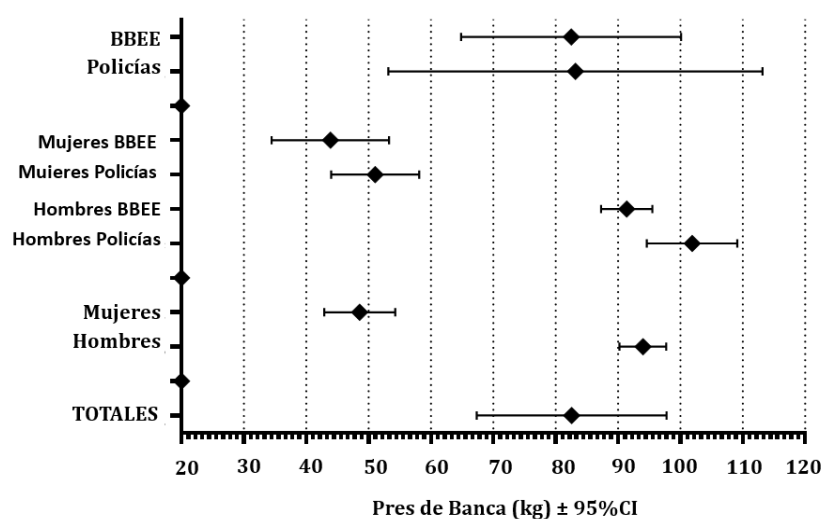


Figura 4. Datos descriptivos de la fuerza máxima del tren superior. CI, intervalo de confianza al 95%.

Tabla 13. Valores reportados (kg) en la prueba de press de banca por sexo, tipo de trabajo y sexo*tipo de trabajo.

	Media e intervalo de confianza del 95%.			Heterogeneidad			Total entre			
	n	Grupos	Media \pm SD	Q-value	df (Q)	p	I ²	Q-value	df	p
BBEE	1120	8	82.5 \pm 9.0	1802.9	8	0.000	99.6%	0.002	1	0.967
Policías	1450	3	83.2 \pm 15.3	3561.2	2	0.000	99.9%			
Mujeres BBEE	44	2	51.1 \pm 3.5	1.45	1	0.228	31.2%	170.9	1	<0.001
Mujeres policía	200	1	43.9 \pm 4.8	0.0	0	1.000	0.0%			
Hombres BBEE	1076	7	91.4 \pm 2.1	78.6	6	0.000	92.4%			
Hombres Policía	1250	2	101.9 \pm 3.7	18.5	1	0.000	94.6%	170.9	1	<0.001
Mujeres	244	3	48.6 \pm 2.9	37.8	2	0.000	97.7%			
Hombres	2326	9	94.0 \pm 1.9	161.8	8	0.000	95.6%	170.9	1	<0.001
Totales	2570	12	82.6 \pm 7.8	5644.1	11	0.000	99.8%			

BBEE, bomberos de estructura; BBFF, bomberos forestales; 1RM, repetición máxima; Q-value, variabilidad entre estudios; df (Q), grados de libertad; p, significación asociada al valor Q; I², porcentaje de variabilidad en los efectos.

3.1 Estudio 1

3.1.3.6 Fuerza máxima de del tren inferior

En nueve artículos se proporcionaron datos sobre la fuerza máxima del tren inferior, medida mediante las pruebas de 1RM de prensa de piernas y 1RM de sentadillas (8 en BBEE y 1 en policías), en un total de 337 primeros respondedores, sin incluir ninguna muestra femenina. No se observaron diferencias significativas ($p=0.768$) entre los BBEE y la policía (Tabla 14).

Tabla 14. Resultados (kg) de la fuerza máxima del tren inferior.

	Media e intervalo de confianza del 95%.			Heterogeneidad			Total entre			
	n	Grupos	Media \pm SD	Q-value	df (Q)	p	I ²	Q-value	df	p
1 RM Prensa de piernas (BBEE)	183	6	277.5 \pm 1.5	2945.6	6	<0.001	99.8%			
1 RM Sentadillas (BBEE)	79	2	120.6 \pm 10.2	16.8	1	0.000	94.1%	0.087	1	0.768
1 RM Sentadillas (policías)	50	1	125.8 \pm 14.5	0.0	0	1.000	0.0%			

BBEE, bomberos de estructura; BBFF, bomberos forestales; 1RM, repetición máxima; Q-value, variabilidad entre estudios; df (Q), grados de libertad; p, significación asociada al valor Q; I², porcentaje de variabilidad en los efectos.

3.1.3.7 Resistencia a la fuerza

Se han analizado 20 artículos que evalúan la resistencia a la fuerza del tren superior (*push up test*) o de la musculatura del core (*sit up test*) (17 y 12, respectivamente). En total han sido 2648 FR repartidos en 1234 BBEE, 1126 policías, 58 BBFF y 230 rescatadores. En dos de los 20 artículos aparecen datos femeninos.

La Tabla 15, y las Figuras 5 y 6 muestran las estadísticas resumidas de fuerza-resistencia para trabajadores de emergencia. No se observaron diferencias en la prueba de flexiones. Sin embargo, para la prueba de abdominales o *sit up test*, se observaron diferencias cuando los participantes se dividieron según el trabajo y el trabajo \times sexo.

Tabla 15. Datos descriptivos (número de repeticiones) de los valores de resistencia a la fuerza de la musculatura del tren superior (*push up test*) y del core (*sit up test*).

	Media e intervalo de confianza del 95%.			Heterogeneidad			Total entre			
	n	Grupos	Media \pm SD	Q-value	df (Q)	p	I ²	Q-value	df	p
<i>Push up (rep.)</i>										
BBEE	1009	20	33.9 \pm 1.8	581.3	19	<0.001	96.7%			
Policías	1126	4	35.3 \pm 4.0	277.1	3	<0.001	98.9%	2.765	2	0.251
BBFF	58	3	42.8 \pm 5.0	1.9	2	0.378	0.0%			
Mujeres BBEE	159	4	30.1 \pm 4.1	4.6	3	0.202	35.0%			
Mujeres policías	34	1	24.2 \pm 8.1	0.0	0	1.000	0.0%			
Hombres BBEE	850	16	34.8 \pm 2.0	563.0	15	<0.001	97.4%	6.349	4	0.175
Hombres policías	1092	3	38.8 \pm 4.5	99.1	1	<0.001	99.1%			
Hombres BBFF	58	3	42.8 \pm 5.0	1.9	2	0.378	0.0%			
Mujeres	193	5	28.9 \pm 4.1	8.7	4	0.068	54.3%	3.498	1	0.061
Hombres	2000	22	36.4 \pm 1.7	883.7	21	<0.001	97.6%			
Totales <i>push up</i>	2193	27	35.0 \pm 1.6	944.3	26	<0.001	97.2%			
<i>Sit up (rep.)</i>										
BBEE	785	15	38.7 \pm 1.6	107.27	14	<0.001	87.0%			
Policías	1126	4	33.6 \pm 2.7	379.16	3	<0.001	99.2%	18.27	3	<0.001
Rescatadores	230	1	41.5 \pm 5.4	0.00	0	1.000	0.0%			
BBFF	20	1	60.0 \pm 5.6	0.00	0	1.000	0.0%			
Mujeres BBEE	159	4	45.1 \pm 3.6	1.7	3	0.629	0.0%			
Mujeres policías	34	1	31.1 \pm 5.7	0.0	0	1.000	0.0%			
Hombres BBEE	176	11	37.2 \pm 1.7	92.9	10	<0.001	89.2%	22.25	5	<0.001
Hombres policías	1092	3	34.4 \pm 3.1	375.3	2	<0.001	99.5%			
Rescatadores	230	1	41.5 \pm 5.5	0.0	0	1.000	0.0%			
Hombres BBFF	20	1	60.0 \pm 5.6	0.0	0	1.000	0.0%			
Mujeres	193	5	41.4 \pm 3.5	27.7	4	<0.001	85.6%	0.623	1	0.430
Hombres	1968	16	38.4 \pm 1.7	966.7	15	<0.001	98.5%			
Totales <i>sit up</i>	2161	21	39.0 \pm 1.5	994.5	20	<0.001	98.0%			

BBEE, bomberos de estructura; BBFF, bomberos forestales; Rep., número de repeticiones; Q-value, variabilidad entre estudios; df (Q), grados de libertad; p, significación asociada al valor Q; I², porcentaje de variabilidad en los efectos.

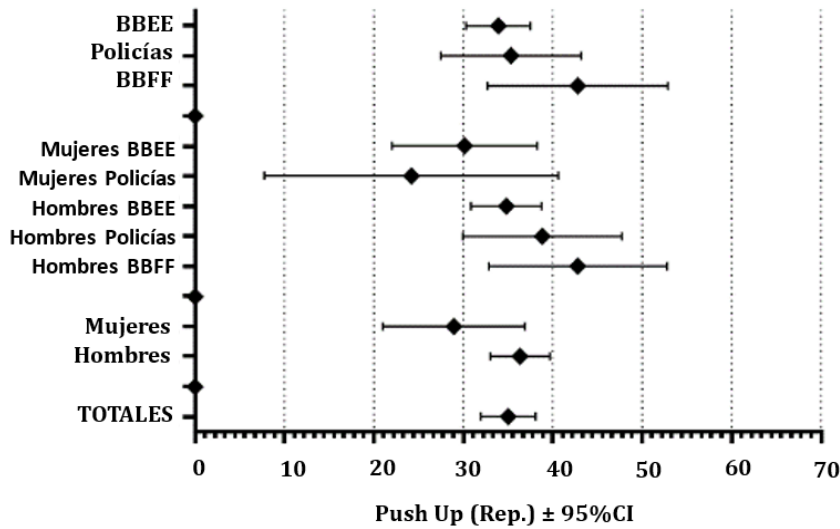


Figura 5. Datos descriptivos de la resistencia a la fuerza del tren superior, medida con la prueba *push up* (repeticiones). CI, intervalo de confianza al 95%.

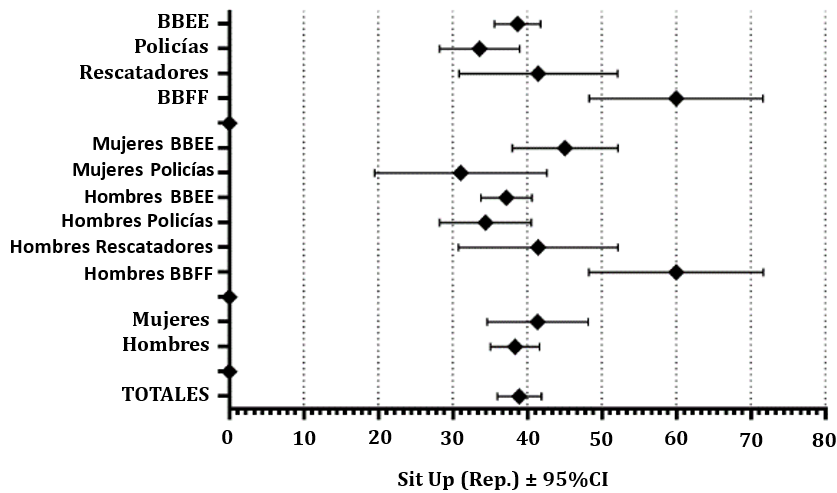


Figura 6. Datos descriptivos de la resistencia a la fuerza de la musculatura del core, medida con la prueba *sit up* (repeticiones). CI, intervalo de confianza al 95%.

3.1.4 DISCUSIÓN

La presente revisión tuvo como objetivo principal describir los principales componentes físicos y fisiológicos de los FR (BBEE, policías, rescatadores y BBFF). Hasta donde sabemos se trata de la primera revisión sistemática de la literatura que revisa y analiza las características físicas y fisiológicas de los FR. La gran mayoría de artículos encontrados y seleccionados incluyen a BBEE (n=58 artículos), seguidos de BBFF (n=10), policías (n=7), y rescatadores (n=4). Asimismo, la capacidad mayoritariamente analizada es

la capacidad aeróbica, con 57 artículos, seguida de fuerza de agarre (n=21), resistencia a la fuerza (n=20), fuerza máxima de extremidad inferior (n=9), valores fisiológicos relativos a los umbrales (n=8), y fuerza máxima extremidad superior (n=7).

3.1.4.1 Capacidad aeróbica

La capacidad aeróbica, expresada como el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), ha sido definida como la capacidad de los sistemas cardiovascular y pulmonar para satisfacer las demandas de oxígeno del cuerpo durante el trabajo físico (Sovová et al., 2020), y se establece como uno de los principales componentes de desempeño laboral en profesiones físicamente exigentes (Epstein et al., 2013). En la presente revisión se encontraron valores que van desde 31.6 ± 4.8 hasta 52.4 ± 1.6 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, con un valor medio de 44.3 ± 3.0 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. Los mayores valores fueron encontrados en los BBFF con diferencias significativas con el resto de las profesiones. Parece ser que los resultados obtenidos en nuestra revisión están claramente por encima del VO_{2max} medido directamente en población general (35.9 ± 11.0 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, edad media de 48 ± 15 años, rango de 20 a 79 años) (Arena et al., 2020). Si bien se ha señalado que el establecimiento de valores globales de capacidad aeróbica es muy complejo debido a distintos factores como la edad y el sexo (Peterman et al., 2020), una interpretación más acertada debería incluir el sexo y el rango de edad. En nuestro caso la edad media fue de 33 ± 5 y 34 ± 8 años (mujeres y hombres respectivamente), y VO_{2max} de 40.7 ± 2.9 , y 46.8 ± 1.0 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (mujeres y hombres respectivamente), para este mismo rango de edad (30-39 años) se han establecido valores de población general de 34.1 ± 8.7 y 43.7 ± 9.9 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (mujeres y hombres respectivamente) (Peterman et al., 2020), lo cual muestra que los FR tienen una capacidad aeróbica superior a la media, aunque en ciertos grupos profesionales se ven resultados inferiores (Tabla 10). Con relación a la heterogeneidad, lo más llamativo es que alcanza un 99.7%, lo que implica una amplia variación en los valores del VO_{2max} cuando se consideran todos los grupos en conjunto. Esta amplia variabilidad podría deberse a una serie de factores, como las diferencias en la naturaleza del trabajo, la intensidad y frecuencia del entrenamiento, así como las diferencias individuales en la genética y la salud general. Por lo tanto, sería esencial considerar estos factores al interpretar los resultados y al planificar intervenciones o programas de entrenamiento específicos para cada grupo.

La medición directa del VO_{2max} es costosa en tiempo y recursos (Marins et al., 2019), y en muchas ocasiones inviable en condiciones reales de emergencia

(Drew-Nord et al., 2011). Es por ello que la utilización de pruebas simuladas en laboratorio y campo es la forma más extendida de medirlo de forma directa (Budd et al., 1997; Callender et al., 2012; Carballo-Leyenda et al., 2017; Dempsey et al., 2014; Gumieniak et al., 2018; Mamen et al., 2013; Ruby et al., 2003a; Williams-Bell et al., 2010), así como estimaciones a partir de análisis de regresión múltiple (Carballo-Leyenda et al., 2021), y utilización de equivalentes ventilatorios MET o tasas metabólicas (Sothmann et al., 1992). Únicamente hemos encontrado dos artículos que aportan datos (estimados a partir de ecuaciones predictivas) de consumo de oxígeno en intervenciones reales (Kaikkonen et al., 2017; Sol et al., 2018); en BBEE se obtuvieron valores medios de $34,6 \pm 5,3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, llegando en momentos pico a valores cercanos a $45 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Kaikkonen et al., 2017); en el caso de BBFF se observaron valores medios de $27 \pm 11 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ llegando en ocasiones puntuales a valores cercanos $40 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Sol et al., 2018). Al referirnos a pruebas simuladas se han reportado valores medios de $38,3 \pm 5,2$, $43,5 \pm 6,0$, $40,7 \pm 3,0$ y $36,8 \pm 3,6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ y valores pico de $47,0$, $50,3$, $42,0$, y $51,0 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ en BBEE, BBFF, policías y rescatadores, respectivamente (Callender et al., 2012; Dempsey et al., 2014; Ruby et al., 2003a; Williams-Bell et al., 2010). Dado que en momentos puntuales de la emergencia se alcanzan valores superiores y que en algunos grupos profesionales se observan consumos inferiores al valor medio (Tabla 10), podría darse la situación de que los FR con $\text{VO}_{2\text{max}}$ más bajos deban emplearse a un porcentaje superior de sus atributos fisiológicos ($\text{VO}_{2\text{max}}$ y FC), disparando el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y de lesión por sobreesfuerzo (Epstein et al., 2013; Roberts et al., 2016).

Unido a la fatiga que provoca la emergencia, los FR a menudo realizan sus labores en condiciones climáticas hostiles, ya sea por calor (Larsen et al., 2015; Morris & Chander, 2018) (BBEE, BBFF) o por frío (Conolly et al., 2015) (rescatadores), utilizando herramientas pesadas (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a) y portando su EPI. Se ha señalado que el PPE condiciona en cierta medida la capacidad de trabajo y la movilidad (Coca et al., 2010), y limita la disipación eficiente por calor (Carballo-Leyenda et al., 2017) lo que aumenta hasta un 20% el $\text{VO}_{2\text{max}}$ medido en pruebas simuladas con y sin PPE en BBEE (Lee et al., 2014) y en un 12% en BBFF (Carballo-Leyenda et al., 2018). En este sentido parece ser que los sujetos con un mayor $\text{VO}_{2\text{max}}$ toleran de una forma más eficiente los esfuerzos en calor (Selkirk et al., 2004), y dado que el déficit de $\text{VO}_{2\text{max}}$ se ha relacionado con enfermedades cardiovasculares y metabólicas (Dvorak et al., 2000; Schmid & Leitzmann,

2015), a un mayor VO_{2max} por parte de los FR, son mayores las posibilidades, no sólo de resistir a las demandas físicas a las cuales son sometidos, sino también, a disminuir el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y respiratorias provocadas por la dinámica de los esfuerzos propios de las labores de emergencia (Morris & Chander, 2018; Ruby et al., 2003). Por ello se hace necesario que los FR mantengan una capacidad aeróbica suficiente para desenvolverse adecuadamente en tareas físicamente exigentes o simuladas (Mamen et al., 2013), la cual se ha descrito que debe ser de al menos $40 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, en rangos de 38 a $45 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Adams et al., 2009; Drew-Nord et al., 2011; Perroni et al., 2009; Petersen et al., 2010; von Heimburg et al., 2013; Williams-Bell et al., 2009).

3.1.4.2 Umbrales de esfuerzo

De los valores de VO_{2max} se pueden extraer las intensidades relativas de esfuerzo o umbrales ventilatorios (VT y RCT), el primero se considera el punto a partir del cual las intensidades de trabajo eminentemente aeróbicas pasan a una fase de transición denominada aeróbica-anaeróbica y el segundo, el momento a partir del cual se inicia la zona de inestabilidad metabólica o una compensación respiratoria donde el metabolismo principal de obtención de energía es el anaeróbico (Skinner & Mclellan, 1980; Wilmore et al., 2008). Se ha descrito como su conocimiento es importante en deportes de resistencia, ya que mientras que el VO_{2max} , depende principalmente de factores como la genética, edad y el sexo y en menor medida del entrenamiento, los umbrales son más sensibles a su mejora con el entrenamiento adecuado, sin necesidad de cambios en el VO_{2max} (Ghosh, 2004; López-Chicharro & Lucía, 2006). En nuestra revisión los FR tenían el VT1 y RCT al $51.3 \pm 2.4\%$ y $77.5 \pm 1.8\%$ del VO_{2max} , valores inferiores a los encontrados en ciclistas profesionales ($60-75\%$ y $80-90\%$, VT y RCT respectivamente) (Santalla et al., 2012), corredores por montaña (62% VT, y 83% RCT) (Rodríguez-Marroyo, et al., 2018), corredores de media distancia (69% VT, y 88% RCT) (Rabadán et al., 2011), corredores de larga distancia (75% VT, 88% RCT) (Rabadán et al., 2011).

De los umbrales extraídos de pruebas de esfuerzo en laboratorio, se pueden establecer zonas de trabajo (mediante la FC) en intervenciones reales y simuladas, las cuales proporcionan información del tiempo empleado por debajo del VT (zona 1), tiempo entre umbrales (zona 2), y tiempo por encima del RCT (zona 3) (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a). Así mismo, se deberá tener muy en cuenta las dinámicas del esfuerzo en cada profesión y con ello su contribución mayor o menor del metabolismo aeróbico o

anaeróbico. El trabajo de BBEE y policías se caracteriza por esfuerzos cortos y explosivos, con implicaciones anaeróbicas mayores (Marins et al., 2019; Morris & Chander, 2018), con esfuerzos del 16.3, 50.4 y 33.3% (zona 1, zona 2 y zona 3 respectivamente) del tiempo en una tarea de fuego real simulada en BBEE (Windisch et al., 2017). Los BBFF realizan sus despliegues en zonas de difícil acceso, con mayor duración en sus actuaciones, variando la dinámica del esfuerzo a favor del metabolismo aeróbico (Callender et al., 2012; Rodríguez-Marroyo et al., 2012), donde el tiempo de intervención fue del 66%, 27%, y 6.9% en zonas 1, 2 y 3 respectivamente, en intervenciones reales (Rodríguez-Marroyo et al., 2012a). Los rescatadores realizan intervenciones en zonas de difícil acceso, pero la urgencia que requiere su intervención provoca que en ciertas ocasiones trabajen a intensidades elevadas de esfuerzo durante largos periodos de tiempo, donde se ha señalado en una aproximación de rescate simulado que pasan el 3.9, 14.3 y 80.4% del tiempo en zonas 1, 2, y 3 respectivamente (Callender et al., 2012).

Si bien ambos umbrales son importantes, el VT cobra especial importancia para aquellas acciones que impliquen sostener el trabajo a largo plazo, los FR realizan a menudo despliegues de más de 8 horas (BBFF y rescatadores específicamente), donde mantener la tensión cardiorrespiratoria y metabólica por debajo del VT son condiciones esenciales para evitar la sobrecarga aguda y crónica (Fasching et al., 2020). Por el contrario, el RCT se establece como un punto crítico, no solo en aquellas profesiones que realizan esfuerzos cortos y explosivos (policías y BBEE), si no en todos los casos, ya que en algún momento de la emergencia los FR van a tener que sobrepasarlo. Se ha visto como el trabajo por encima del mismo desarrolla acidosis metabólica, aumenta la ventilación de forma desproporcionada, lo que provoca una reducción de la resistencia al esfuerzo y la aparición de la fatiga (Wasserman, 1987). Por ello el mantenimiento de un RCT elevado puede ser una estrategia efectiva para retrasar el momento de aparición de la fatiga en los FR, aunque se deberá tener muy en cuenta la dinámica de los esfuerzos de cada profesión.

3.1.4.3 Fuerza máxima

La fuerza muscular juega un papel clave en la salud (Marins et al., 2019) y en la prevención de lesiones deportivas y ocupacionales (Drain & Reilly, 2019; Epstein et al., 2013). Los FR a menudo deben realizar tareas como escalar, ascenso-descenso por cuerdas fijas y móviles (Conolly et al., 2015), manejo repetitivo de herramienta manual (Gumieniak et al., 2018), arrastre y

empuje de personas y/o material pesado (Perroni et al., 2021), etc., por lo que el conocimiento de valores de fuerza dinámica máxima es importante y, además, la fuerza máxima de agarre isométrica se establece como predictor de la mortalidad (Wu et al., 2017). Nuestros resultados de fuerza máxima isométrica (fuerza de agarre) fueron de 53.0 ± 1.1 kg, repartidos en 52.5 ± 1.2 , 50.5 ± 2.9 , y 59.1 ± 3.1 kg en BBEE, policías y BBFF respectivamente, valores superiores a los de una muestra de población general de similar edad (38.7 ± 14.7 kg) (Wong, 2016), y valores similares a deportistas donde el agarre es un factor de rendimiento como jiu-jitsu (Andreato et al., 2017), y escalada (Baláš et al., 2012). En relación con la fuerza dinámica máxima del tren superior (1RM press de banca), nuestros resultados fueron de 82.6 ± 7.8 kg (82.5 ± 9.0 , y 83.2 ± 15.3 kg, en BBEE y policías respectivamente), destacando las diferencias observadas entre los distintos subgrupos y en especial entre hombres y mujeres, donde las mujeres FR tenían un 48% menos de fuerza que los FR masculinos. Estas diferencias concuerdan con lo que establece la literatura deportiva (60% y 25%, diferencias absolutas y relativas al peso corporal) (Wilmore et al., 2008), si bien nuestros resultados se refieren a los valores absolutos, es posible que las diferencias se reduzcan al relativizarlo al peso corporal y aún más a la masa muscular. El mejor desempeño en esta prueba ha sido correlacionado con la mejora en el tiempo de realización de una prueba de extinción de incendios simulada (Michaelides et al., 2008), por lo que mantener valores elevados de 1RM press de banca podría ser una estrategia efectiva en los FR, no solo para aumentar el rendimiento laboral sino como método efectivo para la prevención de lesiones ocupacionales (Drain & Reilly, 2019). Pocos estudios evaluaron la fuerza dinámica máxima del tren inferior, los FR movilaron 277.5 ± 1.5 kg en la prueba prensa de piernas y alrededor de 120 kg en 1RM de sentadilla. Al igual que en el caso de la fuerza dinámica máxima de las extremidades superiores, la fuerza dinámica máxima de de las extremidades inferiores se relaciona con la menor fatiga y por consiguiente con una reducción de lesiones ocupacionales, sobre todo en aquellas profesiones que impliquen portar cargas elevadas durante numerosas horas, como es el caso de BBFF. Además, se deberá tener especial atención al sector femenino puesto que se ha descrito que son más propensas que los hombres a sufrir lesiones ocupacionales en la extremidad inferior (Watkins et al., 2019). Lo cual podría estar explicado por las características corporales como rotación de la cadera, rodillas en valgo y sobrecarga de tejido adiposo en el sistema musculo esquelético (Epstein et al., 2013; Roberts et al., 2016). Por ello, la recomendación de realizar programas de entrenamiento físico específicos encaminados a reducir el número de lesiones y a aumentar la condición

física de las mujeres FR está bastante extendida en la literatura (Epstein et al., 2013; Kelly et al., 2016; Nindl, 2015; Nindl et al., 2017).

3.1.4.4 Resistencia a la fuerza

La capacidad de resistencia a la fuerza o resistencia muscular ha sido definida como la capacidad para mantener un pico de fuerza y una producción de fuerza concreta durante un determinado tiempo (González-Badillo & Ribas-Serna, 2018), y tiene relación directa a las acciones realizadas por los FR durante su desarrollo laboral. Nuestros resultados fueron de 35.0 ± 1.6 repeticiones en *push up* y 39.0 ± 1.41 en *sit up*, destacando las diferencias en *sit up* entre BBFF y el resto de las profesiones. Si bien el grupo de BBFF fue el menos numeroso, una mayor cantidad de muestra podría variar los datos y normalizar las diferencias. Del mismo modo el trabajo de los BBFF se caracteriza por la realización de tareas repetitivas con herramienta manual durante largos periodos de tiempo (Rodríguez-Marroyo et al., 2012a), para lo cual es necesario mantener una correcta activación de la musculatura central del cuerpo, y así afrontar el trabajo en condiciones de seguridad y salud. En ambos casos (*sit up and push up*) se tratan de valores clasificados como excelentes por la ACSM, medidos en población general y dentro del mismo rango de edad (30-39 años) (ACSM, 2013).

Si bien en otras manifestaciones de la fuerza se observaron diferencias entre hombres y mujeres FR, no es el caso de la resistencia a la fuerza, donde se ha descrito como las mujeres son más resistentes a la fatiga muscular en términos relativos a la masa muscular (Hunter, 2016). Esto probablemente se deba al hecho de que la menor masa muscular ejerce menos fuerza absoluta con una carga de trabajo relativa y, por lo tanto, tiene menores demandas de oxígeno muscular, lo que prolonga el tiempo hasta la fatiga (Epstein et al., 2013). Además, la utilización del sustrato energético predominante es la oxidación de las grasas durante esfuerzos submáximos y la mayor cantidad de fibras tipo I podrían ayudar a fundamentar esta relación (Hicks et al., 2001). Sin embargo, la ventaja femenina en la resistencia muscular disminuye a medida que aumenta la intensidad de la contracción, y solo en el rango más bajo de intensidad se puede observar una ventaja real en la fatigabilidad de las mujeres sobre los hombres (Hicks et al., 2001).

3.2 ESTUDIO 2. INFLUENCIA DEL SEXO EN EL ESFUERZO REALIZADO DURANTE LA EXTINCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES



Bomberos forestales durante la realización de ataque directo con mochila extintora.

3.2.1 INTRODUCCIÓN

A la hora de conocer o estudiar las demandas reales a las que se enfrentan los BBFF, nos encontramos aquellos estudios que han simulado en condiciones de laboratorio o en el propio campo las características del trabajo de extinción de IF (Budd et al., 1997; Carballo-Leyenda et al., 2017, 2018; Larsen et al., 2015; Savage et al., 2014). Una apreciación del esfuerzo acometido puesto que no tienen en cuenta la multitud de condiciones impredecibles, citadas anteriormente, que se encuentran los BBFF en su día a día, y hacen de la simulación un acercamiento que en muchas ocasiones sobreestima la realidad del de la labor; en el caso del consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), se han observado mayores niveles en entrenamiento que en condiciones reales de esfuerzo ($37 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ vs., $22 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente) (Sol et al., 2018), temperaturas centrales promedio con EPI completo cercanas a $39 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en condiciones de laboratorio durante prueba simulada (Carballo-Leyenda et al., 2017) frente a $38 \text{ }^{\circ}\text{C}$ promedio durante incendios reales (Sol et al., 2018). Si bien, se deberá tener en cuenta el trabajo a realizar o tipo de ataque contra el fuego (directo, indirecto o mixto) ya que puede implicar una carga mayor o menor a los BBFF.

Aún son pocos los estudios que han analizado las demandas fisiológicas en condiciones reales de IF sobre la capacidad de trabajo de los BBFF y no simulaciones en laboratorio. Nuestro grupo de investigación lleva años investigando en esta línea. Así en 2009, se analizó la intensidad del esfuerzo en 79 IF, concluyendo que los BBFF trabajan en zonas de intensidad moderada, alta y muy alta (Villa-Vicente et al., 2009). En 2010, se estudió la exposición al CO, concluyendo que la exposición es mayor durante el ataque directo y mixto y en incendios de arbustos (Carballo-Leyenda et al., 2010). En 2011, se registraron la FC y la temperatura central en 152 IF, concluyendo que el tipo de ataque realizado influye en la tensión fisiológica (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a). En 2012, se utilizó el concepto TRIMP (volumen \times intensidad) para clasificar la carga de trabajo en moderada, alta y muy alta intensidad de esfuerzo, describiendo una tendencia a la disminución del porcentaje de trabajo en la zona de alta intensidad a medida que la duración del incendio es mayor. Finalmente, en 2019, midieron durante 38 IF la exposición térmica ambiental o exposición al flujo de calor que los BBFF deben soportar durante situaciones reales de IF y el riesgo de lesiones por quemaduras, concluyendo que el flujo de calor puede alcanzar intensidades peligrosas, pero que la carga térmica disminuye debido a la duración del incendio.

Otro de los grupos de investigación que lleva años centrado, entre otros temas, en el análisis de las demandas de incendios reales, es el de la Universidad de Montana (Montana Center for Work Physiology and Exercise Metabolism, University of Montana, Missoula, MT). En 2002 utilizaron la metodología del agua doblemente marcada para la medición del gasto total de energía (Ruby et al., 2002) durante 5 IF (n= 17; hombres 8, mujeres 9) en el que se concluye que el trabajo de extinción de incendios equivale a un gasto energético aproximado de 2.5-3 veces la tasa metabólica basal. Continuaron estudiando los recambios del agua y la composición corporales durante 5 días de trabajo extenuante en IF (n= 14 grupo experimental; n= 13 grupo control) (Ruby et al., 2003b). En 2008, Cuddy et al, analizaron los efectos de una bebida electrolítica durante la extinción de IF (n= 16; hombres 12, mujeres 4), tomando datos de temperatura central y superficial, movimiento o trabajo con acelerometría, densidad de orina y peso corporal. En 2011 se llevó a cabo el estudio de los niveles de glucógeno durante un turno de trabajo (n=11) en el que se tomaron datos de patrones de actividad, biopsia muscular, FC e ingesta de alimentos pre y post turno de trabajo establece una reducción significativa de los niveles de glucógeno muscular tras el turno (Cuddy et al., 2011). Tanto en 2015 (Cuddy et al., 2015), como en 2018 (Sol et al., 2018) analizaron las demandas metabólicas y laborales durante la extinción de IF.

De todos los estudios solo podemos observar que en dos de ellos se tienen en cuenta las diferencias de sexo de este tipo de personal (Ruby et al., 2002; Sol et al., 2018), sin ser el objetivo principal del mismo. Se establece que los BBFF masculinos, frente al femenino tienen una tasa mayor de gasto total de energía absoluto durante la extinción, sin diferencias significativas, y mayor gasto total al compararlo con la tasa metabólica basal. Diferencias que se tornan significativas al compararlo con la actividad física realizada (Ruby et al., 2002). Por otro lado, Sol et al, (2018) con una muestra de 131 BBFF durante 1138 horas de incendio y 31 IF evaluados, tomaron datos de FC, temperatura central, movimiento y velocidad de desplazamiento con GPS, y la tasa metabólica para estimar consumo de O₂. En este estudio se analizan las demandas en 4 momentos diferentes (aproximación al incendio, caminatas durante el incendio, salidas o extracciones, y entrenamiento en base). Se observa que los mayores esfuerzos se dan durante el inicio o aproximación al incendio, sin diferencias entre sexos en la velocidad y temperatura central, siendo la intensidad del esfuerzo del ~66% de la FC_{max} y ~46% del VO_{2max} estimado independientemente del sexo.

Por todo ello, el objetivo de este estudio fue analizar la influencia que tiene el sexo de los BBFF en el esfuerzo realizado durante la extinción de IF.

3.2.2 METODOLOGÍA

3.2.2.1 Sujetos

Un total de 81 BBFF españoles (19 mujeres y 62 hombres) participaron voluntariamente en este estudio. Fueron reclutados de diferentes equipos de las Brigadas de Refuerzo contra Incendios Forestales, ubicados en diversas áreas de trabajo en España. Todos ellos aprobaron con éxito una prueba de selección específica (Pack Test) impuesta por la autoridad competente al comienzo de cada temporada de IF, por lo que se consideró que su estado físico era adecuado para realizar su trabajo. Además, durante la temporada se entrenaron regularmente 4 días a la semana como parte de su preparación. La experiencia de los sujetos como BBFF fue de 2.1 ± 2.4 años. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los sujetos antes de comenzar el estudio. El protocolo fue aprobado por el Comité de ética local y se ajustó a los principios identificados en la Declaración de Helsinki.

3.2.2.2 Diseño experimental

El estudio se llevó a cabo durante tres temporadas consecutivas de IF (es decir, de junio a octubre). Al comienzo de cada temporada, los BBFF realizaron una prueba de ejercicio graduado para determinar la FC en la que ocurrieron su umbral ventilatorio (VT) y de compensación respiratoria (RCT). Esto permitió, posteriormente durante la temporada, monitorear individualmente la intensidad del ejercicio y la carga fisiológica de los BBFF durante la supresión de IF en función de la FC, además de establecer cinco zonas de intensidad atendiendo al porcentaje de la Frecuencia Cardíaca máxima conseguida durante la prueba de ejercicio graduado.

3.2.2.3 Pruebas de laboratorio

La prueba se realizó en una cinta de correr (hp cosmos pulsar, hp cosmos sports & medical GMBH, Nussdorf-Traunstein, Alemania) y fue precedida por un calentamiento de 10 minutos a una intensidad seleccionada por el propio sujeto. Los sujetos realizaron la prueba vistiendo ropa deportiva. La velocidad inicial fue de $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y se aumentó $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada minuto hasta el agotamiento voluntario. La velocidad máxima se determinó como la velocidad más alta mantenida durante una etapa completa más la velocidad interpolada de las etapas incompletas (Kuipers et al., 1985). Se analizaron continuamente el electrocardiograma y el intercambio gaseoso respiratorio

(Medisoft ErgoCard CPX Professional, Medisoft Group, Sorinnes, Bélgica) durante el ejercicio. El VO_{2max} se obtuvo como el valor más alto de VO_2 durante los últimos 30 s de la prueba de ejercicio. Los umbrales ventilatorios se identificaron según los siguientes criterios (Davis, 1985): aumento tanto en $VE \cdot VO_2^{-1}$ como en PET_{O_2} sin un aumento concomitante en $VE \cdot VCO_2^{-1}$ para el VT, y un aumento tanto en $VE \cdot VO_2^{-1}$ como en $VE \cdot VCO_2^{-1}$ y una disminución en PET_{CO_2} para el RCT.

3.2.2.4 Extinción de incendios forestales

Se estudió la influencia del sexo en las demandas fisiológicas de los BBFF en 42 IF. En estos incendios participaron equipos que incluían al menos una mujer, lo que permitió comparar el esfuerzo de las BBFF con el de sus compañeros masculinos. Los IF se clasificaron según el tipo de ataque realizado por los BBFF (es decir, ataque directo, ataque indirecto y ataque mixto) y su duración (es decir, <1, 1-3, 3-5 y >5 h). Previamente, se ha informado sobre la influencia de estas variables en el esfuerzo de los BBFF (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a, 2012a), por lo que su análisis nos permitió determinar su efecto de interacción con el sexo en las demandas de ejercicio. Se consideraron ataques directos e indirectos cuando los BBFF trabajaron cerca (<5 m) de las llamas o lejos (>100 m) de las llamas, respectivamente (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a).

Durante la extinción de IF, todos los BBFF usan el mismo equipo de protección personal (~6 kg), que incluye un mono ignífugo (65% viscosa, 30% nomex y 5% kevlar), casco, gafas, guantes, protector facial, botas de cuero hasta la pantorrilla, camiseta y calzoncillos de algodón al 100%, y mochila (~3 kg, principalmente con agua y comida). La intensidad del ejercicio y la carga fisiológica (*Training Load* o TL) se analizaron en función de la FC, que se registraba cada 5 s (Polar Team Pro, Polar Team, Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia). Se establecieron tres zonas de intensidad según los valores de FC de referencia del laboratorio correspondientes a VT y RCT (Rodríguez-Marroyo, et al., 2011a, 2012a): zona 1, por debajo del VT (zona de baja intensidad); zona 2, entre el VT y el RCT (zona de intensidad moderada); y zona 3, por encima del RCT (zona de alta intensidad). Además, estas zonas se utilizaron para determinar la TL multiplicando el tiempo invertido en las zonas 1, 2 y 3 por las constantes 1, 2 y 3, respectivamente. El puntaje total se obtuvo sumando los resultados de las tres zonas (Foster, et al., 2001; Rodríguez-Marroyo, et al., 2011a, 2012a). Adicionalmente, la temperatura ambiental se registró utilizando un registrador de temperatura del aire (Termoregister TR-51A, T and Do., Nagano, Japón), que se colocaba

en el líder del equipo. Este estaba a cargo de estimar la altura de las llamas cuando se realizaba el ataque directo. Finalmente, se obtuvo la percepción subjetiva del esfuerzo de la sesión (sRPE) (Foster et al., 2001) cuando los BBFF llegaban a sus bases.

3.2.2.5 Análisis estadísticos

Los resultados se expresan como media \pm SD. Se verificó la suposición de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Cuando se encontró una distribución no normal, los datos se transformaron logarítmicamente para el análisis. La intensidad del ejercicio y la carga fisiológica se compararon mediante una prueba ANOVA de tres vías (sexo [mujer y hombre] \times método de ataque [ataque directo, ataque indirecto y ataque mixto] \times duración del incendio forestal [<1 , 1-3, 3-5 y >5 h]). Cuando se analizó un valor F significativo se aplicó la prueba de Bonferroni para establecer las diferencias entre medias. Se aplicó una prueba t de Student para muestras independientes para establecer las diferencias entre las características antropométricas y fisiológicas de los BBFF. Se consideraron estadísticamente significativos los valores de $p < 0.05$. Se utilizó el software estadístico SPSS+ V.24.0 (Chicago, Illinois, EE.UU.) para el análisis de datos.

3.2.3 RESULTADOS

3.2.3.1 Características de los sujetos

La Tabla 16 muestra las características antropométricas y fisiológicas de los BBFF. Los BBFF masculinos tenían una masa corporal y altura más alta ($p < 0.01$) que sus contrapartes femeninas. Por otro lado, se observó que las BBFF femeninas tenían una mayor masa grasa ($p < 0.001$). El VO_{2max} , la velocidad máxima y la velocidad en el VT fueron aproximadamente un 38%, un 16% y un 21% mayores ($p < 0.01$) en los hombres. Sin embargo, el VT se produjo a un porcentaje más alto ($p < 0.05$) del VO_{2max} en las mujeres.

3.2.3.2 Características de los incendios forestales

Las asignaciones estudiadas tuvieron una duración de 236.3 ± 175.1 minutos, con un rango de 35 a 671 minutos. En general, los BBFF realizaron el 39.9 \pm 38.2%, el 45.9 \pm 39.6% y el 14.1 \pm 24.0% del tiempo de extinción como ataque directo, indirecto y mixto, respectivamente. La altura estimada promedio de las llamas durante el ataque directo fue de 1.3 ± 0.6 metros, alcanzando valores máximos y mínimos de 0.5 y 3.0 metros,

respectivamente. Finalmente, la temperatura ambiente promedio durante los IF fue de 30.0 ± 4.9 °C. Se analizaron temperaturas máximas y mínimas de 41.0 ± 12.7 y 24.0 ± 3.7 °C, respectivamente.

Tabla 16. Características antropométricas y fisiológicas de los bomberos forestales.

	Mujeres	Hombres
Edad (años)	27.9 ± 5.8	25.3 ± 3.1
Masa corporal (kg)	57.4 ± 3.9	73.1 ± 11.5**
Altura (cm)	162.3 ± 4.9	176.9 ± 7.0**
IMC (kg·m⁻²)	21.9 ± 1.9	23.2 ± 1.7
Masa grasa (%)	25.5 ± 4.7	12.4 ± 2.6***
VO_{2max} (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	40.4 ± 3.5	55.6 ± 5.5***
Velocidad máxima (km·h⁻¹)	14.0 ± 0.6	18.3 ± 1.0***
FC máxima (ppm)	185 ± 7	187 ± 9
VO₂RCT (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	33.9 ± 4.3	43.7 ± 6.0**
% VO_{2max} RCT	83.8 ± 6.5	78.9 ± 9.4
Velocidad RCT (km·h⁻¹)	11.9 ± 0.9	14.4 ± 1.4**
FC RCT (ppm)	171 ± 8	167 ± 10
VO₂ VT (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	27.4 ± 4.6	31.6 ± 5.6
% VO_{2max} VT	68.1 ± 10.2	56.6 ± 7.5*
Velocidad VT (km·h⁻¹)	9.0 ± 0.6	9.7 ± 1.7
FC VT (ppm)	141 ± 8	132 ± 10

Valores expresados como media ± SD. VO_{2max}, consumo máximo de oxígeno; IMC, índice de masa corporal; FC, frecuencia cardíaca; VT, umbral ventilatorio; RCT, umbral de compensación respiratoria; %VO_{2max}, porcentaje de VO_{2max} en el que ocurren VT y RCT. *, p<0.05. **, p<0.01. ***, p<0.001.

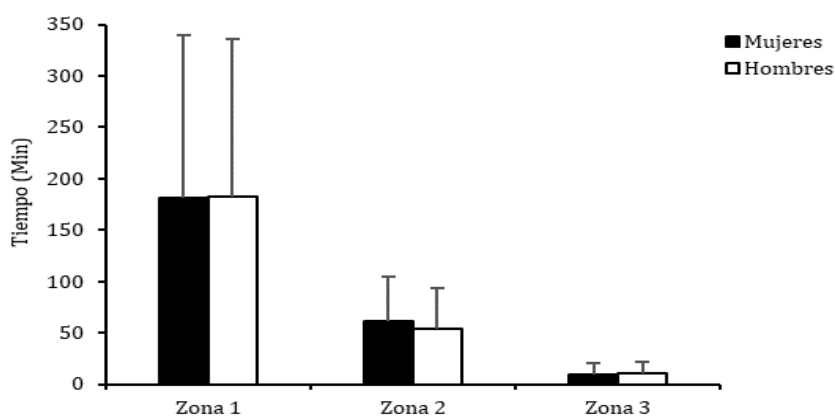
3.2.3.3 Diferencias de sexo en las demandas fisiológicas de los bomberos forestales

No se encontró un efecto principal significativo (p>0.05) del sexo en ninguna de las variables dependientes analizadas (Tabla 17). De manera similar, no hubo un efecto significativo (p>0.05) de la interacción sexo × método de ataque, sexo × duración del incendio forestal, ni sexo × método de ataque × duración del incendio forestal en las demandas de ejercicio (Tabla 17). Además, el tiempo y el porcentaje del tiempo en las distintas zonas de intensidad fue similar entre ambos sexos (Figuras 7 y 8).

Tabla 17. Intensidad del ejercicio y carga de trabajo según el sexo de los bomberos, la duración de los incendios y las tácticas de extinción.

		sRPE	FC media (ppm)	TL _{FC} (UA)	TL _{FC} ·h ⁻¹ (UA)
Sexo	Mujer	5.6 ± 2.2	128 ± 16	431.9 ± 287.3	130.1 ± 51.1
	Hombre	5.1 ± 1.0	125 ± 13	414.3 ± 270.2	122.6 ± 42.7
Duración de Incendio	<1 h	3.5 ± 2.1&*‡	140 ± 14&*‡	101.6 ± 24.8&*‡	160.0 ± 40.0*‡
	1-3 h	4.8 ± 1.4‡	130 ± 14‡	277.2 ± 137.6‡	138.5 ± 41.5*‡
	3-5 h	4.7 ± 1.8‡	121 ± 15‡	416.5 ± 202.6‡	118.6 ± 59.2
	>5 h	6.9 ± 1.6	119 ± 9	691.4 ± 199.5	94.9 ± 31.8
Táctica de extinción	Directo	3.8 ± 1.5	134 ± 14	295.2 ± 212.5	146.2 ± 43.0
	Indirecto	6.1 ± 1.9†	118 ± 16†	482.2 ± 333†	109.5 ± 54.4†
	Mixto	6.4 ± 1.8†	123 ± 11†	534.3 ± 228.7†	105.6 ± 37.4†

Valores expresados como media ± SD. sRPE, percepción de esfuerzo; FC, frecuencia cardíaca; TL_{FC}, carga fisiológica utilizando la frecuencia cardíaca; TL_{FC}·h⁻¹, carga fisiológica relativizada a 1 h de trabajo; UA, unidades arbitrarias. †, diferencias significativas (p<0.05) con el ataque directo. &, diferencias significativas (p<0.05) con incendios de 1-3 h. *, diferencias significativas (p<0.05) con incendios de 3-5 h. ‡, diferencias significativas (p<0.05) con incendios >5h.

**Figura 7.** Distribución de la intensidad del esfuerzo (tiempo) en incendios forestales según el sexo de los bomberos forestales.

Los valores son promedios ± SD. Zona 1, intensidad del ejercicio por debajo del umbral ventilatorio (VT); Zona 2, intensidad del ejercicio entre VT y el umbral de compensación respiratoria (RCT); Zona 3, intensidad del ejercicio por encima de RCT.

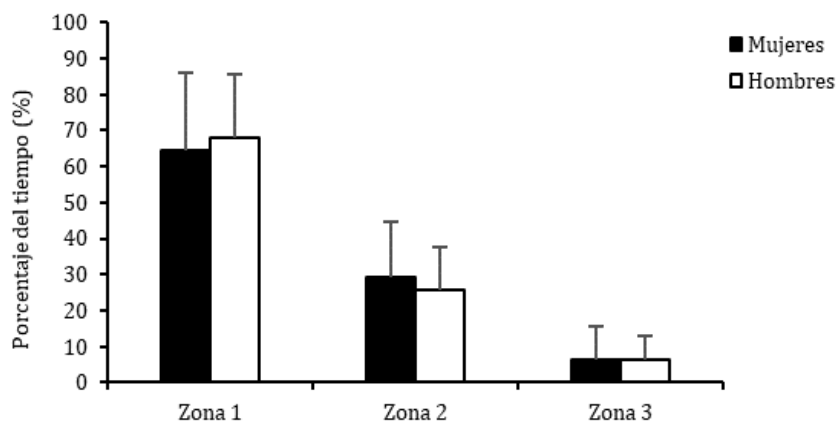


Figura 8. Distribución de la intensidad del esfuerzo (porcentaje del tiempo total) en incendios forestales según el sexo de los bomberos forestales.

Los valores son promedios \pm SD. Zona 1, intensidad del ejercicio por debajo del umbral ventilatorio (VT); Zona 2, intensidad del ejercicio entre VT y el umbral de compensación respiratoria (RCT); Zona 3, intensidad del ejercicio por encima de RCT.

3.2.3.4 Duración del incendio y táctica utilizada

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en FC media, la cual tiende a ser menor a medida que el IF aumenta en duración (Tabla 17). Del mismo modo se encontraron diferencias significativas en la FC media al comparar ataque directo (134 ± 14 ppm) con ataque indirecto y mixto (118 ± 16 , 123 ± 11 ppm). La percepción de los bomberos (RPE) se ve influenciada por la duración del incendio (Tabla 17) ya que los mayores valores aparecen en duraciones mayores de 5 h (6.9 ± 1.6), con diferencias significativas en incendios < 1 h (3.5 ± 2.1 UA), 1-3 h (4.8 ± 1.4), y 3-5 h (4.7 ± 1.8). Un comportamiento similar ocurre en función de la táctica utilizada (Tabla 17) ya que los valores inferiores en ataque directo (3.8 ± 1.5) son significativamente diferentes a los incendios donde se utilizó el ataque indirecto y mixto (6.1 ± 1.9 y 6.4 ± 1.8 , respectivamente).

Las puntuaciones de carga de trabajo tienden a ser mayores a medida que los incendios aumentan en duración. La táctica utilizada de extinción tiene un comportamiento similar a la duración del incendio, donde los mayores valores se observan en ataque mixto con diferencias significativas ($p < 0.05$) con ataque directo e indirecto. Sin embargo, la carga relativizada a la h de trabajo tiene una relación inversa ya que los mayores valores ($p < 0.05$) se observan en los IF más cortos (160.0 ± 40.3 , 138.5 ± 41.5 , 118.6 ± 59.2 y 94.9 ± 31.8 UA, en IF < 1 , 1-3, 3-5 y > 5 h, respectivamente).

3.2.4 DISCUSIÓN

Hasta donde sabemos es el primer artículo que muestra comparaciones del esfuerzo en función del sexo de los BBFF. Además, se muestran datos sobre el esfuerzo percibido, cardiovascular y la carga de trabajo que recae sobre los BBFF durante la extinción de IF reales. Los datos están basados en la sRPE y la FC con relación a tres variables: sexo, duración del esfuerzo (<1, 1-3 y >3 h) y el tipo de táctica utilizada de extinción (ataque directo, indirecto, mixto).

En la Tabla 16 se pueden observar diferencias sexuales en variables físicas y fisiológicas que concuerdan con lo establecido por la literatura en relación con el tamaño, peso, porcentaje de grasa, consumo de oxígeno y umbrales ventilatorios (Roberts et al., 2016; Epstein et al., 2013). Pese a estas diferencias físicas y fisiológicas observadas, no se aprecian diferencias entre sexos en ninguna de las variables de estudio (Tabla 17), lo que nos indica que hombres y mujeres realizan el mismo esfuerzo fisiológico durante la extinción de un incendio forestal, y perciben el trabajo con la misma intensidad. En un estudio realizado con 131 BBFF (116 hombres, 15 mujeres), donde analizaron las caminatas en entrenamiento y en incendios reales, se establece que, a pesar del gran gasto de energía de los BBFF en incendios, la frecuencia cardiaca promedió el ~66% del máximo predicho independientemente del sexo (Sol et al., 2018). Estos datos se deben extraer con cautela puesto que no se observan datos de rendimiento, y no sabemos que trabajo desarrolló cada sujeto durante los incendios analizados, ni la herramienta que portaba. En líneas generales durante la extinción de los incendios analizados se utilizaron herramientas pesadas tipo mochila extintora (20-22 kg), herramientas ligeras tipo batefuegos y herramientas de raspado (mcleod, azada o pulaski). Estas últimas dependiendo del tipo de táctica utilizada, ataque directo, ataque indirecto, o ataque mixto (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a), se emplearán con mayor o menor intensidad de esfuerzo. Así mismo se ha reportado el esfuerzo en términos perceptivos y fisiológicos del trabajo con herramientas en IF, comprobando que, dependiendo de la herramienta, la carga fisiológica será diferente (Gumieniak et al., 2018b). Observamos como el uso del pulaski conlleva valores de $28 \pm 5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, $152 \pm 15 \text{ ppm}$, y una puntuación de 5 ± 1 en de RPE, mientras que el transporte de cargas pesadas a la espalda, como la mochila extintora $37 \pm 6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, $170 \pm 15 \text{ ppm}$, y 7 ± 1 , respectivamente (Gumieniak et al., 2018).

Con esto queremos remarcar que, en el presente estudio, siendo el mismo esfuerzo cardiovascular y perceptivo entre hombres y mujeres nos ha sido imposible evaluar el rendimiento puesto que no teníamos mediciones de la herramienta y trabajo desarrollado, ni tiempos de utilización de estas. En este sentido en Phillips et al, (2019), compararon el esfuerzo entre un grupo de hombres y mujeres, en una prueba que simulaba en laboratorio el transporte de cargas realizado en IF, donde los sujetos portaban una mochila de 20.4 kg sobre un tapiz rodante a $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ con un 2% de pendiente y cada 2 minutos aumentaba un 2% la pendiente hasta fatiga volitiva. Se observó que al comparar mismas variables al $\sim 70\%$ del $\text{VO}_{2\text{pico}}$, intensidad que los trabajadores seleccionan para completar una tarea prolongada (Phillips et al., 2016), las mujeres a pesar de una menor captación de oxígeno y ventilación por minuto informaron de las mismas percepciones de esfuerzo que los hombres, lo que sugiere que a un ritmo más lento que los hombres, las mujeres calificarían las mismas percepciones de esfuerzo. Así mismo, las mujeres desarrollaban un $\sim 7\%$ menos de rendimiento medio en el tiempo de prueba. Respecto al personal militar se ha observado que la mujer desarrolla un $\sim 21\%$ menos de rendimiento en una prueba en la que portando la misma carga hombres y mujeres debían recorrer a la máxima velocidad 10 km de marcha (Epstein et al., 2013). Al comparar nuestros datos con el ciclismo, una actividad deportiva considerada similar en esfuerzo a la extinción de IF (Rodríguez-Marroyo et al., 2011b), nos encontramos como tras el análisis de varios años de carreras de uno o varios días existen diferencias en el porcentaje de tiempo empleado en diferentes zonas de FC entre hombres y mujeres, especialmente relevante en zonas de alta intensidad, ya que el tiempo pasado en zona 4 y zona 5 fue mucho mayor en las carreras de mujeres respecto a hombres ($42 \pm 11\%$, y $21 \pm 16\%$, $24 \pm 12\%$, y $6 \pm 6\%$ mujeres y hombres respectivamente) (Sanders et al., 2019). Esto datos difieren a los del presente artículo donde el porcentaje del tiempo en las distintas zonas de intensidad era el mismo independientemente del sexo, posiblemente debido a que la comparativa entre carreras se refieren a carreras distintas en cuanto a distancia (las carreras de mujeres más cortas en km totales que las de los hombres), y en la extinción de IF la distancia y el tiempo total de trabajo es el mismo entre sexos. Respecto a la percepción del esfuerzo no se observan diferencias entre sexos en nuestro estudio, pero cabe destacar que el comportamiento fue similar en el estudio de Sanders a pesar de las diferencias sustanciales en la intensidad del esfuerzo. Respecto a la carga de trabajo no se observaron diferencias entre sexos en el cálculo de la carga a través de la FC, ni de

valores absolutos (tiempo total) ni relativos (por hora de trabajo) por el contrario en Sanders et al, (2019) se observaron cargas absolutas mayores en las carreras masculinas, mientras que la carga relativa, expresada por kilómetro, fue muy superior en las mujeres.

Observamos que a medida que el incendio aumenta en duración la FC media disminuye. El incremento de la cantidad de trabajo que los BBFF deben realizar en incendios de mayor duración podría conllevar una mayor fatiga muscular, limitando la capacidad de trabajar a mayores intensidades. Del mismo modo ocurre en función de la táctica utilizada donde los menores datos de FC media se observan en los incendios en los que se utilizaba el ataque indirecto (118 ± 16 ppm), y mixto (123 ± 11 ppm), los cuales se caracterizan por una duración del esfuerzo mayor, y donde la tarea se deberá mantener por más tiempo. Los mayores valores de FC media se observan durante la realización de ataque directo (134 ± 14 ppm), caracterizado por esfuerzos de mayor intensidad ya que los trabajadores deberán realizar movimientos explosivos con las distintas herramientas mientras se acercan peligrosamente a las llamas, todo lo cual requiere mayores tasas de trabajo (Brotherhood et al., 1997) y es utilizado en momentos iniciales (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a) o en incendios de menor duración (Rodríguez-Marroyo et al., 2012a). Se ha señalado que el uso de la FC media puede infravalorar el esfuerzo realizado por los BBFF en incendios de corta duración o en incendios donde se realizó ataque directo, puesto que las características propias del esfuerzo se tornan más intensas, pero son desarrolladas de una manera intermitente, por lo que las micro pausas entre esfuerzos tienden a reducir el valor de FC media (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a).

La percepción del esfuerzo es mayor conforme el incendio aumenta en duración (Tabla 17). A medida que el incendio avanza en duración los bomberos deben mantenerse más tiempo en intensidades fisiológicas y perceptivas mayores. Así mismo en incendios donde se utilizó la táctica de ataque indirecto y mixto se observan mayores valores perceptivos (Tabla 17), posiblemente influenciado por el mayor tiempo de esfuerzo al compararlo con ataque directo. En general, los incendios de mayor duración se caracterizan por llamas más intensas, y condiciones orográficas más demandantes, lo que obliga a los BBFF a trabajar a una mayor distancia de las llamas (ataque indirecto) y a necesitar mayor tiempo en la extinción de este (Budd et al., 1997). Portar el equipo de protección individual y la herramienta asignada, unido a la fatiga del trabajo prolongado podría influir

en una percepción del esfuerzo mayor. En este sentido, en carreras de ciclismo se ha evidenciado la diferencia perceptiva en el esfuerzo en función de la duración de las carreras (Rodríguez-Marroyo et al., 2012b) (5.0 ± 0.3 y 5.9 ± 0.1 en carreras de 7 días y carreras de 21 días, respectivamente) y su tipología (Rodríguez-Marroyo et al., 2013) (4.6 ± 0.2 en etapas llanas y 7.3 ± 0.2 etapas de alta montaña), lo que indica que no solo la fatiga acumulada sino que el tipo de estrategia utilizada, la cual viene determinada por las características del terreno, influirán en la percepción de los sujetos.

Al observar los valores absolutos de carga de trabajo calculados a partir de la FC, se observa que a mayor duración del incendio la carga va en aumento (101.6 ± 24.8 y 691.4 ± 199.5 UA, en incendios <1 y >5 h, respectivamente). Debido a la mayor influencia de la duración frente la intensidad del ejercicio en el cálculo de las puntuaciones de TL se ha propuesto el análisis relativo ($TL_{FC} \cdot h^{-1}$) para comparar la carga en actividades de diferente duración (Rodríguez-Marroyo et al., 2011b). En este sentido las puntuaciones relativas a la hora de esfuerzo tienen un comportamiento inverso a la carga absoluta TL_{FC} , donde las mayores puntuaciones se observan en incendios de menor duración (160 ± 40 y 94.9 ± 31.8 UA en incendios <1 y >5 h, respectivamente). Lo cual indica que el ritmo de trabajo seleccionado por los BBFF en los IF de menor duración es mayor en un intento de atajar los incendios en menor tiempo. Este mismo comportamiento inverso se encontró en función de la táctica utilizada y en otros estudios donde se comparó la carga de trabajo absoluta y relativa, pero en este caso calculada a partir de tres zonas de intensidad de la FC, en relación con la duración (Rodríguez-Marroyo et al., 2012), y a la táctica utilizada en la extinción (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a). El valor de carga relativo a la hora de trabajo podría ser un valor más objetivo al tener en cuenta la intensidad del esfuerzo de los bomberos puesto que como ya se ha comentado el esfuerzo a nivel fisiológico medido a partir del porcentaje del tiempo en zonas de alta intensidad es significativamente mayor en incendios más cortos y donde se utilizó el ataque directo como táctica de extinción.

En general parece ser que la mujer, independientemente del trabajo realizado, es capaz de emplearse con las mismas garantías que los hombres en empleos físicamente exigentes como es el caso de los BBFF (Epstein et al., 2013; Roberts et al., 2016), ya que el trabajo en cuestión no solo valora el trabajo realizado por una persona, sino que tiene en cuenta el trabajo del equipo. Si bien es verdad que existen diferencias de sexo que pudieran comprometer en niveles de seguridad en este tipo de empleos, en el

personal militar se ha propuesta la inclusión de programas de entrenamiento específicamente diseñados para la mujer militar con el fin de mejorar sus capacidades físicas, y poder desarrollar su trabajo en condiciones de seguridad y salud (Allison et al., 2015; Kelly et al., 2016; Nindl et al., 2017). Asimismo, la superación de pruebas que analicen las demandas reales de los IF y su implicación real a nivel fisiológico podrá establecerse como requisitos de acceso objetivos independientemente del sexo de los sujetos (Roberts et al., 2016).

3.3 ESTUDIO 3. DIFERENCIAS DE SEXO EN LA CONDICIÓN FÍSICA GENÉRICA Y ESPECÍFICA DE LOS BOMBEROS FORESTALES



Bomberos Forestales y miembros del Grupo de Investigación VALFIS, durante la recogida de datos del presente estudio.

3.3.1 INTRODUCCIÓN

El trabajo realizado por los BBFF, está incluido dentro de las llamadas “profesiones físicas”, ya que los trabajadores deben emplearse al máximo en condiciones cambiantes y bajo la incertidumbre que provoca la emergencia (Roberts et al., 2016). Se trata de ocupaciones laborales cuya naturaleza y requisitos físico-fisiológicos son tales que estos trabajadores no pueden realizarlas de manera adecuada sin exponerse a factores de riesgo no evitables, tanto a corto como a largo plazo (Plat et al., 2011). El trabajo de los BBFF se constata como eminentemente físico y muy exigente (Rodríguez-Marroyo et al., 2012a), en la que las condiciones ambientales (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a), junto con las condiciones psicológicas (García-Heras et al., 2021), conllevan a los BBFF a una carga física elevada (Carballo-Leyenda et al., 2021; Parker et al., 2017). Actualmente en la Península Ibérica y en concreto en la zona Noroeste su labor se centra en la realización de ataque directo contra las llamas con utilización de herramientas manuales tipo mochila extintora y batefuegos, realización de ataque indirecto y perimetración con herramientas principalmente de raspado tipo azada, Mcleod o gorgui, y ataque mixto, donde se realiza un ataque a las llamas combinada entre ataque directo e indirecto (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a, 2012a).

Hasta hace unos 40 años se consideraba que la mujer era físicamente incapaz de realizar este tipo de empleos, debido a aspectos culturales y normativos, afortunadamente hoy en día esta situación se está revirtiendo y las mujeres tienen igual acceso a casi todos los tipos de ocupaciones laborales (Roberts et al., 2016). Actualmente el % de mujeres que trabajan como BBFF ronda el ~3% en España y llega al ~10% en EE.UU. (García-Heras et al., 2022; Sol et al., 2018). Para el acceso a las profesiones físicamente exigentes se aplican pruebas de selección o acceso (PA), las cuales han ayudado a garantizar que los trabajadores tengan los atributos físicos necesarios para completar sus trabajos de una manera segura y eficiente (Roberts et al., 2016). Sin embargo, se ha reportado que las PA son difíciles de justificar y ajustar, ya que existe cierto grado de incertidumbre en torno a cada puntuación de corte (Petersen et al., 2016). Especial atención se debe prestar a las diferencias de sexo, dado que tradicionalmente se han establecido umbrales de puntuación más bajos para las mujeres. Esta práctica parece haberse fundamentado en una evaluación general de la condición física promedio de la población femenina, sin tener

en cuenta los requisitos específicos de las ocupaciones que se miden de manera objetiva (Roberts et al., 2016).

Tanto los valores antropométricos (peso y altura), como la capacidad de fuerza y la capacidad aeróbica (VO_{2max}) se establecen como los principales componentes del desempeño laboral en profesiones tipo BBFF (Petersen et al., 2016; Roberts et al., 2016; Taylor et al., 2016). Se ha descrito que los hombres son un ~8% más altos, pesan alrededor de un ~26% más, tienen un ~10% menos de grasa corporal y alrededor de ~30-40% de mayor masa muscular (Wilmore et al., 2008). Estudios realizados con militares reportan valores de fuerza máxima en promedio un ~40% menores en mujeres (Epstein et al., 2013; Tunde et al., 2015). Las diferencias en la fuerza máxima llegan al ~60% en el tren superior y al ~40% en el tren inferior, mientras que al relativizarlas a la masa muscular disminuyen al ~40 y ~25% respectivamente (Wilmore et al., 2008). Además, varios estudios han señalado que las mujeres tienen entre un ~15 y un ~30 % menos de VO_{2max} que los hombres (en términos absolutos $L \cdot min^{-1}$) y un ~10% menos en valores relativos ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) (Roberts et al., 2016; Robinson et al., 2018). En términos laborales, se ha registrado como la condición física menor en las mujeres bombero puede hacer mella en su rendimiento y en su día a día laboral (Watkins et al., 2019), informándose reducciones del ~7% del rendimiento en mujeres en pruebas de laboratorio portando mochila de 20.4kg (Phillips et al., 2016). Por otro lado, durante una prueba de extinción de incendios y rescate simulada, en la que se emparejaron hombres y mujeres con condición física similar, los resultados sugieren que el sexo no tiene ningún efecto sobre la variabilidad en el rendimiento (Boyd et al., 2015).

Por todo ello, el objetivo de este estudio fue comparar los valores de condición física genérica y específica entre hombres y mujeres BBFF.

3.3.2 METODOLOGÍA

3.3.2.1 Procedimiento

En el presente estudio participaron 15 sujetos (siete mujeres y 8 hombres), BBFF profesionales en activo de la extinción de IF en el noroeste de la península Ibérica (Tabla 18). Tras la explicación de las características del estudio a 27 BBFF, sólo 15 de ellos firmaron un consentimiento informado por escrito, a través del cual se comprometían a participar voluntariamente. Durante dos semanas, los sujetos realizaron dos sesiones de prueba en días

separados, con al menos 72 h entre ellos. Se pidió a los participantes que se abstuvieran de realizar ejercicio extenuante, exposición excesiva al sol y consumo de alcohol durante 48 h antes de cada sesión experimental. Se pidió a los voluntarios que consumieran ~250 ml de agua 1 h antes de comenzar cada sesión experimental. Para la primera sesión fueron citados en el laboratorio del Grupo de Investigación VALFIS de la Universidad de León, y consistió en la realización de los distintos test genéricos, donde se evaluaron talla, peso, composición corporal, capacidad aeróbica máxima y pruebas de fuerza (*push up test*, test de Sorensen, test de la plancha, CMJ, dinamometría manual). En la segunda sesión, los sujetos fueron citados en un paraje próximo a las instalaciones de la Universidad de León, el cual reunía todos los requerimientos necesarios para llevar a cabo una prueba simulada de rendimiento en extinción de IF. Las pruebas se realizaron a la misma hora del día y en las mismas condiciones ambientales (20.5 ± 2.7 ° C y $60.0 \pm 9.7\%$ de humedad relativa).

Tabla 18. Características antropométricas y fisiológicas de los sujetos.

	Mujeres BBFF	Hombres BBFF
Edad (años)	33.7 ± 7.3	29.4 ± 3.3
Experiencia (años)	11.0 ± 5.3	7.9 ± 4.3
Altura (cm)	162.9 ± 4.9	176.8 ± 6.0
Peso (kg)	57.4 ± 3.9	78.3 ± 16.9
IMC (kg·m⁻²)	22.1 ± 1.8	24.4 ± 4.8
Grasa corporal (%)	25.5 ± 4.7	12.4 ± 7.4
VO_{2max} (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	40.4 ± 3.5	52.1 ± 8.1
FC_{max} (ppm)	185 ± 8	189 ± 9

Valores expresados como media ± SD. VO_{2max}, consumo máximo de oxígeno; FC_{max}, frecuencia cardiaca máxima; IMC, índice de masa corporal; BBFF, bomberos forestales.

Pruebas de valoración de la condición física:

Composición corporal a través de Bioimpedancia Eléctrica (BIA) (Alvero-Cruz et al., 2011). Consistió en pesar a los sujetos al tiempo que una pequeña corriente eléctrica recorre el cuerpo para medir la resistencia que el cuerpo ofrece. Para reducir los posibles errores de la BIA, se recomendó seguir las siguientes directrices: abstenerse comida y bebida en las 4 horas previas al test; evitar realizar actividad física extenuante al menos 12 horas antes; orinar 30 minutos antes del test; abstenerse de ingerir alcohol 48 horas antes; retirar cualquier elemento metálico del cuerpo, ya que podrá interferir en la prueba.

Prueba de ejercicio graduada en una cinta rodante (hp cosmos pulsar, Cosmos Sports & Medical GMBH, Nussdorf-Traunstein, Alemania). La prueba se inició a $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, y la velocidad se incrementó $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 1 min hasta la fatiga volitiva. La pendiente de la cinta se mantuvo al 1% durante toda la prueba. Se registró el intercambio de gases respiratorios mediante un sistema respiración por respiración (Medisoft Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Bélgica) calibrado siguiendo las pautas del fabricante. Portaban un pulsómetro polar RCX-800 para monitorizar la FC, y complementariamente también eran monitorizados a través de un electrocardiógrafo (Medisoft Medcard, Medi-soft Group, Sorinnes, Bélgica). $\text{VO}_{2\text{máx}}$ y FC máxima se registraron como los valores más altos obtenidos durante los últimos 30 s antes del agotamiento. Para considerar válido el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ se debían alcanzar al menos dos de los siguientes criterios (Midgley et al., 2009): meseta del VO_2 ($\leq 150 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$), $\text{RER} \geq 1,15$, la FC máxima fue ± 10 latidos de la FC máxima predicha por la edad (220-edad) y calificación del esfuerzo percibido ($\text{RC } 0\text{-}10$) ≥ 8 . La velocidad máxima se estableció como la mayor velocidad que los sujetos podrían mantener durante una etapa completa, más la velocidad interpolada de etapas incompletas (Kuipers et al., 1985). El umbral ventilatorio (VT) y de compensación respiratoria (RCT) fueron identificados de acuerdo con los siguientes criterios (Brooks, 1985): aumento de ambos equivalentes de ventilación para oxígeno ($\text{VE}\cdot\text{VO}_2^{-1}$) y presión parcial de oxígeno al final de la espiración sin un aumento concomitante en el equivalente de ventilación para el dióxido de carbono ($\text{VE}\cdot\text{VCO}_2^{-1}$) para VT, un aumento en $\text{VE}\cdot\text{VO}_2^{-1}$ y $\text{VE}\cdot\text{VCO}_2^{-1}$ y una disminución en presión parcial al final de la marea de dióxido de carbono para RCT.

Test de la plancha o plank test. Test para evaluar la fuerza resistencia del core. (Juan-Recio et al., 2014; Lovelace, 2012). Los sujetos debían sostener su cuerpo en una posición de “plancha”, apoyando únicamente los dedos de los pies y los antebrazos, los codos deberían estar colocados a la misma anchura que los hombros, con las manos cerradas. Los pies juntos y la cadera ligeramente elevada. Se contabilizó el tiempo total en la posición, y la prueba terminó cuando el sujeto ya no pueda sostenerse en posición correcta.

Dinamometría manual. Prueba utilizada para la medición de la fuerza máxima de agarre (Günther et al., 2008; Sell & Livingston, 2012). Los sujetos de pie, el antebrazo en la posición neutral, el codo flexionado a 90° y metido en el costado del cuerpo. Los brazos permanecen en esta posición mientras el sujeto apretaba el dinamómetro lo más fuerte posible durante 3 s. El

proceso se repitió tres veces con cada mano (incorporando un descanso de 1 minuto entre las pruebas), anotando el mejor valor.

Push up test. Test utilizado normalmente para la medición de la fuerza resistencia de la musculatura del tren superior (Sell & Livingston, 2012). Desde una posición de plancha o tabla, se contabilizó la realización de tantas flexiones de brazo realizaron los sujetos, llegando a contactar con el mentón en el suelo, y manteniendo una postura adecuada durante toda la prueba. Solo se contabilizaron las repeticiones realizadas correctamente.

Test de Sorensen. Prueba utilizada para la evaluación de la fuerza-resistencia de la musculatura extensora del tronco (Beach et al., 2014; McGill et al., 1999). Los sujetos se colocaron sobre una camilla tumbado decúbito prono, alineando las crestas ilíacas con el borde, desde ese punto elevan el tronco hasta una posición neutra. Se contabilizó el tiempo máximo de cada sujeto manteniendo la posición correcta.

Salto con contramovimiento o Counter Mouvement Jump (CMJ). Test validado para la medición de altura y potencia de salto (Balsalobre-Fernández et al., 2015). Se utilizó la *App My Jump 2.0*, los sujetos se colocaron con los brazos en jarra y piernas extendidas, y a la voz de “ya” realizaron una sentadilla con salto. Se contabilizó la media de tres saltos.

3.3.2.2 Prueba de extinción de incendios forestales simulada

Tras identificar las tareas físicamente exigentes del trabajo de los BBFF (cuestas portando material pesado, utilización de herramienta de extinción de incendios y utilización de herramientas de liquidación y remate de incendios) (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a) el tipo de esfuerzo, y el tiempo de trabajo medio en IF, se adaptó el circuito creado por Larsen y colaboradores (Larsen et al., 2015), a los requerimientos propios de los profesionales en la presente zona. Circuito de tres tareas distintas repartidas en dos bloques o *bout* con seis estadios de 300 segundos de trabajo y 90 segundos de recuperación (Tabla 19), con una duración total de 39 minutos (19.30 minutos por bloque de trabajo).

A los participantes durante la realización del circuito se les registró FC, y al finalizar cada ciclo la RPE y lactato. Realizando el circuito todos los sujetos podían beber agua *ad libitum*. Para cada sujeto de análisis fue necesario un evaluador, y otras dos personas de apoyo. Tanto participantes como evaluadores fueron familiarizados en el manejo de las herramientas del

circuito y en el manejo de los distintas pruebas, planillas y escalas necesarias para la toma de datos, ya que su complejidad así lo exigía. Los sujetos portaban su Equipo de Protección Individual, del mismo modo que si de una intervención real se tratase, y debían realizar el circuito al máximo ritmo que pudieran mantener, para así establecer unos ritmos de trabajo, o de rendimiento. Al terminar cada ciclo tenían 90 s de descanso, durante el cual se anotaban datos fisiológicos y podían beber agua ad libitum.

Tabla 19. Prueba específica de rendimiento simulado.

CICLOS	BLOQUE o BOUT 1	Duración	BLOQUE o BOUT 2
1	Cuestas 1	300 s	Cuestas 2
	Descanso 1	90 s	Descanso 4
2	Golpeo con batefuegos 1	300 s	Golpeo con batefuegos 2
	Descanso 2	90 s	Descanso 5
3	Manejo de azada 1	300 s	Manejo de azada 2
	Descanso 3	90 s	Descanso 6
Duración total 39 min (19 min 30 s por bloque).			

Estadio 1. Cuestas: cada sujeto portaba una mochila con 20.4 kg de peso. Fueron colocados en la línea de salida, y a la voz de “ya” de su evaluador, completaron el número máximo de subidas y bajadas a una distancia marcada de 30 metros de una pista forestal con el ~6% de desnivel. Cada 10 metros se colocaron unas marcas y así el evaluador anotó los metros alcanzados por minuto en el ciclo. Los sujetos debían ir andando al máximo ritmo posible, no permitiendo la posibilidad de correr.

Estadio 2. Golpeo con batefuegos: cada bombero portaba un batefuegos Nuriz (herramienta ligera para la realización de ataque directo sobre las llamas) y a la voz de “ya” debían realizar el máximo número de golpes posibles con el batefuegos, sobre un tipo de combustible modelo 5 (matorral joven, menor de 1 metro de altura, el cual cubre casi por completo el área). El evaluador anotó en su planilla el número de golpes por minuto. Los sujetos debían levantar el batefuego por encima del hombro para que una repetición fuera contada como correcta.

Estadio 3. Manejo de azada o rastrillado: cada bombero portaba una azada ligera de raspado (herramienta manual destinada a la perimetración y liquidación de un incendio forestal). A la voz de “ya”, debían completar la mayor distancia posible durante la construcción de una línea de defensa sobre combustible modelo 1 (praderas naturales o rastrojos), la cual se basa en la retirada completa de todo el combustible, hasta el suelo mineral, el combustible extraído se dispondrá en el lado contrario a la posible dirección

de avance de las llamas. El evaluador anotaba la superficie total en metros cuadrados, discriminando las zonas en las que no exista retirada completa de material.

3.3.2.3 Análisis estadístico

Los resultados se expresan como media \pm SD. El supuesto de normalidad se verificó mediante la prueba de *Shapiro-Wilk*. Se aplicó una prueba *t* de Student para muestras independientes para determinar las diferencias entre sexos. La pérdida de rendimiento durante la ejecución del test de rendimiento simulado se analizó por medio de una prueba *t* de Student para muestras relacionada. La magnitud de las diferencias fue calculada por medio de la *d* de Cohen, valores de $<0,20$, $0,20-0,50$, $0,51-0,80$ y $> 0,80$ fueron considerados triviales, pequeños, moderados y grandes, respectivamente. Las diferencias (%) entre los resultados obtenidos en hombres (H) y mujeres (M) se obtuvo de la siguiente manera: $[(H-M) \cdot H^{-1}] \times 100$.

3.3.3 RESULTADOS

Los resultados en referencia a la composición corporal se pueden ver en la Tabla 20. Las mujeres eran más pequeñas, menos pesadas, tenían menos cantidad de masa libre de grasa, con una cantidad superior de masa grasa.

Tabla 20. Diferencias de sexo en la composición corporal.

	Mujeres	Hombres	Dif. (%)	p	ES
Altura (cm)	162.3 \pm 4.9	176.6 \pm 6.5	8.1*	0.000	2.50
Peso (kg)	57.4 \pm 3.9	78.3 \pm 18.1	26.6*	0.011	1.59
IMC (kg·m ⁻²)	21.9 \pm 1.9	25.0 \pm 5.3	12.6	0.159	0.78
Masa Libre de Grasa (MLG) (kg)	43.2 \pm 3.2	67.6 \pm 10.3	36.1*	0.000	3.20
Masa Libre de Grasa (MLG) (%)	74.5 \pm 4.7	87.6 \pm 7.4	13.1	0.001	2.11
Masa Grasa (MG) (kg)	14.9 \pm 2.9	10.7 \pm 9.7	-39.2	0.295	0.59
Masa Grasa (MG) (%)	25.5 \pm 4.7	12.4 \pm 7.4	-13.1*	0.001	2.11
Agua Corporal (kg)	31.6 \pm 2.3	49.5 \pm 7.5	36.1*	0.000	3.23
Agua Corporal (%)	54.5 \pm 3.4	64.1 \pm 5.4	9.6*	0.001	2.13

Valores expresados como media \pm SD. ES, tamaño del efecto calculado mediante la *d* de Cohen. *, diferencias significativas entre hombres y mujeres ($p < 0.05$).

En las pruebas de fuerza genéricas (Tabla 21) las mujeres alcanzaron mayores valores en las pruebas de fuerza resistencia de la musculatura del *core* (test de la plancha y Sorensen), mientras que los hombres tenían mayores valores en las pruebas tren inferior (CMJ), y tren superior (dinamometría y *push up*) con diferencias significativas ($p < 0.05$). Se observó como las diferencias entre hombres y mujeres se reducen al relativizarlas al

peso corporal en la prueba de dinamometría, 39, 19.8 y 6%; y en el CMJ, 38.2, 16.4 y 2.6%, valores absolutos, relativos al peso corporal y relativos a la MLG, respectivamente.

Tabla 21. Diferencias de sexo en los valores de fuerza.

	Mujeres	Hombres	Dif. (%)	p	ES
CMJ (cm)	24.6 ± 3.2	29.7 ± 6.6	17.2	0.087	0.98
CMJ (W)	2078.5 ± 207.7	3363.9 ± 661.5	38.2*	0.000	2.62
CMJ (W·kg⁻¹)	36.2 ± 2.7	43.3 ± 3.1	16.4*	0.000	2.44
CMJ (W·kg MLG⁻¹)	48.3 ± 5.8	49.6 ± 4.1	2.6	0.625	0.26
Dinamometría manual (kgf)	29.2 ± 3.9	47.9 ± 4.9	39.0*	0.000	4.18
Dinamometría manual (kgf·kg⁻¹)	0.5 ± 0.1	0.6 ± 0.1	19.8*	0.022	1.00
Dinamometría manual (kgf·MLG⁻¹)	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.1	6.0	0.343	0.00
Push up (repeticiones)	15.4 ± 6.2	38.5 ± 11.4	59.9*	0.000	2.52
Plank test (s)	178.7 ± 68.2	133.1 ± 65.6	-34.2	0.210	0.68
Sorensen (s)	165.3 ± 46.4	67.0 ± 22.2	-146.7*	0.000	2.70
Sit and Reach (cm)	9.1 ± 6.8	8.1 ± 11.3	-12.3	0.836	0.11

Valores expresados como media ± SD. ES, tamaño del efecto calculado mediante la *d* de Cohen; CMJ, salto con contramovimiento; MLG, masa libre de grasa. *, diferencias significativas entre hombres y mujeres ($p < 0.05$).

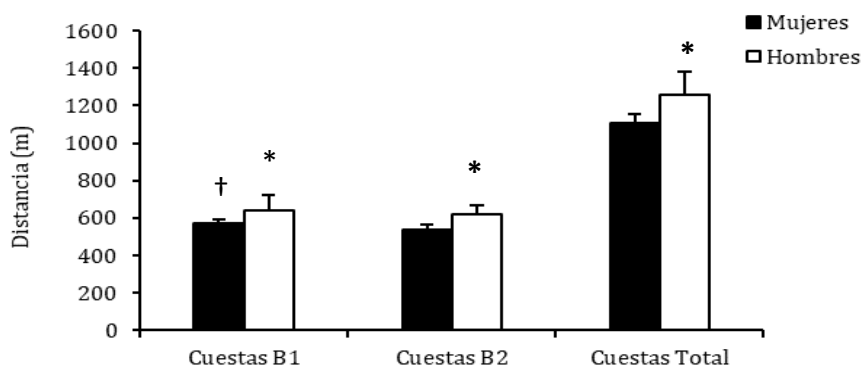
Los resultados referidos a los valores de capacidad aeróbica y umbrales se pueden observar en la Tabla 22. Se observó como el VO_{2max} en valores absolutos ($l \cdot min^{-1}$) y relativos ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) fue estadísticamente menor en las mujeres BBFF. La tendencia a reducirse las diferencias entre sexos al relativizar los datos al peso corporal se mantuvo en los distintos valores analizables: VO_{2max} (43.2 a 24%), VO_2 VT (33.3 a 9.3%), y VO_2 RCT (39.8 a 19.4%).

Los valores de rendimiento de la prueba específica se pueden ver en las Figuras 9, 10, y 11. Las mujeres alcanzaron un rendimiento menor tanto en los metros recorridos en el estadio de cuestas (11.4, 13.2, y 12.3%) (Figura 9) como en la superficie de raspado en el manejo de azada (63.9, 64.7, y 63.8% de diferencia entre hombres y mujeres en B1, B2 y rastrillado total, respectivamente) (Figura 11). Los hombres mantuvieron los niveles de rendimiento entre *bout* en todos los casos, mientras que, en las mujeres, la influencia del esfuerzo anterior les hizo perder rendimiento tanto en los metros recorridos del estadio de cuestas (569.3 ± 24.6 y 536.4 ± 29.3 m), como en el nº de golpes con batefuegos (Figura 10) (295 ± 31.1 y 284 ± 30.9 *bout* 1 y *bout* 2, respectivamente).

Tabla 22. Diferencias de sexo en valores de capacidad aeróbica.

	Mujeres	Hombres	Dif. (%)	p	ES
VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$)	2.3 ± 0.1	4.1 ± 0.7	43.2*	0.000	3.60
$VO_{2m\acute{a}x}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	40.4 ± 3.5	53.1 ± 8.6	24.0*	0.003	1.93
FC_{max} (ppm)	185 ± 8	186 ± 9	0.4	0.873	0.12
Velocidad máxima ($km \cdot h^{-1}$)	14.0 ± 0.6	17.5 ± 2.8	20.0*	0.006	1.73
VO_2 VT ($l \cdot min^{-1}$)	1.5 ± 0.2	2.3 ± 0.5	33.3*	0.002	2.10
VO_2 VT ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	27.4 ± 4.6	30.3 ± 6.4	9.3	0.352	0.52
VO_2 VT (%)	68.1 ± 10.2	56.8 ± 6.9	-11.3*	0.025	1.34
FC VT (%)	80.5 ± 5.9	71.8 ± 10.6	-8.7	0.077	1.01
Velocidad VT (%)	64.3 ± 3.7	54.1 ± 9.3	-10.2*	0.017	1.44
VO_2 RCT ($l \cdot min^{-1}$)	1.9 ± 0.2	3.2 ± 0.6	39.8*	0.000	2.90
VO_2 RCT ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	33.9 ± 4.3	42.0 ± 7.4	19.4*	0.024	1.34
VO_2 RCT (%)	83.8 ± 6.5	79.5 ± 8.9	-4.3	0.303	0.55
FC RCT (%)	95.4 ± 2.8	89.3 ± 2.6	-6.1*	0.001	2.26
Velocidad RCT (%)	84.7 ± 5.0	78.7 ± 5.4	-6.0*	0.045	1.55

Valores expresados como media \pm SD. ES, tamaño del efecto calculado mediante la d de Cohen; VO_{2max} , consumo máximo de oxígeno; FC_{max} , frecuencia cardíaca máxima; VT, umbral ventilatorio; RCT, umbral de compensación respiratoria; $\%VO_{2max}$, porcentaje de VO_{2max} en el que ocurren VT y RCT. *, diferencias significativas entre hombres y mujeres ($p < 0.05$).

**Figura 9.** Resultados de rendimiento durante el estadio 1 (cuestas) de la prueba de extinción de incendios forestales simulada.

B1, *bout* 1; B2; *bout* 2. *, diferencias significativas entre hombres y mujeres ($p < 0.05$). †, diferencias significativas entre *bouts* ($p < 0.05$).

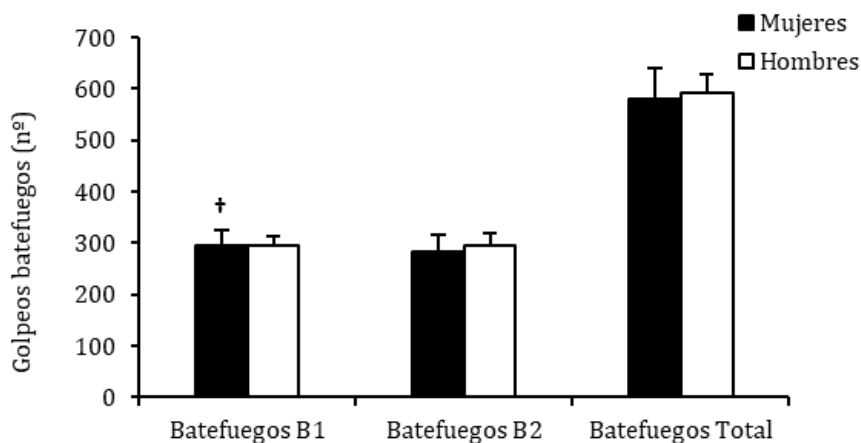


Figura 10. Resultados de rendimiento durante el estadio 2 (golpeo con batefuegos) de la prueba de extinción de incendios simulada. B1, *bout* 1; B2; *bout* 2. †, diferencias significativas entre *bouts* ($p < 0.05$).

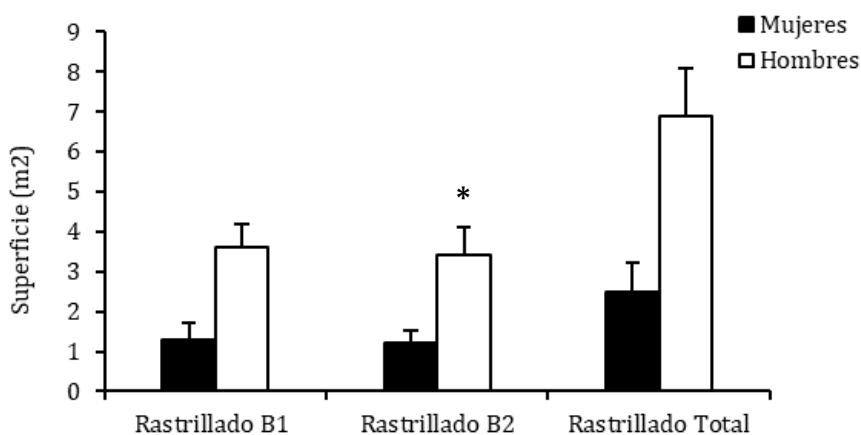


Figura 11. Resultados de rendimiento durante el estadio 3 (manejo de azada o rastrillado) de la prueba de extinción de incendios simulada. B1, *bout* 1; B2; *bout* 2. *, diferencias significativas entre hombres y mujeres ($p < 0.05$).

Los resultados generales fisiológicos durante la prueba de extinción de Incendios simulada se pueden ver en la Tabla 23. A nivel general, no se observaron diferencias significativas en las variables de RPE, lactato, y porcentaje de lactato máximo. Por el contrario, el porcentaje de FC_{max} fue mayor en las mujeres durante el transcurso de la prueba simulada.

Tabla 23. Variables fisiológicas analizadas durante la prueba de extinción de incendios simulada.

	Mujeres	Hombres	Dif. (%)	p	ES
RPE	7.2 ± 0.7	6.5 ± 0.8	-11.4	0.086	0.93
Lactato máximo (mmol·l ⁻¹)	10.7 ± 1.3	9.9 ± 1.9	-8.9	0.321	0.49
Lactato (%)	81.0 ± 4.6	78.1 ± 5.0	-2.9	0.280	0.60
FC _{max} (%)	94.4 ± 2.4	88.2 ± 2.8	-6.2*	0.001	2.38

Valores expresados como media ± SD. ES, tamaño del efecto calculado mediante la *d* de Cohen; RPE, percepción subjetiva del esfuerzo; FC_{max}, frecuencia cardíaca máxima; *, diferencias significativas entre hombres y mujeres (p<0.05).

Tabla 24. Resultados fisiológicos durante la prueba de extinción de incendios simulada.

	Cuestas			Golpeo con Batefuegos			Manejo de azada o rastrillado		
	Mujeres	Hombres	(%)	Mujeres	Hombres	(%)	Mujeres	Hombres	(%)
RPE B1	6.6 ± 1.1	5.5 ± 1.4	-19.5	7.3 ± 0.5	5.7 ± 1.1	-28.1*	6.6 ± 1.4	6.6 ± 0.8	-1.2
RPE B2	8.0 ± 1.0†	6.9 ± 1.3†	-15.3	7.7 ± 0.8	6.9 ± 0.6†	-12.2*	7.2 ± 1.1	7.3 ± 0.5 †	1.3
Media	7.3 ± 1.0	6.2 ± 1.2	-17.2	7.5 ± 0.5	6.3 ± 0.7	-19.4*	6.9 ± 1.2	6.9 ± 0.6	0.1
FC _{max} B1 (%)	95.8 ± 2.9	84.8 ± 3.7	-11.0*	93.5 ± 2.6	84.8 ± 4.9	-8.7*	92.1 ± 3.6	87.6 ± 3.0	-4.5*
FC _{max} B2	97.9 ± 2.7	93.0 ± 2.7†	-4.9*	95.3 ± 3.4	89.3 ± 4.6†	-6.0*	91.9 ± 3.9	89.6 ± 4.4	-2.3
Media	96.9 ± 2.1	88.9 ± 2.5	-8.0*	94.4 ± 2.8	87.1 ± 4.5	-7.3*	92.0 ± 2.5	88.6 ± 3.5	-3.4
La _{max} B1 (%)	68.7 ± 18.6	53.2 ± 9.1	-15.5	88.6 ± 12.1	80.6 ± 13.0	-8.0	85.2 ± 7.0	86.0 ± 11.6	0.8
La _{max} B2	85.8 ± 8.4	79.3 ± 17.7†	-5.5	87.2 ± 13.5	80.5 ± 13.8	-6.5	70.3 ± 16.4†	89.4 ± 12.0	19.1*
Media	77.9 ± 7.1	66.8 ± 6.7	-11.1*	85.6 ± 6.8	82.7 ± 12.0	-2.9	79.4 ± 10.8	85.0 ± 6.7	5.6

Valores expresados como media ± SD. RPE, percepción subjetiva del esfuerzo; FC_{max}, frecuencia cardíaca máxima; B1, *bout* 1; B2, *bout* 2; La_{max}, porcentaje del lactato máximo. *, diferencias significativas entre hombres y mujeres (p<0.05). †, diferencias significativas entre *bouts* (p<0.05).

Las implicaciones fisiológicas durante la prueba de extinción de IF simulada se pueden ver en la Tabla 24. En el estadio de cuestas, las mujeres, implicándose a una intensidad fisiológica mayor (porcentaje de FC_{max}, y porcentaje de la concentración máxima de lactato), desarrollaron menos rendimiento (1105.7 ± 50.4 y 1260.6 ± 120.7 m en mujeres y hombres, respectivamente). Los mayores valores de porcentaje de FC_{max} (8.4%) y de RPE (19.4%) en el estadio de batefuegos indicaron que para realizar el mismo rendimiento que los hombres, las mujeres se implicaron a una intensidad fisiológica y perceptiva mayor. Al realizar comparativa entre *bout*, las mujeres, aun teniendo valores fisiológicos mayores, perdieron un ~7% y un ~4% de rendimiento en el golpeo de batefuegos. Para mantener los niveles de rendimiento, los hombres aumentaron la percepción del esfuerzo un 25, 21 y 11% (cuestas, batefuego y línea, respectivamente), un 9.7 y 5.3% de la FC_{max} (cuestas y batefuego), y un 49.1% del lactato máximo (cuestas).

3.3.4 DISCUSIÓN

El principal hallazgo de este artículo fue que la mujer para realizar la misma tarea que los hombres o incluso desarrollando menor rendimiento en una prueba simulada de extinción de IF, debe emplearse a un porcentaje mayor de sus atributos fisiológicos ($\%FC_{\max}$ y $\%La_{\max}$) y perceptivos (RPE). Hasta donde sabemos se trata de la primera investigación que analiza el rendimiento tanto en pruebas genéricas como específicas en los BBFF desde la perspectiva de las diferencias de sexo.

Las diferencias en la composición corporal aquí observadas (Tabla 21) guardan relación con las observadas en otras profesiones físicamente exigentes como bomberos de estructura (Boyd et al., 2015; Watkins et al., 2019) militares (Epstein et al., 2013; Tunde et al., 2015; Yanovich et al., 2011), y policías (Dawes et al., 2017; Taylor, Peoples, & Petersen, 2016), determinan en cierta medida el rendimiento en este tipo de profesiones (Petersen et al., 2016; Phillips et al., 2019), y sobre ellas se sustentan capacidades como la fuerza y la resistencia (Epstein et al., 2013). Estas diferencias vienen determinadas desde la pubertad. En esta etapa de la vida, la regulación hormonal del crecimiento se torna cada vez más compleja especialmente en la mujer, donde las hormonas femeninas (estrógenos) tienden a la acumulación de grasa, mientras que las masculinas (andrógenos) tienden a la creación de músculo (Devries, 2016). En la mujer, muchos de los efectos estimulantes del crecimiento están mediados por los estrógenos (*e.g.*, estradiol) en lugar de los andrógenos (testosterona), ya sea mediante la secreción directa de estrógenos o mediante la conversión de andrógenos en estrógenos (Rogol et al., 2002), lo que implica unos cambios estructurales y metabólicos importantes ya desde fases tempranas de la maduración. El principal papel que tienen los estrógenos en el crecimiento está relacionado con su efecto sobre la dinámica en la secreción de la hormona del crecimiento, lo que influye directamente en las diferencias en la talla entre hombres y mujeres, ~8% población general (Roberts et al., 2016) y 8.1 % en nuestros resultados. Bajo la influencia de los andrógenos, principalmente la testosterona, los jóvenes adolescentes obtienen tejido muscular a mayor velocidad que las adolescentes (Epstein et al., 2013). En relación con sus niveles de testosterona, significativamente más altos, los hombres desarrollan músculos más fuertes y grandes, con un mayor potencial para el desarrollo muscular que las mujeres (Miller et al., 1993), diferencias en la masa libre de grasa de entre el ~30-40% (Wilmore et al., 2008) mientras que en nuestros resultados apenas llegan al ~13%. Respecto

a la masa grasa, durante la pubertad las mujeres tienden a acumular mayor cantidad que los hombres, lo cual promedia en la edad adulta diferencias del ~10% (~25 vs. ~16% masa grasa en mujeres y hombres respectivamente) (Roberts et al., 2016; Rogol et al., 2002), siendo las diferencias del 13.1% en nuestra muestra (25.5 ± 4.7 y $12.4 \pm 7.4\%$ en mujeres y hombres, respectivamente). Por todo esto, se ha señalado que las mujeres referencia al igual que hombres antropométricamente más pequeños, deberán emplearse a un porcentaje mayor de sus atributos físicos para realizar la misma tarea que los hombres (Epstein et al., 2013). Si bien variables como peso, masa grasa, masa libre de grasa y agua corporal son modificables, la altura no. En este sentido un estudio en el que se seleccionaron a hombres y mujeres de la misma altura (Phillips et al., 2019), y compararon el esfuerzo en una prueba que simulaba en laboratorio el transporte de cargas realizado en IF no se observaron diferencias en el rendimiento de la prueba, pero si en las variables fisiológicas (captación de oxígeno y ventilación por minuto).

Estudios realizados con militares informan que las mujeres tienen alrededor de un ~40% menos de fuerza máxima que hombres (Epstein et al., 2013; Tunde et al., 2015), diferencias absolutas que llegan al ~60% en el tren superior las cuales se reducen a un ~25% al relativizarlas a la masa muscular en población general (Wilmore et al., 2008). En el trabajo de extinción de incendios, los bomberos deben manejar herramienta manual pesada, arrastrar y empujar material, por lo que la capacidad de agarre es un buen indicador de su capacidad de trabajo (Perroni et al., 2021). En bomberos se han indicado diferencias del 29.9% en valores absolutos y 9.1% en valores relativos al peso corporal en dinamometría manual (Nazari et al., 2018), valores inferiores a los del presente estudio (39 y 19.8% valores absolutos y relativos al peso corporal). Una de las razones de estas diferencias podría ser la diferencia de peso entre ambas muestras, así mientras las mujeres del estudio de Nazari pesaban 71 kg, las del presente estudio apenas llegaban a ~57 kg. Al referirnos a la capacidad de realizar acciones explosivas, las cuales se han establecido como puntualmente críticas en trabajos físicamente exigentes (Ryan et al., 2016) han informado valores absolutos de hasta un ~40% menor en mujeres militares, que tienden a normalizarse al relativizar al peso corporal ~17% (Epstein et al., 2013), valores similares a los de nuestro estudio (diferencias del 38.2 y 16.4% diferencias absolutas y relativas al peso en CMJ). Parece ser que la menor capacidad de salto está influenciada por las diferencias entre hombres y mujeres en las dimensiones corporales y la arquitectura muscular, que influyen en la forma en que se produce la fuerza (Laffaye et

al., 2014). La capacidad de resistencia a la fuerza o resistencia muscular ha sido definida como la capacidad para mantener un pico de fuerza y una producción de fuerza concreta durante un determinado tiempo (González-Badillo & Ribas-Serna, 2018), y tiene relación directa a las acciones realizadas por los BBFF durante su desarrollo laboral (cargar material pesado, utilizar herramientas de extinción, aproximación a los incendios, etc.). Se ha visto como las mujeres son más resistentes a la fatiga muscular en términos relativos a la masa muscular (Hunter, 2016). Esto probablemente se deba al hecho de que la menor masa muscular ejerce menos fuerza absoluta con una carga de trabajo relativa y, por lo tanto, tiene menores demandas de oxígeno muscular, lo que prolonga el tiempo hasta la fatiga (Epstein et al, 2013). Además, la utilización del sustrato energético predominante en la oxidación de las grasas durante esfuerzos submáximos y la mayor cantidad de fibras tipo I podrían ayudar a fundamentar esta relación. Sin embargo, la ventaja femenina en la resistencia muscular disminuye a medida que aumenta la intensidad de la contracción, y solo en el rango más bajo de intensidad se puede observar una ventaja real en la fatigabilidad de las mujeres sobre los hombres (Hicks et al., 2001). En las pruebas analizadas se observa como en aquellas que miden la fuerza-resistencia de la musculatura extensora del tronco (Sorensen), es la mujer quien desarrolla hasta cerca de un ~150% de mayores valores que los hombres (Tabla 21), mientras que, al referirnos a la musculatura del tren superior, la mujer es un ~60% menos fuerte que los hombres BBFF. La mayor fuerza de las mujeres en la prueba Sorensen podría beneficiarlas a la hora de realizar tareas propias como el transporte de cargas pesadas durante horas, ya que es la musculatura extensora del tronco la más implicada en pruebas específicas como el Pack Test (Netto et al., 2013), aunque el menor peso, la menor zancada y la menor fuerza del tren inferior parece ser que puede limitar su rendimiento en este tipo de pruebas, y, por ende, el rendimiento laboral (Phillips et al., 2019).

La capacidad aeróbica, expresada como el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), se establece como uno de los principales componentes de desempeño laboral en profesiones físicamente exigentes (Epstein et al., 2013). Se observa como mujeres bomberas tienen entre un ~23 y un ~37% menos de VO_{2max} que hombres bomberos (en términos absolutos $L \cdot min^{-1}$) y entre un ~5 y un ~15% menos en valores relativos ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) (Noh et al., 2020; Sheaff et al., 2010; Stevenson et al., 2019; Williams-Bell et al., 2010). En nuestro caso las diferencias son aún mayores (43.2 y 24% valores absolutos y relativos, respectivamente), y en todos los casos, el peso parece

ser determinante, ya que al relativizar los datos las diferencias se reducen. En el caso de Sheaf et al. (2010), las diferencias en el consumo de oxígeno entre hombres y mujeres pasan de 23.7% en valores absolutos a -13.9% en valores relativos (peso bomberos 93.1 ± 4.0 kg y peso bomberas 67.1 ± 8.2 kg). Una de las razones que explican las diferencias en la capacidad aeróbica podría ser debido a que independientemente del tamaño del cuerpo, las mujeres tienen corazones más pequeños, con menor tamaño de la pared del ventrículo izquierdo y menor volumen de eyección de sangre o volumen sistólico, diferencias en la estructura cardíaca que provocan un gasto cardíaco menor, lo cual afecta directamente al consumo de oxígeno (Cain et al., 2009). Debido a que el volumen sistólico es menor para un consumo de oxígeno dado, las mujeres lo compensan con una frecuencia cardíaca mayor (Epstein et al., 2013), en nuestro caso tanto porcentaje de FC_{max} como ppm en VT y RCT son mayores en mujeres que en hombres (Tabla 22). En BBFF se establece el VT entorno al ~50% y el RCT en ~78% (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a, 2012a), valores similares a los encontrados en bomberos estructurales ~55 y ~77%, respectivamente (Leischik et al., 2015; von Heimburg et al., 2006; Windisch et al., 2017). En relación a las diferencias de sexo, la literatura deportiva establece el RCT entorno al ~80% tanto en hombres como en mujeres entrenadas (Lepers, 2019), valores similares en nuestros sujetos, sin diferencias en el RCT, por el contrario encontramos un 11.3% de diferencias en el VT, explicado por la extracción de oxígeno por parte de los tejidos la cual está influenciada por el contenido de oxígeno en la sangre, otro de los factores adicionales que pueden contribuir a las diferencias en la función cardiorrespiratoria y capacidad aeróbica es la capacidad de transporte de oxígeno por parte de la hemoglobina (Cureton et al., 1986). Se han observado niveles promedio de hemoglobina en las mujeres de un ~10 a un ~16% inferiores respecto a hombres. Los efectos de una menor capacidad de transporte de oxígeno pueden verse agravados por una mayor prevalencia de deficiencia de hierro y anemia en las mujeres (Kelly et al., 2016).

Durante el estadio de cuestas de la prueba de extinción de incendios simulada, el rendimiento de las mujeres fue significativamente menor a pesar de mantener intensidades de esfuerzo mayores (% FC_{max} B1, % FC_{max} B2, % FC_{max} y % La_{max}), del mismo modo se ha sugerido que el rendimiento en pruebas de transporte de carga pesada como el Pack Test está influenciado por la altura de los sujetos, la zancada y la fuerza del tren inferior (Phillips et al., 2019; Phillips et al., 2011), y en nuestro caso las mujeres eran significativamente menos altas, menos pesadas y menos

fuertes en relación al tren inferior. En el siguiente estadio (golpeo con batefuegos), parece ser que las mujeres fueron capaces de rendir al mismo nivel que los hombres, posiblemente influenciado por la dinámica del esfuerzo, la cual implicó principalmente la fuerza resistencia de la musculatura del *core*, y como se detalló en la Tabla 21 las mujeres forestales tenían mayor fuerza en la musculatura flexora (*plank test*) y extensora del tronco (Sorensen). Otra de las cuestiones que podrían aclarar el rendimiento similar en este estadio fue que a pesar de tener el mismo rendimiento las mujeres puntuaron el esfuerzo como más duro y desarrollaron %FC_{max} mayores. Con relación al estadio de rastrillado, prueba que tiene especial implicación de la musculatura del tren superior (Netto et al., 2013), las mujeres rindieron alrededor de un ~64% menos. Esto guarda relación con lo que estableció Roberts et al. (2016) acerca de una diferencia de fuerza en el tren superior entre hombres y mujeres, que oscila entre el 40% y el 60%.

Antes de empezar la prueba de extinción de incendios simulada, se indicó a los participantes que debían realizarla al máximo ritmo de trabajo que pudieran mantener en el tiempo, si bien el esfuerzo anterior puede condicionar el rendimiento de la siguiente prueba, los hombres mantuvieron el ritmo entre *bout*, a la vez que aumentaron los valores de RPE en los tres estadios y el %FC_{max} tanto en cuestas como golpeo con batefuegos. Por el contrario, las mujeres BBFF perdieron rendimiento en los estadios de cuestas y batefuegos modificando únicamente los valores de RPE en el estadio de cuestas, lo que nos puede indicar que empezaron a una intensidad demasiado elevada como para poder mantenerla, y/o que el esfuerzo absoluto de portar una mochila de 20 kg durante el estadio 1 les implicó una mayor demanda fisiológica, condicionando los esfuerzos sucesivos. Al referirnos a actividades laborales con cierta similitud a los BBFF nos encontramos que, en bomberos de estructura, policías y en personal militar se han estudiado las diferencias de sexo respecto a la condición física y rendimiento laboral. En Boyd et al., (2015) se estudió la variabilidad en el rendimiento de una prueba de aptitud para el servicio de bomberos de Canadá, mostrando un rendimiento menor en mujeres respecto a hombres. De igual forma se ha registrado como la condición física menor en las mujeres bombero puede hacer mella en su rendimiento y en su día a día laboral (Watkins et al., 2019), y los autores inciden en la necesidad de establecer programas específicos de acondicionamiento físico como forma de reducir la brecha física entre hombres y mujeres bombero (Petersen et al., 2016; Watkins et al., 2019). Un estudio publicado con BBFF canadienses (Gumieniak et al., 2018), donde implantaron una prueba de

selección la cual simulaba las tareas y acciones realizadas durante el desarrollo de la labor profesional y en la que la tasa de aprobados partía del ~11% mujeres y ~73% hombres, tras seis semanas de entrenamiento individualizado y adecuado a cada participante, la tasa de aprobados pasó al ~80% mujeres y al 100% hombres. Todo esto enfatiza la necesidad de introducir programas de entrenamiento específicos para este tipo de personal, e individualizado a las características tanto de nivel como de sexo, para poder reducir la brecha en este tipo de profesiones tanto en la participación femenina como en el rendimiento profesional, lo cual se relaciona directamente con la seguridad y la salud laboral.

El presente estudio no está exento de limitaciones, primeramente, el tamaño de la muestra es pequeño, principalmente en la parte masculina y no así en la parte femenina, puesto que actualmente el número de profesionales femeninos apenas llega al 3 % en España (García-Heras et al., 2022). La realización de este tipo de pruebas a una muestra mayor nos permitiría establecer conclusiones más fiables y la información obtenida podría variar. Seguidamente, no se midió la temperatura central durante la realización del test de rendimiento específico, la cual ha sido establecida como una variable crítica en este tipo de trabajadores (Carballo-Leyenda et al., 2019). Su medición podría haber proporcionado información sobre la tensión térmica de los sujetos y la contribución del almacenamiento de calor a la respuesta fisiológica y perceptiva durante la prueba simulada.

3.4 ESTUDIO 4. EFECTO DE UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO EN CIRCUITO DE ALTA INTENSIDAD SOBRE LA APTITUD FÍSICA DE LOS BOMBEROS FORESTALES



Bomberos forestales durante la realización del entrenamiento en circuito de alta intensidad propuesto para el presente estudio.

3.4.1 INTRODUCCIÓN

La lucha contra incendios forestales implica altas exigencias, tanto físicas como psicológicas. Varios factores, como la larga duración del trabajo, la orografía y las condiciones de los sitios de despliegue, las condiciones ambientales, el uso de equipos de protección personal o la falta de sueño, determinan la carga de trabajo de los bomberos forestales (Aisbett et al., 2012; Aisbett et al., 2007; Carballo-Leyenda et al., 2019; Cuddy & Ruby, 2011; García-Heras et al., 2020) y su salud y seguridad (Plat et al., 2011). Además, la supresión de incendios forestales implica el uso de herramientas manuales como la construcción de líneas de fuego, la eliminación de maleza, la creación de contrafuegos y la limpieza (Budd et al., 1997). Todo lo anterior nos ayuda a entender por qué la lucha contra incendios forestales se considera una ocupación altamente exigente (Cuddy et al., 2015), que implica un consumo de energía de hasta 2628 ± 714 kcal·día⁻¹ (Ruby et al., 2002). Dada la naturaleza intensa y diversa de su trabajo, se reconoce ampliamente que los BBFF deben mantener un nivel de aptitud física necesario para realizar su trabajo de manera segura y eficiente (Roberts et al., 2016), contribuyendo a salvaguardar la salud a lo largo de su vida laboral (García-Heras et al., 2020; Christison et al., 2021; Cornell et al., 2017). Por lo tanto, el uso de pruebas físicas para seleccionar a estos trabajadores puede ayudar a garantizar que posean el nivel de aptitud física necesario para realizar su trabajo de manera segura y eficiente (Roberts et al., 2016).

Específicamente en los BBFF, para determinar si el personal está en condiciones de cumplir con su deber, un número creciente de agencias (por ejemplo, el Servicio Forestal del USDA; Agencias de Bomberos de Australia; Servicio Forestal de Columbia Británica en Canadá o el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en España) emplean pruebas de competencia física, como la prueba de carga (Carballo-Leyenda et al., 2021; Petersen et al., 2010). Esta prueba implica una caminata de 4.8 km sobre terreno llano llevando una carga de 20.4 kg en un plazo de 45 minutos, y fue diseñada para desafiar la fuerza muscular y la aptitud cardiorrespiratoria de un individuo, imitando la tensión fisiológica encontrada durante la supresión de incendios forestales utilizando herramientas manuales (Carballo-Leyenda et al., 2021).

La inclusión de programas de entrenamiento en ocupaciones físicamente exigentes podría diseñarse para mejorar no solo la aptitud física sino también el rendimiento laboral, como se ha informado anteriormente en el

ámbito militar (Haddock et al., 2016; Heinrich et al., 2012; Jahnke et al., 2015; Kraemer & Ratamess, 2004), la lucha contra incendios estructurales (Abel et al., 2011, 2015; Andrews et al., 2019; Chizewski et al., 2021; Gist et al., 2015; Michaelides et al., 2011; Perroni et al., 2021; Rhea et al., 2004) y específicamente para los BBFF (Christison et al., 2021; Collins et al., 2018; Gumieniak et al., 2018a; Rodríguez-Marroyo et al., 2012a; Ruby et al., 2003a; Sell & Livingston, 2012). Aunque los programas de entrenamiento han enfocado tradicionalmente en aumentar la aptitud cardiovascular de los trabajadores, se ha señalado la importancia de seleccionar intensidades adecuadas para mejorar tanto la aptitud aeróbica como anaeróbica (Abel et al., 2011), así como la fuerza muscular y resistencia (Rhea et al., 2004). En los últimos años, el entrenamiento de alta intensidad ha ganado popularidad en ocupaciones físicamente exigentes (Clayton et al., 2019). Este tipo de entrenamiento implica episodios repetidos de esfuerzo de alta intensidad (es decir, el 85–95% de la frecuencia cardíaca máxima) seguidos de tiempos de recuperación variados, con una duración de sesión de ~40 minutos (Laursen et al., 2019). Los resultados en la literatura demuestran que el entrenamiento de alta intensidad aumenta tanto la capacidad aeróbica como anaeróbica (Foster et al., 2015; Miyamoto-Mikami et al., 2018), así como la potencia muscular (Astorino et al., 2012; Fajrin & Kusnanik, 2018; Stöggl & Björklund, 2017), requiriendo menos volumen o tiempo de entrenamiento para lograr mayores adaptaciones cardiovasculares y musculares (Gillen & Gibala, 2014). Estas características hacen que el entrenamiento de alta intensidad sea un método eficaz en términos de tiempo para adaptarse a los horarios limitados e impredecibles de los bomberos en el lugar de trabajo (Roberts et al., 2002). En este sentido, el entrenamiento de alta intensidad en bomberos ha demostrado aumentar la tasa metabólica, el gasto cardíaco y la capacidad aeróbica, junto con una mayor adherencia en comparación con un programa de entrenamiento regular (Keating et al., 2017; Kong et al., 2016). En el ámbito militar, la implementación del entrenamiento de alta intensidad ha mostrado mejoras en la capacidad física y la condición muscular y metabólica, con una mejora sustancial en la capacidad de enfrentar las demandas físicas específicas inherentes a su actividad laboral (Haddock et al., 2016).

A pesar de estos beneficios, los protocolos tradicionales de alta intensidad son limitados en lo que respecta a la preparación específica para las tareas típicas de los bomberos en servicio (Rhea et al., 2004; Bos et al., 2004; Lindberg et al., 2014). En los últimos años, el entrenamiento funcional de alta intensidad ha surgido como una variación del entrenamiento de alta

intensidad tradicional. Este enfoque se basa en ejercicios funcionales múltiples y multimodales, como levantar, empujar, jalar, cargar o locomoción, que se asemejan más a las tareas específicas del trabajo (Haddock et al., 2016). Una forma de entrenamiento funcional de alta intensidad es el entrenamiento en circuito de alta intensidad (HICT), donde los participantes completan típicamente un conjunto de ejercicios durante un número determinado de repeticiones o tiempo, cada uno de los cuales se dirige a un grupo muscular diferente siguiendo un patrón circular (Sempf & Thienes, 2022). Este tipo de entrenamiento se ha aplicado previamente en bomberos estructurales mediante ejercicios multiarticulares que simulan los patrones de movimiento de las tareas de lucha contra incendios en modo de circuito (Abel et al., 2011). Abel et al., (2019) compararon las intensidades aeróbicas y anaeróbicas logradas en el entrenamiento HICT con datos fisiológicos previamente informados sobre bomberos realizando tareas de supresión de incendios y rescate. Los resultados mostraron que el entrenamiento basado en circuitos produjo un menor estrés cardiovascular pero un estrés anaeróbico similar en comparación con las tareas de lucha contra incendios. Recientemente, se encontraron mejoras significativas tanto en la forma física como en la capacidad de los bomberos en formación después de una rutina diaria de 7 semanas de entrenamiento funcional de alta intensidad (60 minutos, 5 días a la semana) (Chizewski et al., 2021). Mientras que algunas investigaciones han comparado la eficacia del HICT frente a entrenamientos más tradicionales unimodales en poblaciones militares (Heinrich et al., 2012), no se ha realizado ninguna investigación para examinar el impacto del HICT en los BBFF. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de un programa de HICT en la forma física y el rendimiento laboral en un grupo de BBFF españoles.

3.4.2 METODOLOGÍA

3.4.2.1 Participantes

El estudio incluyó una muestra de 9 BBFF (8 hombres y 1 mujer; 29.8 ± 2.8 años, 175.6 ± 6.7 cm) pertenecientes a una tripulación española en el noroeste de España y 9 candidatos a BBFF (8 hombres y 1 mujer; 24.7 ± 6.6 años, 176.5 ± 7.0 cm). Los participantes estaban sanos y físicamente activos (*e.g.*, ejercicio de resistencia de 45 a 60 min por sesión de entrenamiento tres veces por semana) y todos tenían experiencia previa en programas regulares de entrenamiento de fuerza y resistencia (>1 año). Los WWF tenían una experiencia laboral en la extinción de incendios forestales de 7.4 ± 4.5 años. A lo largo del período de investigación, se animó a los

sujetos a mantener sus patrones dietéticos y rutinas de actividad física. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de los participantes antes de iniciar el estudio. El protocolo de prueba fue desarrollado según los lineamientos de la Declaración de Helsinki para investigaciones en seres humanos y fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de León.

3.4.2.2 Procedimiento

Utilizando un diseño de estudio no aleatorizado, los sujetos se dividieron en dos grupos de entrenamiento de acuerdo con el programa de entrenamiento realizado durante un período de intervención de 8 semanas. Así, los BBFF siguieron un programa HICT (Tabla 25), mientras que los candidatos a BBFF fueron asignados al grupo de control (CG). Durante la duración del estudio, el GC estuvo inscrito en un campo de entrenamiento específico donde recibió capacitación en las técnicas de trabajo comúnmente utilizadas por los BBFF. Durante este período, realizaron actividad física de intensidad baja a moderada (es decir, índice de esfuerzo percibido (RPE) <6 usando una escala 0-10) de forma regular durante 2h·semana⁻¹. Previo a la intervención, todos los participantes pasaron por una sesión de familiarización con los protocolos de las pruebas utilizadas en el estudio. Además, los BBFF se familiarizaron con los ejercicios del programa de formación. Los mismos investigadores evaluaron la condición física de los sujetos una semana antes de iniciar el estudio y al final del período de intervención. Las pruebas se realizaron en tres sesiones de prueba intercaladas con 24 h entre ellas. En la primera sesión de laboratorio se evaluó la capacidad antropométrica, aeróbica y la resistencia cardiorrespiratoria de los sujetos. En la segunda sesión, los participantes realizaron una batería de pruebas para determinar la fuerza de diferentes grupos de músculos. Finalmente, durante la última sesión, los sujetos realizaron el Pack test simultáneamente. Todas las sesiones de prueba se realizaron a la misma hora del día en condiciones ambientales similares. Todas las pruebas fueron precedidas por un período de calentamiento estandarizado de 15 minutos de carrera submáxima y estiramiento libre. A los sujetos no se les permitió consumir productos que contuvieran cafeína durante las 2 h anteriores. En las 24 h previas a las sesiones de prueba, se instruyó a los sujetos para que evitaran la actividad física extenuante.

Tabla 25. Programación de entrenamiento.

Semana	Ratio de trabajo	Ejercicios (martes)	Ejercicios (jueves)
1	1:2 2 series - 8 ejercicios (20/40 s) /120 s	<i>Burpees; Jumping Jacks</i> con un batefuegos; Plancha frontal tocando el hombro; Golpeo con batefuegos (lado dominante); Salto vertical con contramovimiento (CMJ); Golpeo con batefuegos (lado no dominante); <i>Mountain Climbers; Skipping.</i>	<i>Skipping; Flexiones de brazos (Push-up);</i> Golpeo con batefuegos (lado dominante); Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); Plancha frontal; <i>Burpees;</i> Golpeo con batefuegos (lado no dominante); <i>Jumping Jacks</i> con un batefuegos.
2	1:1 2 series - 7 ejercicios (30/30 s) /120 s	<i>Step up</i> o subir escalones con mochila (20kg); Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Skipping; Thruster</i> con mochila de agua (20 kg); Golpeo con batefuegos (lado no dominante).	<i>Jumping jacks; Burpees;</i> Golpeo con el batefuegos (lado no dominante); <i>Skipping;</i> Olas con cuerda; Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); Golpeo con el batefuegos (lado dominante).
3	1:1 2 series - 8 ejercicios (30/30 s) /120 s	<i>Jumping jacks; Kettlebell swing;</i> Golpeo con batefuegos (lado no dominante); <i>Mountain climbers; Battle rope</i> (olas con cuerda); <i>Squat jump;</i> Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Skipping.</i>	<i>Jumping jacks; Thruster</i> con mochila de agua (20 kg); <i>Burpees; Skipping; Farmer Walk</i> con mochila (20kg); CMJ; <i>Mountain climbers; Step up</i> con mochila (20 kg).
4	2:1 2 series - 8 ejercicios (40/20 s) /120 s	Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Thruster</i> con mochila de agua (20kg); <i>Burpees; Mountain climbers; Step up</i> con mochila (20kg); Plancha frontal con flexiones.	Golpeo con batefuegos (lado no dominante); Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); Golpeo con batefuegos (lado dominante); Paseo del granjero con mochila (20 kg); <i>Jumping jacks; Thruster</i> con mochila (20 kg).
5	2:1 2 series - 8 ejercicios (40/20 s) /120 s	Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Jumping jacks</i> con batefuegos; Golpeo con batefuegos (lado no dominante); <i>Skipping;</i> Plancha frontal tocando el hombro; Golpeo con batefuegos (lado dominante); Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); Olas con cuerda.	Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Thruster</i> con mochila (20 kg); <i>Skipping;</i> Cuerda de batalla; <i>Step up</i> con mochila (20 kg); <i>Mountain climbers;</i> Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Thruster</i> con mochila (20 kg).
6	2:1 3 series - 7 ejercicios (40/20 s) /90 s	Golpeo con batefuegos (lado no dominante); Paseo del granjero con mochila (20 kg); <i>Skipping;</i> Golpeo con batefuegos (lado dominante); Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); <i>Thruster</i> con mochila (20 kg).	Olas con cuerda; <i>Jumping jacks;</i> Golpeo con batefuegos (lado no dominante); <i>Thruster</i> con mochila (20 kg); <i>Mountain climbers;</i> Golpeo con batefuegos (lado dominante).
7	2:1 3 series - 7 ejercicios (30/15 s) /90 s	<i>Skipping; Burpees; Jumping jacks;</i> Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); <i>Thruster</i> con mochila (20 kg); <i>Mountain climbers; Push up.</i>	Plancha frontal tocando el hombro; Sentadilla con salto (<i>Squat jump</i>); <i>Skipping;</i> Golpeo con batefuegos (lado no dominante); Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); <i>Mountain climbers;</i> Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Jumping jacks.</i>
8	2:1 3 series - 7 ejercicios (30/15 s) /90 s	Golpeo con batefuegos (lado dominante); Paseo del granjero con mochila (20 kg); Sentadilla con mochila (20 kg); <i>Mountain climbers;</i> Golpeo con batefuegos (lado no dominante); <i>Burpees.</i>	<i>Skipping;</i> Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Jumping jacks; Thruster</i> con mochila (20 kg); Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); Golpeo con batefuegos (lado no dominante).

3.4.2.3 Programa de entrenamiento

Los BBFF entrenaron 2 días por semana durante la intervención de entrenamiento de 8 semanas. Los participantes tuvieron que completar >90% de todas las sesiones de capacitación para ser incluidos en los análisis finales. Las sesiones de entrenamiento duraron aproximadamente 45 minutos e incluyeron acciones musculares o movimientos específicos realizados por los WFF durante la extinción de incendios forestales. A los WFF se les indicó que realizaran los ejercicios programados en cada sesión (Tabla 25) a intensidades >80% de los valores máximos de FC y RPE >7.5 (Laursen & Buchheit, 2019) para tantas repeticiones como fuera posible. Durante todas las sesiones de entrenamiento, la FC se monitorizó cada 5 s (Polar RS800CX, Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia) y el RPE se obtuvo inmediatamente después de completar cada ejercicio, utilizando la escala Borg CR 0-10 (Borg, 1982). La relación trabajo: descanso se modificó durante el período de intervención. Se empezó con una ratio para principiantes (1:2), luego a partir de la segunda semana se modificó la ratio a un patrón de carga más alto (1:1), y a partir de la cuarta semana se cambió a una ratio de carga mucho más intenso (2:1) (Machado et al., 2019).

Las sesiones de entrenamiento constaron de cuatro partes diferentes: (i) una fase de calentamiento general que incluyó ejercicios de movilidad articular (5-10 min); (ii) un calentamiento específico que consiste en activación muscular y activación cardiopulmonar (~10 min); (iii) una parte central que constaba de 30 a 40 min de HICT donde se animaba a los sujetos a realizar tantos ejercicios como fuera posible a alta intensidad (>80% de la FC máxima). Los ejercicios consecutivos dentro de una serie implicaron alternar grupos de músculos para evitar la fatiga muscular (Tabla 25) y desarrollar las capacidades físicas necesarias para la extinción de incendios forestales (p. ej., capacidad aeróbica, fuerza muscular, potencia, flexibilidad y agilidad) (Phillips et al., 2011); y (iv) una fase de enfriamiento que consta de ~5 min de estiramiento activo y liberación miofascial con un rodillo de espuma.

3.4.2.4 Pruebas de valoración

Los BBFF realizaron una prueba de ejercicio progresiva hasta el agotamiento en una cinta (hp cosmos pulsar, Cosmos Sports & Medical GMBH, Nussdorf-Traunstein, Alemania) para valorar su VO_{2max} y determinar los umbrales ventilatorios. La prueba comenzó a $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y la velocidad se incrementó $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 1 min hasta el agotamiento voluntario. La pendiente del tapiz se

mantuvo constante a 1%. Durante toda la prueba se monitorizó continuamente el intercambio de gases respiración a respiración y FC con un electrocardiógrafo de 12 derivaciones (Medisoft Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Bélgica). El VO_{2max} y la FC_{max} se consideraron a los valores más altos obtenidos durante los últimos 30 s antes del agotamiento. Los criterios para la determinación del consumo máximo de oxígeno fueron: (Midgley et al., 2009): VO_2 meseta ($\leq 150 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$), $RER \geq 1.15$, FC máxima de ± 10 latidos de la FC_{max} predicha para la edad ($220 - \text{edad}$) y $RPE \geq 8$. La velocidad máxima se determinó como la velocidad más alta que los sujetos podrían mantener durante una etapa completa, más la velocidad interpolada de etapas incompletas (Kuipers et al., 1985). El umbral ventilatorio (VT) y de compensación respiratoria (RCT) se identificaron de acuerdo con los siguientes criterios (Davis, 1985): aumento tanto del equivalente de ventilación como del oxígeno ($VE \cdot VO_2^{-1}$) y la presión end-tidal de oxígeno sin aumento concomitante en el equivalente de ventilación para dióxido de carbono ($VE \cdot VCO_2^{-1}$) para el VT, y un aumento tanto del $VE \cdot VO_2^{-1}$ y el $VE \cdot VCO_2^{-1}$ junto con una disminución en la presión end-tidal del dióxido de carbono para el RCT.

Durante la segunda sesión de valoración se realizaron 5 tests para valorar la fuerza de diferentes partes corporales. El Biering-Sorensen test se usó para medir la fuerza-resistencia isométrica de los músculos extensores del tronco (Biering-Sorensen, 1984; McGill et al., 2010). Para su realización se colocó al sujeto sobre una camilla en decúbito prono, alineando las crestas ilíacas con el borde de una camilla. Se contabilizó el tiempo máximo que cada sujeto pudo mantener la postura, hasta un máximo de 240 s.

La medición de la fuerza resistencia de la musculatura del tren superior se analizó empleando el *push up test* (Saint Romain & Mahar, 2001). Los BBFF se colocaron en una posición de tabla o plancha con las manos separadas el ancho de los hombros y los codos completamente extendidos. Los BBFF debieron completar tantas flexiones como les fuera posible (tocando con el pecho en la colchoneta) hasta el agotamiento, sin descanso o hasta que se realizaron dos flexiones de brazos consecutivas de forma incorrecta o con una técnica inadecuada. Se determinó la cantidad total de flexiones completadas correctamente (Cornell et al., 2017).

El test de la Plancha o *plank test*, se realizó para valorar la fuerza resistencia del *core*, para lo cual el sujeto mantuvo su cuerpo en una posición de tablón sobre el suelo, apoyado en los dedos de los pies y los antebrazos. Los codos

de los sujetos se mantuvieron separados el ancho de los hombros con las manos en puños en frente de la cara. La prueba terminó cuando los BBFF no pudieron mantener la posición de la pelvis o la cintura escapular. Se valoró el tiempo total que mantuvieron la postura, hasta un tiempo máximo de 240 s (Cornell et al., 2017; McGill et al., 2010).

La fuerza explosiva de la extremidad inferior fue valorada por medio de un salto con contramovimiento (Bosco & Komi, 1979). Los sujetos realizaron el salto manteniendo las manos en la cadera. La altura de salto fue determinada usando el teléfono móvil, con una *APP* previamente validada (Balsalobre-Fernández et al., 2015). Se realizaron tres saltos y se registró el mejor de los tres para el análisis posterior.

La fuerza de prensión manual se midió utilizando un dinamómetro (Takei® TKK 5401, precisión ± 2.0 kg, Japón). Se instruyó a los BBFF para que apretaran el dispositivo lo más fuerte posible manteniendo el codo flexionado 90° y el antebrazo en posición neutra mientras permanecían sentados (Nazari et al., 2019). Se valoró la tanto la fuerza de prensión manual de la mano derecha como de la mano izquierda.

Por último, en la tercera sesión de valoración se realizó el PT en una pista de atletismo. Los sujetos completaron 12 vueltas para completar una distancia total de 4.8 km llevando una mochila con 20.4 kg (Carballo-Leyenda et al., 2021; Petersen et al., 2010; Sharkey, 1999). Aunque originalmente los sujetos deben completar la distancia en menos de 45 min (Sharkey, 1999) se indicó a los sujetos que completaran la prueba en el menor tiempo posible sin llegar a correr. A lo largo de la prueba se proporcionó estímulo verbal a los sujetos, pero no se administró retroalimentación del ritmo en ningún momento (Carballo-Leyenda et al., 2021). Durante toda la prueba se registró la respuesta de FC cada 5 s (Polar RS800CX, Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia). Además, la RPE de los BBFF se obtuvo durante los últimos 10 m de cada vuelta utilizando la escala de Borg (1-10) (Borg, 1982). El tiempo de prueba se cronometró utilizando unas células fotoeléctricas (DSD Laser System, DSD Inc., León, España).

3.4.2.5 Análisis estadístico

Los resultados se expresan como media \pm SD. El supuesto de normalidad se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Los cambios en la aptitud física y el rendimiento de la prueba Pack se examinaron mediante un análisis de varianza bidireccional de medidas repetidas (tiempo [pre-prueba vs. post-

prueba] × grupo [HICT vs. CG]). Además, se utilizó un análisis de covarianza unidireccional para establecer diferencias entre los cambios relativos de rendimiento de los grupos, utilizando los valores previos a la prueba como covariables. Cuando se encontró un valor de F significativo, se utilizó la prueba post hoc de Bonferroni para establecer diferencias significativas entre los valores medios. Se consideraron estadísticamente significativos valores de $p < 0.05$. El tamaño del efecto se calculó mediante la prueba d de Cohen. Los valores d de Cohen de $<0,20$, $0,20-0,50$, $0,51-0,80$ y $>0,80$ se calificaron como efectos triviales, pequeños, moderados y grandes, respectivamente (Cohen, 2013). Se obtuvieron cambios significativos ($0,2 \times$ SD entre sujetos) para determinar la eficacia del programa HICT (Buchheit et al., 2010). Se calcularon los límites para el valor real (intervalo de confianza observado $\pm 90\%$), y la intervención se calificó como beneficiosa o perjudicial cuando se encontraban más allá de los cambios significativos (Buchheit et al., 2010). Los análisis se realizaron utilizando el software estadístico SPSS+ V.25.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, EE. UU.)

3.4.3 RESULTADOS

Los resultados pretest fueron similares en ambos grupos (Tablas 26, 27 y 28), excepto los obtenidos en los test de Sörensen y *push-up*, cuyos valores fueron significativamente ($p < 0.05$) superiores en GC y HICT, respectivamente (Tabla 27). Sin embargo, en la evaluación realizada al final del período de intervención, se tuvo en cuenta el porcentaje de VO_{2max} al que se determinaron el VT y el RCT, el porcentaje de FC máxima al que se produjo el RCT (Tabla 26), las flexiones (Tabla 27) y el rendimiento del Pack Test (Tabla 28) fue mayor ($p < 0.05$) en HICT.

Tanto la velocidad a la que se determinó el VT como la del RCT se mejoraron significativamente ($p < 0.05$) después del programa de entrenamiento realizado (Tabla 26). Del mismo modo, el porcentaje del VO_{2max} y de la FC_{max} a la que se obtuvo el RCT fue mayor ($p < 0.05$) en el post test. De manera similar, el rendimiento de la prueba Pack mejoró sustancialmente ($p < 0.05$) después del período de entrenamiento (Tabla 28), y el tiempo de prueba se redujo en aproximadamente un 14 % (~5 min) después de la intervención. Por el contrario, en CG, se observó una en los valores post-test de los rendimientos de las pruebas de *push up* y plancha (Tabla 27) y una reducción en el porcentaje de FC máxima y la velocidad en el VT.

Tabla 26. Características fisiológicas de los sujetos.

Variables	Grupo	Pre-test	Post-test	Cambio (%)	p	ES
VO_{2max} (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	HICT	52.0 ± 8.2	50.8 ± 8.7	-3.0 ± 8.8	0.327	0.14
	GC	52.9 ± 6.3	55.4 ± 7.1	3.7 ± 12.2	0.334	0.37
FC_{max} (ppm)	HICT	189 ± 11	185 ± 9	-1.7 ± 2.6	0.050	0.33
	GC	188 ± 12	191 ± 13	1.1 ± 2.8	0.258	0.35
Velocidad máxima (km·h⁻¹)	HICT	17.2 ± 2.7	16.8 ± 2.4	-1.8 ± 6.5	0.223	0.16
	GC	16.1 ± 1.4	16.5 ± 0.9	2.4 ± 4.2	0.139	0.35
VO₂ VT (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	HICT	30.4 ± 6.7	34.3 ± 5.2	11.7 ± 20.8	0.108	0.65
	GC	33.7 ± 2.9	32.3 ± 5.6	-6.4 ± 16.9*	0.367	0.31
%VO_{2max} VT	HICT	58.4 ± 9.5	68.4 ± 9.4	14.0 ± 21.4	0.054	1.06
	GC	64.1 ± 6.1	58.4 ± 7.4*	-5.7 ± 9.2***	0.099	0.84
FC VT (ppm)	HICT	136 ± 20.0	145 ± 17.0	6.7 ± 12.6	0.178	0.46
	GC	147 ± 15	143 ± 19	-3.3 ± 4.7*	0.077	0.23
FC VT (%)	HICT	72.2 ± 9.8	77.9 ± 7.9	8.3 ± 11.8	0.072	0.64
	GC	77.9 ± 4.8	74.7 ± 5.8	-3.2 ± 3.4**	0.022	0.60
Velocidad VT (km·h⁻¹)	HICT	9.3 ± 1.8	10.6 ± 1.5	12.4 ± 13.9	0.018	0.78
	GC	9.6 ± 0.9	9.1 ± 1.1	-5.2 ± 6.2**	0.035	0.49
VO₂ RCT (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	HICT	41.8 ± 7.4	44.9 ± 6.9	7.0 ± 7.4	0.012	0.43
	GC	43.0 ± 5.0	44.0 ± 5.2	1.4 ± 10.4	0.526	0.19
%VO_{2max} RCT (%)	HICT	80.6 ± 9.9	88.9 ± 5.7	8.2 ± 11.1	0.034	1.02
	GC	81.8 ± 5.8	79.9 ± 9.2*	-1.8 ± 7.8**	0.505	0.87
FC RCT (ppm)	HICT	169 ± 11	172 ± 11	1.9 ± 3.7	0.271	0.23
	GC	171 ± 12	169 ± 16	-1.5 ± 5.8	0.563	0.14
FC RCT (%)	HICT	89.8 ± 2.8	92.7 ± 2.5	3.3 ± 2.6	0.005	1.09
	GC	90.7 ± 2.2	88.6 ± 4.4*	-2.2 ± 3.9**	0.132	0.60
Velocidad RCT (km·h⁻¹)	HICT	13.5 ± 2.2	14.3 ± 1.9	5.7 ± 7.3	0.022	0.39
	GC	12.9 ± 0.6	12.8 ± 1.1	-1.3 ± 6.2*	0.681	0.11

Valores expresados en media ± SD. ES, tamaño del efecto calculado mediante la *d* de Cohen; VO_{2max}, consumo máximo de oxígeno; FC_{max}, frecuencia cardíaca máxima; VT, umbral ventilatorio; RCT, umbral de compensación respiratoria; %VO_{2max}, porcentaje de VO_{2max} en el que ocurren VT y RCT; HICT, grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad; GC, grupo de control. *, diferencias significativas con HICT (p<0.05). **, diferencias significativas con HICT (p<0.01). ***, diferencias significativas con HICT (p<0.001).

Los cambios encontrados en el VT y el RCT fueron mayores (p<0.05) en el HICT que en el GC (Tabla 26). Asimismo, el cambio observado en el Pack Test y en el rendimiento de las pruebas de fuerza muscular fue significativamente mayor (p<0.05) en HICT. Sólo el cambio relativo analizado en la prueba *push up* fue similar entre los grupos (~15%). Los cambios inducidos por la intervención HICT se calificaron como beneficiosos

para la mejora de los umbrales ventilatorios, el rendimiento específico de los BBFF, las pruebas de Sörensen, *push up*, *plank test* y CMJ (Figura 12). El campo de entrenamiento específico generó cambios beneficiosos para los candidatos a BBFF en las pruebas de *push up* y *plank test* (Figura 12).

Tabla 27. Resultados antropométricos y de condición física.

Variables	Grupo	Pre- test	Post- test	Cambio (%)	p	ES
Peso (kg)	HICT	76.7 ± 17.3	76.6 ± 16.9	-0.1 ± 2.9	0.954	0.00
	GC	76.4 ± 12.1	76.7 ± 12.2	0.3 ± 2.6	0.739	0.02
IMC (kg·m⁻²)	HICT	24.9 ± 4.7	24.8 ± 4.7	-0.2 ± 2.9	0.818	0.01
	GC	24.4 ± 2.6	24.5 ± 2.5	0.3 ± 2.5	0.718	0.03
Sorensen test (s)	HICT	75.1 ± 29.3	116.6 ± 48.7	34.1 ± 13.5	0.000	1.03
	GC	128.6 ± 46.4*	147.3 ± 39.4	13.5 ± 17.8**	0.064	0.43
Push up (repetciones)	HICT	36.2 ± 14.3	40.1 ± 12.6	13.3 ± 16.0	0.006	0.29
	GC	23.1 ± 6.5*	38.3 ± 7.5*	17.5 ± 15.3	0.006	2.10
Plank test (s)	HICT	126.8 ± 63.6	184.6 ± 69.6	31.2 ± 17.2	0.000	0.87
	GC	185.8 ± 69.4	216.6 ± 65.0	14.8 ± 15.7**	0.014	0.45
CMJ (cm)	HICT	29.7 ± 6.2	31.8 ± 6.4	7.1 ± 5.8	0.007	0.33
	GC	33.3 ± 6.1	33.4 ± 6.3	0.2 ± 4.9*	0.839	0.01
Dinam Izq (kgf)	HICT	43.4 ± 9.5	43.9 ± 7.8	1.1 ± 11.2	0.650	0.06
	GC	45.1 ± 8.0	44.7 ± 7.3	-1.2 ± 8.9*	0.737	0.05
Dinam Drch (kgf)	HICT	47.0 ± 8.9	46.9 ± 7.2	-0.6 ± 7.9	0.901	0.01
	GC	48.2 ± 9.0	46.7 ± 7.9	-3.4 ± 8.8*	0.319	0.02

Valores expresados en media ± SD. ES, tamaño del efecto calculado mediante la *d* de Cohen. IMC, índice de masa corporal; CMJ, salto con contramovimiento; Dinam, dinamometría manual; HICT, grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad; GC, grupo de control; *, diferencias significativas con HICT ($p < 0.05$); **, diferencias significativas con HICT ($p < 0.01$).

Tabla 28. Valores de prueba específica de selección Pack Test.

Variables	Grupo	Pre- test	Post- test	Cambio (%)	p	ES
Tiempo (min)	HICT	38.0 ± 3.4	33.5 ± 3.3	-12.2 ± 6.1	0.000	1.34
	GC	37.5 ± 3.0	37.1 ± 3.0*	-1.4 ± 3.0**	0.235	0.13
FC_{max} (ppm)	HICT	147 ± 17	160 ± 12	7.9 ± 10.1	0.045	0.88
	GC	167 ± 18	189 ± 13	2.0 ± 4.6	0.127	1.40
FC_{max} (%)	HICT	79.4 ± 10.5	87.2 ± 3.9	7.8 ± 10.6	0.058	0.98
	GC	90.9 ± 7.2*	89.4 ± 9.0	-1.5 ± 5.0**	0.394	0.18
RPE	HICT	6.2 ± 0.4	8.0 ± 0.6	22.6 ± 7.1	0.000	3.53
	GC	7.3 ± 0.9**	7.7 ± 0.5	4.6 ± 11.8**	0.260	0.54

Valores expresados en media ± SD. ES, tamaño del efecto calculado mediante la *d* de Cohen; FC_{max}, frecuencia cardiaca máxima; HICT, grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad; GC, grupo de control; *, diferencias significativas con HICT ($p < 0.05$); **, diferencias significativas con HICT ($p < 0.01$).

3.4 Estudio 4

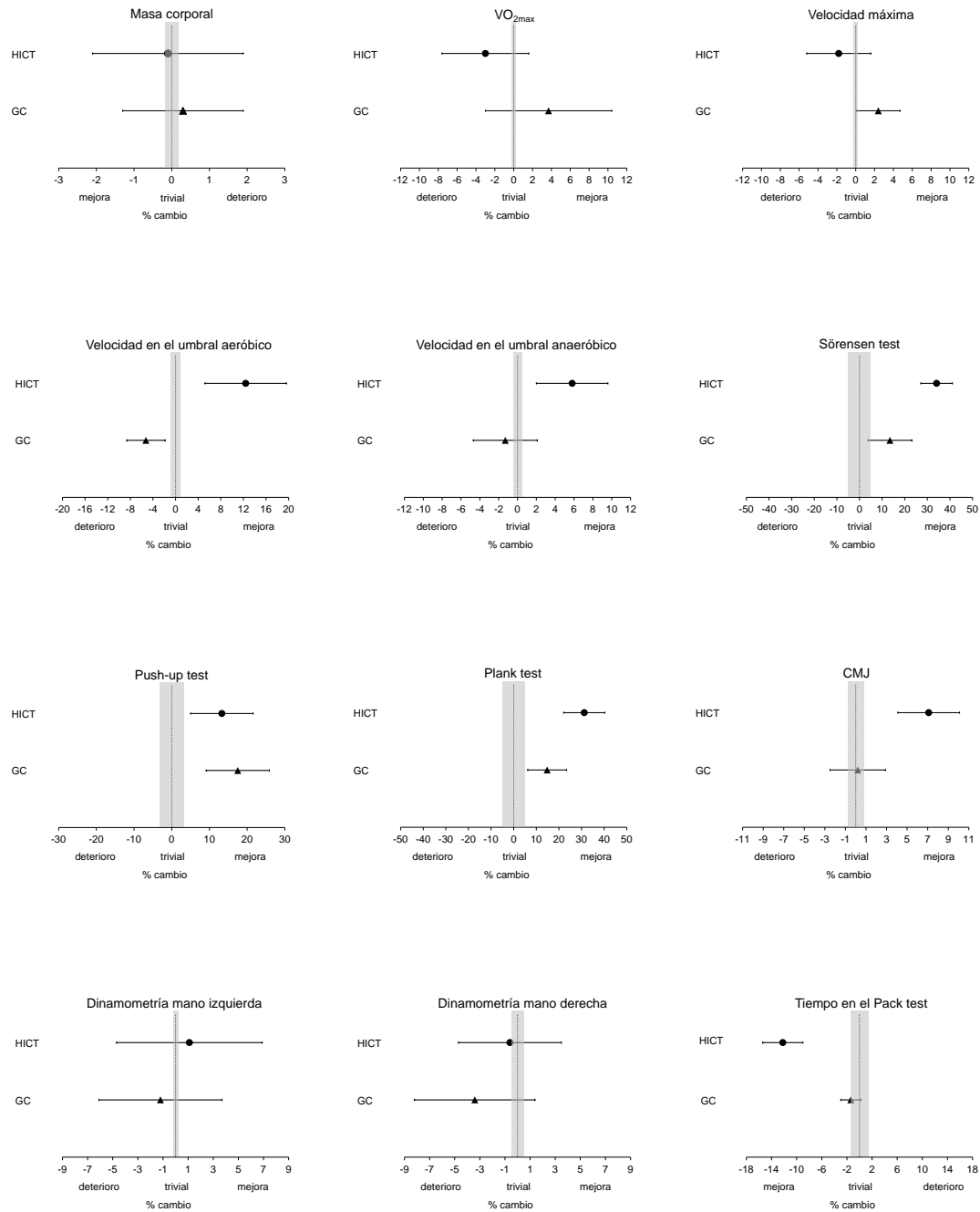


Figura 12. Cambios relativos para el rendimiento de las pruebas en el grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad (HICT) y el grupo de control (GC).

Los valores expresados como media \pm intervalo de confianza al 90%. Las áreas triviales se calcularon a partir de los cambios significativos.

3.4.4 DISCUSIÓN

La principal conclusión de este estudio fue que un programa de entrenamiento en circuito de alta intensidad de 8 semanas aplicado a un grupo de BBFF aumentó significativamente su aptitud física en términos de

potencia de piernas, resistencia muscular de brazos, resistencia muscular de flexores y extensores del tronco y resistencia cardiorrespiratoria. Además, también se logró una mejora en el rendimiento laboral específico, ya que el tiempo de finalización de la prueba de competencia laboral Pack Test se redujo significativamente.

Los resultados obtenidos coinciden con los informados previamente, donde se destacó la efectividad del programa HICT en la mejora de la resistencia muscular en poblaciones moderadamente entrenadas (Heinrich et al., 2012). Heinrich et al. (2012) llevaron a cabo un programa, de la misma duración que el de este estudio, dirigido al desarrollo de fuerza, potencia y velocidad a través de un circuito utilizando resistencia en los ejercicios (por ejemplo, peso corporal propio, balones medicinales) en el ámbito militar. Estos investigadores informaron de una mejora de ~10% en la prueba de flexiones después del programa de entrenamiento, lo que se alinea con el ~13% logrado en nuestro estudio. En contraste, Chizewski et al. (2021) informaron mejoras sustancialmente mayores (~37%) después de implementar un programa de entrenamiento funcional de alta intensidad para bomberos. En ambos estudios, se utilizó una modalidad de entrenamiento de alta intensidad, incorporando movimientos específicos que imitan las tareas laborales de bomberos y BBFF. Nuestro programa de entrenamiento incluyó descansos programados de ≤ 30 s entre los períodos de trabajo, siguiendo a otros estudios (Klika & Jordan, 2013). Sin embargo, en el entrenamiento funcional de alta intensidad, no había descansos definidos, ya que el objetivo es realizar un número dado de repeticiones en el menor tiempo posible, o se deben completar una serie de ejercicios en un tiempo determinado realizando el mayor número posible de repeticiones (Feito et al., 2018). Por lo tanto, es plausible que el mayor número de sesiones de entrenamiento llevadas a cabo en el estudio de Chizewski (35 vs. 16 sesiones de entrenamiento) pueda condicionar las mejoras obtenidas. A pesar de esta circunstancia, las ganancias obtenidas en la fuerza abdominal (22%) y el salto vertical (<1%) fueron sustancialmente menores que las encontradas en nuestro trabajo (~31 y ~7%, respectivamente). Este hecho podría estar vinculado principalmente al tipo de ejercicios aplicados en los programas de entrenamiento y, por otro lado, a las pruebas seleccionadas para evaluar la resistencia abdominal en ambos estudios. Mientras que en el estudio de Chizewski se computó el número de abdominales realizados en 1 minuto, en nuestro estudio utilizamos la prueba de *Plank Test* en la que los sujetos tenían que mantener sus cuerpos en una posición de tabla estática durante el mayor tiempo posible. Además, nuestro programa de

entrenamiento incluyó varios ejercicios pliométricos que podrían haber contribuido a un mayor aumento en la fuerza explosiva de la parte inferior del cuerpo y, en consecuencia, a una mayor altura en el salto vertical (Markovic, 2007). En este sentido, se han informado ganancias de ~3% en el salto horizontal después de someter a un grupo de soldados a un entrenamiento de intervalos de alta intensidad basado en ejercicios militares con resistencia y a protocolos de entrenamiento de intervalos de alta intensidad basados en carrera (>95% de la frecuencia cardíaca máxima), respectivamente (es decir, 3 series × 10 ejercicios × 30 s y 30 s y 5 min de descanso) (Tornero-Aguilera & Clemente-Suárez, 2019). Cabe mencionar que estos autores solo encontraron aumentos estadísticamente significativos en la fuerza explosiva de las extremidades inferiores después de realizar el programa basado en ejercicios con resistencia.

El programa de entrenamiento estudiado no contribuyó a mejorar la fuerza de agarre isométrico de la mano. Las diferencias encontradas antes y después del programa de entrenamiento se consideraron triviales (Tabla 27). Estos resultados difieren de los obtenidos por Tornero-Aguilera & Clemente-Suárez (2019), quienes mostraron mejoras del 3.5-5% después de implementar un programa de entrenamiento de intervalos de alta intensidad. Se podría especular que las características de los ejercicios que conformaron su entrenamiento favorecieron más el aumento de la fuerza de agarre que el obtenido en nuestro estudio. Sin embargo, cabe señalar que las mejoras más notables en su estudio se obtuvieron mediante un protocolo de entrenamiento que se basaba exclusivamente en correr a alta intensidad. Por lo tanto, parece que las características de los sujetos en nuestra investigación condicionaron los resultados obtenidos. Los BBFF utilizan rutinariamente diferentes herramientas manuales durante sus despliegues (Budd et al., 1997b), durante períodos prolongados (Rodríguez-Marroyo et al., 2012a), lo que contribuye a su alta fuerza de agarre y puede limitar las mejoras obtenidas con programas de entrenamiento (Tornero-Aguilera & Clemente-Suárez, 2019). En nuestro trabajo, las mejoras encontradas en la resistencia muscular de la extremidad superior junto con los flexores y extensores del tronco (~13, ~34 y ~31%, respectivamente) fueron sustancialmente menores (~135, ~75 y ~64%, respectivamente) que las reportadas en estudios que siguieron protocolos de entrenamiento similares con mujeres recreativamente activas (McRae et al., 2012).

El entrenamiento HICT no solo llevó a mejoras en la fuerza de los sujetos, sino que también mejoró los umbrales ventilatorios de los BBFF (Tabla 26,

Figura 12). Este hallazgo fue consistente con los cambios en el rendimiento aeróbico informados previamente después de completar diferentes intervenciones de entrenamiento de intervalos de alta intensidad (Robinson et al., 2014; Schaun et al., 2018). Estos autores describieron aumentos del 2-13% en los umbrales ventilatorios después de 12 y 48 sesiones de entrenamiento de intervalos de alta intensidad en todo el cuerpo, respectivamente. Los beneficios de este tipo de intervenciones en medidas de rendimiento aeróbico podrían ser consecuencia de una mejora en la capacidad de amortiguación muscular, la oxidación de grasas corporales, el aumento de la densidad mitocondrial y una regulación al alza de las enzimas del glucógeno (Laursen & Bucheit, 2019; Robinson et al., 2014). A pesar de eso, nuestros resultados no mostraron un aumento en el VO_{2max} después de completar el programa de entrenamiento. En contraste, el estudio de Schaun et al. (2018) mostró mejoras paralelas en RCT y VO_{2max} después de realizar 48 sesiones de entrenamiento de intervalos de alta intensidad. Aunque el RCT mejoró después de 8 semanas de entrenamiento (16 sesiones de entrenamiento) en nuestro estudio, este estímulo no fue suficiente para inducir mejoras en el VO_{2max} . Los sujetos en el estudio de Schaun et al. (2018) triplicaron el número de sesiones de entrenamiento a las que se sometieron en comparación con las realizadas por los BBFF en nuestro estudio. Por otro lado, los altos valores de VO_{2max} analizados al inicio del estudio en los BBFF ($52.0 \pm 8.2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) podrían condicionar su mejora posterior (Gist et al., 2015). Gist et al. (2015) no observaron mejoras en el VO_{2max} después de aplicar un entrenamiento de intervalos de alta intensidad durante 4 semanas (12 sesiones de entrenamiento). Los valores iniciales informados en estos sujetos fueron muy similares ($51.2 \pm 5.6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) a los del presente estudio. Por el contrario, en bomberos que presentaban un VO_{2max} inicial ($40.8 \pm 5.1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) menor que el informado anteriormente, se obtuvieron aumentos del $\sim 10\%$ después de 35 sesiones de entrenamiento de alta intensidad (Chizewski et al., 2021). Las mejoras analizadas en los umbrales ventilatorios podrían llevar a un mayor rendimiento laboral o eficiencia laboral de los BBFF. Este hecho podría ser especialmente relevante a medida que aumenta la duración de sus despliegues (Rodríguez-Marroyo et al., 2012a) y en aquellas situaciones en las que los BBFF deben adoptar tasas de trabajo altas y sostenidas a lo largo del tiempo, como la construcción de líneas de fuego, la eliminación de maleza y las actividades de limpieza.

Los BBFF en este estudio mejoraron su rendimiento específico después de la intervención HICT (Tabla 28). El tiempo de la prueba Pack Test se redujo un

~12%. Se informaron mejoras similares en los BBFF cuando se evaluó su rendimiento específico después de 15 sesiones de entrenamiento (Gumieniak et al., 2018a). Del mismo modo, Chizewski et al. (2021) analizaron mejoras después de implementar un programa de entrenamiento de alta intensidad en una prueba de rendimiento físico de seis eventos para evaluar la aptitud cardiorrespiratoria y la resistencia muscular de los bomberos. Las ganancias informadas por estos autores fueron de ~20%, sustancialmente más altas que las obtenidas en nuestro estudio. Este hecho podría estar condicionado por la duración total de las pruebas informadas por Chizewski et al. (2021), ya que duraron de 3 a 4 minutos. Las mejoras analizadas en cada ejercicio oscilaron entre el 7.7-20.4%. Los resultados anteriores demuestran el efecto potencial que los programas de entrenamiento basados en entrenamiento de alta intensidad podrían tener en la productividad y eficiencia laboral de los BBFF. Los bomberos que llevan a cabo este tipo de entrenamiento podrían duplicar las posibilidades de cumplir con los estándares físicos laborales recomendados en comparación con aquellos que no lo hacen (Jahnke et al., 2015). Además, este tipo de entrenamiento podría coincidir potencialmente con la realidad de los BBFF, donde los equipos de trabajo están formados por sujetos de diferentes edades y capacidades físicas y con un número creciente de mujeres. Específicamente, el entrenamiento de alta intensidad realizado con ejercicios que utilizan el peso corporal como resistencia se puede considerar una alternativa efectiva y segura para mejorar la condición física y la composición corporal en sujetos de diferentes edades y niveles sin necesidad de utilizar una gran cantidad de material (Machado et al., 2017; Buchheit & Laursen, 2013).

La principal limitación de este estudio fue la falta de un grupo de control con características similares a las de los BBFF que realizaron la intervención. La participación de más BBFF fue imposible debido a las restricciones impuestas por la agencia de reclutamiento. A pesar de esto, los valores iniciales de aptitud física entre los BBFF y los candidatos a BBFF fueron similares. Por otro lado, el hecho de que los candidatos a BBFF asistieran a un programa de entrenamiento específico podría haber condicionado algunos de los resultados obtenidos en este estudio. Sin embargo, los hallazgos actuales muestran el beneficio potencial que los programas HICT pueden tener en la aptitud física de los BBFF. La investigación futura debería comparar la efectividad del entrenamiento HICT con otros tipos de entrenamiento físico. De la misma manera, involucrar a BBFF mujeres en

estos estudios podría ayudar a determinar si el sexo de los sujetos podría condicionar las mejoras analizadas en el entrenamiento HICT.

3.5 ESTUDIO 5. EFECTOS DE DOS PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO (MODERADA vs. ALTA INTENSIDAD) EN LA CONDICIÓN FÍSICA GENÉRICA Y ESPECIFICA DE UN GRUPO DE ASPIRANTES A BOMBEROS FORESTALES



Muestra de aspirantes femeninas a bombero forestal momentos previos a la realización de la prueba de selección Pack Test

3.5.1 INTRODUCCIÓN

La extinción de incendios forestales se encuentra dentro de las profesiones físicamente exigentes (bomberos estructurales, policías, rescatadores de montaña) y demanda que los trabajadores del sector o bomberos forestales (BBFF), tengan una buena condición física que les permita trabajar en condiciones de seguridad y salud. (Blacker et al., 2016; Louhevaara et al., 1984; Phillips et al., 2017; Roberts et al., 2016; Rodríguez-Marroyo et al., 2011a; Rodríguez-Marroyo et al., 2012a). Su labor se caracteriza por la larga duración del esfuerzo (10-12h de turno de trabajo y a menudo días consecutivos) (Chappel et al., 2016), largas caminatas transportando cargas muy pesadas (20-25 kg) (Sol et al., 2018), manejo de distintas herramientas de raspado, corte y extinción, y alta tensión térmica debido a las altas temperaturas cuando trabajan cerca del fuego (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a). A parte de ser necesaria una buena condición física para el acceso, también es necesario mantenerla a lo largo del tiempo para poder salvaguardar su salud durante toda la vida laboral (Christison et al., 2021; Cornell et al., 2017). Por ello Agencias de diversos países implementan pruebas no solo como acceso previo al trabajo, sino como requisito anual para continuar trabajando en el sector (BOE-A-2019-10646. (Ministerio de Trabajo, 2019; Gumieniak et al., 2018a, 2018b; Phillips et al., 2011; Sharkey & Gaskill, 2009). Es el caso del Pack Test (PT), una prueba implementada por agencias estadounidenses (Sharkey & Gaskill, 2009), australianas (Petersen et al., 2010) o españolas (Carballo-Leyenda et al., 2021), entre otras, que implica una caminata de 4.83 km sobre terreno llano mientras se transporta una carga de 20.4 kg en menos de 45 min (Sharkey & Rothwell, 1996). El PT intenta simular los requerimientos fisiológicos durante la extinción de IF, y desafía la aptitud cardiovascular y la fuerza muscular de los aspirantes (Netto et al., 2013).

En este tipo de profesiones, tanto aspirantes como los propios trabajadores, ya sean voluntarios o profesionales, se pueden beneficiar de un entrenamiento físico regular, demostrando los beneficios en la mejora de la salud, reducción de lesiones, aumento del rendimiento laboral, etc. (Gumieniak et al., 2018b; Michaelides et al., 2011; Perroni et al., 2014, 2021). Especialmente interesante es la implementación de programaciones de entrenamiento eficientes en el tiempo, ya que la imprevisibilidad de sus actuaciones así lo requiere (Drain & Reilly, 2019). Un entrenamiento que destaca por su funcionalidad y economía es el entrenamiento en circuito de alta intensidad (HICT), el cual puede ser implementado con material mínimo

y se basa en periodos cortos e intensos de esfuerzo, generalmente autoseleccionados por el deportista, con periodos de recuperación breve (Clayton et al., 2019; Klika & Jordan, 2013). Un HICT correctamente pautado permite mejorar la fuerza y resistencia de forma conjunta, además de incidir en el metabolismo aeróbico y anaeróbico (Klika & Jordan, 2013), y este ya ha demostrado sus beneficios en Bomberos Estructurales (Abel et al., 2011). Sin embargo, se ha señalado que hacer ejercicio a una intensidad demasiado alta podría resultar en un esfuerzo excesivo no funcional o, por el contrario, hacer ejercicio a una intensidad demasiado baja también puede tener resultados no deseados, como la falta de adaptaciones fisiológicas beneficiosas relacionadas con un mejor rendimiento (Clayton et al., 2019). Durante estos entrenamientos, la capacidad de mantener una sobrecarga adecuada sin una interrupción crítica de la homeostasis que conduzca a una fatiga prematura está controlada por la duración del intervalo o la duración del período de recuperación (Laurent et al., 2014). La duración del intervalo está relacionada directamente con la intensidad de los ejercicios, normalmente prescrita a la máxima que los sujetos puedan mantener durante el intervalo, y es medida con indicadores fisiológicos (*e.g.*, FC, La), y/o perceptivos (*e.g.*, RPE, sRPE) (Abel et al., 2011; Buchheit & Laursen, 2013; Clayton et al., 2019; Kilpatrick et al., 2015; Laurent et al., 2014). Estas últimas (RPE y sRPE), se establecen como indicadores ampliamente validados y económicos para la cuantificación de la intensidad del esfuerzo, con la principal limitación de una familiarización previa por parte de los deportistas (Foster et al., 2001; Rodríguez-Marroyo et al., 2012b; Seiler & Sjørusen, 2004). Además, estudios previos informaron diferencias específicas de sexo en medidas fisiológicas y respuestas perceptivas (RPE) en respuesta al entrenamiento de intervalos de alta intensidad (Clayton et al., 2019; Laurent et al., 2014).

Por todo ello, el principal objetivo de este estudio es analizar los efectos de dos tipos de entrenamiento en circuito uno en su modalidad HICT y otro indicando a los sujetos que mantengan una intensidad submáxima (SICT) en la mejora de la condición física genérica y específica (PT). Además, se pretende comparar ambos entrenamientos atendiendo al sexo de los participantes. Por último, se pretenden describir las diferencias de sexo en la condición física de un grupo de aspirantes a BBFF.

3.5.2 METODOLOGÍA

3.5.2.1 Participantes

En el estudio participaron 46 sujetos divididos en 26 mujeres y 20 hombres (24.3 ± 4.8 años; 170.0 ± 6.7 cm; 68.4 ± 13.3 cm). Todos ellos eran físicamente activos y estaban en perfecto estado de salud al inicio del estudio. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito antes de comenzar el estudio, el cual fue aprobado por el Comité de Ética local. Todos los procedimientos se llevaron a cabo de acuerdo con las directrices de la Declaración de Helsinki para experimentación en seres humanos.

3.5.2.2 Procedimiento

Los sujetos fueron divididos en dos grupos experimentales en función de su disponibilidad (HICT y SICT). El grupo de entrenamiento en circuito de alta intensidad (HICT), estuvo compuesto por 22 sujetos (10 mujeres, 12 hombres), y el grupo de entrenamiento en circuito de intensidad submaxima (SICT) por 24 sujetos (16 mujeres, 8 hombres). Antes de empezar el estudio los sujetos fueron familiarizados con los ejercicios que se emplearon en el programa de entrenamiento. Una semana antes de empezar el estudio y al finalizar el programa de entrenamiento se valoró la condición física de la muestra. Los test se realizaron a lo largo de tres sesiones de valoración separadas por 24h cada una. En la primera sesión se midieron la altura y peso de los sujetos y se valoró su capacidad aeróbica. En una segunda sesión se realizó una batería de test para valorar la fuerza de diferentes grupos musculares. Finalmente, durante la tercera sesión realizaron una prueba específica de valoración, el Pack Test (PT). Todas las pruebas se realizaron a la misma hora del día y bajo las mismas condiciones ambientales (837 m de altitud, $\sim 17^{\circ}\text{C}$ y $\sim 25\%$ humedad relativa). Previo a la valoración del PT todos los sujetos realizaron el mismo calentamiento (~ 10 min de movilidad articular y estiramientos dinámicos/ balísticos, posteriormente se realizaron ~ 5 min de activación de las principales musculaturas implicadas y para finalizar se realizó una vuelta de 400 m al 70% del máximo ritmo de prueba).

3.5.2.3 Programas de entrenamiento

Durante las 8 semanas que duró la fase experimental, los sujetos entrenaron 2 días por semana con 48 h de descanso entre sesiones. Se incluyeron acciones musculares o gestos específicos realizados por los BBFF habitualmente en sus despliegues, además de ejercicios básicos de

entrenamiento (Tabla 29). Se instruyó a los sujetos del grupo HICT a realizar los ejercicios programados en cada sesión a la máxima intensidad que pudieran mantener, buscando valores de RPE >7.5 , mientras que el SICT, se les instruyó a mantener una intensidad submáxima, con valores de RPE entre 7.5-6 (Buchheit & Laursen, 2013). Durante todas las sesiones dos expertos en entrenamiento personal y en ejercicios con BBFF velaban por el cumplimiento de la intensidad propuesta, orientaban la realización correcta de los ejercicios e individualizaban en caso de ser necesario. Los sujetos completaban una plantilla individual para el seguimiento de la RPE ejercicio a ejercicio empleando la escala de Borg 0-10 (Borg, 1982). Posteriormente, tras 30 minutos de la finalización de la sesión, completaban el valor de RPE sesión o sRPE (Foster et al., 2001).

La duración y distribución de las sesiones fue estandarizada y se veló por su cumplimiento en cada una de las sesiones (Tabla 29). Las sesiones se compusieron de 4 partes diferenciadas: i) Fase de calentamiento general (~10 min) (movilidad articular). ii) Fase de calentamiento específico (~10 min) (activación musculatura implicada en la sesión y activación cardiopulmonar con ejercicios realizados posteriormente en la parte principal). iii) Parte principal compuesta por ~20-40 min (Tabla 29) de entrenamiento en circuito alternando los grupos musculares para evitar una fatiga muscular localizada. Los ejercicios variaron en cada sesión y se buscó desarrollar las capacidades físicas más relacionadas con la labor de los BBFF (capacidad aeróbica, fuerza y resistencia muscular, potencia, flexibilidad y agilidad). iv) Vuelta a la calma (~5 min, estiramientos activos y liberación miofascial con *foam roller*).

Se fijó a priori, que los sujetos debían completar al menos un 80% del total de las sesiones realizadas (13/16 sesiones) durante las 8 semanas de entrenamiento.

Tabla 29. Programaciones de entrenamiento.

Semana	Ratio HICT	Ratio SICT	Ejercicios (martes)	Ejercicios (jueves)
1	1:2 2 series - 8 ejercicios (20/40 s) /120 s	1:2 2 series - 8 ejercicios (30/60 s) /120 s	<i>Burpees; Jumping Jacks</i> con un batefuegos; Plancha frontal tocando el hombro; Golpeo con batefuegos (lado dominante); Salto vertical con contramovimiento (CMJ); Golpeo con batefuegos (lado no dominante); <i>Mountain Climbers; Skipping.</i>	<i>Skipping</i> ; Flexiones de brazos (<i>Push-up</i>); Golpeo con batefuegos (lado dominante); Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); Plancha frontal; <i>Burpees</i> ; Golpeo con batefuegos (lado no dominante); <i>Jumping Jacks</i> con un batefuegos.
2	1:1 2 series - 7 ejercicios (30/30 s) /120 s	1:1 2 series - 7 ejercicios (30/30 s) /120 s	<i>Step up</i> o subir escalones con mochila (20kg); Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Skipping; Thruster</i> con mochila de agua (20 kg); Golpeo con batefuegos (lado no dominante).	<i>Jumping jacks; Burpees</i> ; Golpeo con el batefuegos (lado no dominante); <i>Skipping</i> ; Olas con cuerda; Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); Golpeo con el batefuegos (lado dominante).
3	1:1 2 series - 8 ejercicios (30/30 s) /120 s	1:1 2 series - 8 ejercicios (40/40 s) /120 s	<i>Jumping jacks; Kettlebell swing</i> ; Golpeo con batefuegos (lado no dominante); <i>Mountain climbers; Battle rope</i> (olas con cuerda); <i>Squat jump</i> ; Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Skipping.</i>	<i>Jumping jacks; Thruster</i> con mochila de agua (20 kg); <i>Burpees; Skipping; Farmer Walk</i> con mochila (20kg); CMJ; <i>Mountain climbers; Step up</i> con mochila (20 kg).
4	2:1 2 series - 8 ejercicios (40/20 s) /120 s	1:1 3 series - 6 ejercicios (40/40 s) /120 s	Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Thruster</i> con mochila de agua (20kg); <i>Burpees; Mountain climbers; Step up</i> con mochila (20kg); Plancha frontal con flexiones.	Golpeo con batefuegos (lado no dominante); Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); Golpeo con batefuegos (lado dominante); Paseo del granjero con mochila (20 kg); <i>Jumping jacks; Thruster</i> con mochila (20 kg).
5	2:1 2 series - 8 ejercicios (40/20 s) /120 s	1:1 2 series - 8 ejercicios (50/50 s) /120 s	Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Jumping jacks</i> con batefuegos; Golpeo con batefuegos (lado no dominante); <i>Skipping</i> ; Plancha frontal tocando el hombro; Golpeo con batefuegos (lado dominante); Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); Olas con cuerda.	Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Thruster</i> con mochila (20 kg); <i>Skipping</i> ; Cuerda de batalla; <i>Step up</i> con mochila (20 kg); <i>Mountain climbers</i> ; Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Thruster</i> con mochila (20 kg).
6	2:1 3 series - 7 ejercicios (40/20 s) /90 s	1:1 3 series - 6 ejercicios (50/50 s) /120 s	Golpeo con batefuegos (lado no dominante); Paseo del granjero con mochila (20 kg); <i>Skipping</i> ; Golpeo con batefuegos (lado dominante); Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); <i>Thruster</i> con mochila (20 kg).	Olas con cuerda; <i>Jumping jacks</i> ; Golpeo con batefuegos (lado no dominante); <i>Thruster</i> con mochila (20 kg); <i>Mountain climbers</i> ; Golpeo con batefuegos (lado dominante).
7	2:1 3 series - 7 ejercicios (30/15 s) /90 s	1:1 2 series - 8 ejercicios (60/60 s) /120 s	<i>Skipping; Burpees; Jumping jacks</i> ; Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); <i>Thruster</i> con mochila (20 kg); <i>Mountain climbers; Push up.</i>	Plancha frontal tocando el hombro; Sentadilla con salto (<i>Squat jump</i>); <i>Skipping</i> ; Golpeo con batefuegos (lado no dominante); Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); <i>Mountain climbers</i> ; Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Jumping jacks.</i>
8	2:1 3 series - 7 ejercicios (30/15s) /90 s	1:1 3 series - 6 ejercicios (60/60 s) /120 s	Golpeo con batefuegos (lado dominante); Paseo del granjero con mochila (20 kg); Sentadilla con mochila (20 kg); <i>Mountain climbers</i> ; Golpeo con batefuegos (lado no	<i>Skipping</i> ; Golpeo con batefuegos (lado dominante); <i>Jumping jacks; Thruster</i> con mochila (20 kg); Salto de zancada (<i>Lunge jump</i>); Golpeo con batefuegos (lado no

3.5.2.4 Pruebas de valoración

Durante la segunda sesión de valoración se realizaron 5 tests para valorar la fuerza de diferentes partes corporales. El Biering-Sorensen test se usó para medir la fuerza-resistencia isométrica de los músculos extensores del tronco (Biering-Sorensen, 1984; McGill et al., 2013). Para su realización se colocó al sujeto sobre una camilla en decúbito prono, alineando las crestas ilíacas con el borde de una camilla. Se contabilizó el tiempo máximo que cada sujeto pudo mantener la postura, hasta un máximo de 240 s.

La medición de la fuerza resistencia de la musculatura del tren superior se analizó empleando el *push up test* (ACSM, 2013; Cook et al., 2014). Los sujetos se colocaron en una posición de tabla o plancha con las manos separadas el ancho de los hombros y los codos completamente extendidos. Los sujetos debían completar tantas flexiones como les fuera posible (tocando con el pecho en la colchoneta) hasta el agotamiento, sin descanso o hasta que se realizaron dos flexiones de brazos consecutivas de forma incorrecta o con una técnica inadecuada. Se determinó la cantidad total de flexiones completadas correctamente (ACSM, 2013).

El test de la plancha o *plank test* se realizó para valorar la fuerza resistencia del Core, para lo cual el sujeto mantuvo su cuerpo en una posición de tablón sobre el suelo, apoyado en los dedos de los pies y los antebrazos. Los codos de los sujetos se mantuvieron separados el ancho de los hombros con las manos en puños en frente de la cara. La prueba terminó cuando los sujetos no pudieron mantener la posición de la pelvis o la cintura escapular. Se valoró el tiempo total que mantuvieron la postura, hasta un tiempo máximo de 300 s (Cornell et al., 2017; McGill et al., 2013).

La fuerza explosiva de la extremidad inferior fue valorada por medio de un salto con contramovimiento (Bosco & Komi, 1979). Los sujetos realizaron el salto manteniendo las manos en la cadera. La altura de salto fue determinada usando el teléfono móvil, con una *APP* previamente validada (Balsalobre-Fernández et al., 2015). Se realizaron tres saltos y se registró el mejor valor de los tres para el análisis posterior.

La fuerza de prensión manual se midió utilizando un dinamómetro (TKK 5401, Takei Scientific Instruments CO., Ltd, Nigata, Japón). Se instruyó a los

participantes para que apretaran el dispositivo lo más fuerte posible manteniendo el codo flexionado 90° y el antebrazo en posición neutra mientras permanecían sentados (Nazari et al., 2018). Se valoró la fuerza de la mano dominante.

Por último, en la tercera sesión de valoración se realizó el PT en una pista de atletismo. Los sujetos completaron 12 vueltas, una distancia total de 4.8 km, llevando una mochila con 20.4 kg (Carballo-Leyenda et al., 2021; Petersen et al., 2010). Aunque originalmente los sujetos deben completar la distancia en menos de 45 minutos (Sharkey & Rothwell, 1996) se indicó a los sujetos que completaran la prueba en el menor tiempo posible sin llegar a correr. A lo largo de la prueba se proporcionó estímulo verbal a los sujetos, pero no se administró retroalimentación del ritmo en ningún momento (Carballo-Leyenda et al., 2021). Durante toda la prueba se registró la respuesta de humedad relativa cada 5 s (Polar RS800CX, Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia). Además, la RPE de los BBFF se obtuvo durante los últimos 10m de cada vuelta utilizando la escala de Borg (1-10) (Borg, 1982). Finalmente, y tras 30 minutos se solicitó a los participantes un valor global de RPE, o RPE sesión (Foster et al., 2001). El tiempo de prueba se cronometró utilizando unas células fotoeléctricas (DSD Laser System, DSD Inc., León, España). Todos los sujetos estaban previamente familiarizados con el PT.

3.5.2.5 Análisis estadístico

Los resultados se expresan como media \pm SD. La normalidad de los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Las características (volumen, intensidad y carga de entrenamiento) de los dos programas de entrenamiento se compararon utilizando una prueba *t* de Student para muestras independientes. Las diferencias entre los resultados obtenidos en las pruebas de valoración fueron estudiadas mediante una ANOVA de medias repetidas de 3 vías [sexo de los sujetos (hombre vs. mujer), programa de entrenamiento (HICT vs. SICT) y tiempo (pre vs. post entrenamiento)]. Cuando se analizó un valor *F* significativo, se empleó el test de Bonferroni para establecer las diferencias entre medias. Por último, se realizó una *t* de Student para muestras independientes para comparar los porcentajes de cambio entre los programas de entrenamiento realizados. Valores $p < 0.05$ fueron considerados estadísticamente significativos. El programa estadístico IBM SPSS Statistics v.19.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) fue utilizado para el análisis.

3.5.3 RESULTADOS

3.5.3.1 Análisis de la carga de trabajo

No se encontraron diferencias significativas en la carga de los entrenamientos (5574.8 ± 498.0 y 5337.8 ± 969.7 UA en HICT y SICT, respectivamente). Por el contrario, el tiempo de las sesiones (673.0 ± 43.1 y 747.5 ± 125.1 min en HICT y SICT, respectivamente), y la RPE sesión (8.3 ± 0.4 y 7.2 ± 0.4 en HICT y SICT, respectivamente) fueron significativamente diferentes.

Tabla 30. Variables físicas y fisiológicas, respecto al tipo de entrenamiento.

	HICT (n= 24)			SICT (n= 22)		
	Pre	Post	%	Pre	Post	%
Peso (kg)	69.6 ± 2.4	70.0 ± 2.3	0.8 ± 2.7	69.7 ± 2.4	69.8 ± 2.3	0.1 ± 2.5
Masa grasa (%)	19.9 ± 1.3	21.1 ± 1.2	6.4 ± 11.2†	21.1 ± 1.3	19.7 ± 1.2	-3.0 ± 11.8
FC_{max} (ppm)	189 ± 2	187 ± 2	-0.6 ± 2.7	191 ± 2	190 ± 2	-0.3 ± 3.5
VO_{2max} (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	45.4 ± 1.4	45.9 ± 1.5	2.5 ± 8.1	50.3 ± 1.5	53.9 ± 1.5*	5.3 ± 15.4
VO_{2max} (l·min⁻¹)	3.15 ± 0.12	3.19 ± 0.12	3.1 ± 8.2	3.56 ± 0.12	3.79 ± 0.12*	5.3 ± 15.9
CMJ (cm)	27.5 ± 1.2	29.8 ± 1.2*	8.3 ± 5.3†	30.7 ± 1.2	31.7 ± 1.2*	3.1 ± 6.7
CMJ (W)	2765.3 ± 106.4	2932.8 ± 98.0*	7.3 ± 5.3†	2964.7 ± 105.2	3029.2 ± 96.9*	2.2 ± 6.1
CMJ (W·kg⁻¹)	39.5 ± 1.0	41.9 ± 1.0*	6.6 ± 4.2†	42.1 ± 1.0	43.0 ± 1.0*	2.1 ± 5.1
Plank test (s)	127.3 ± 12.8	166.8 ± 12.9*	20.5 ± 19.5	164.4 ± 12.6	184.5 ± 12.8*	11.9 ± 14.9
Din. (kgf)	39.7 ± 1.2	39.9 ± 1.0	2.6 ± 7.8	39.7 ± 1.2	40.1 ± 1.0	1.3 ± 9.5
Din. (kgf·kg⁻¹)	0.58 ± 0.02	0.58 ± 0.02	1.8 ± 7.3	0.57 ± 0.02	0.57 ± 0.02	1.1 ± 9.4
Push up (rep)	25 ± 2	30 ± 2*	26.8 ± 27.6	19 ± 2	24 ± 2*	20.9 ± 18.6
Sorensen (s)	117.3 ± 11.5	139.2 ± 10.5*	14.3 ± 22.6	137.7 ± 11.4	156.5 ± 10.4*	12.6 ± 18.1
Pack Test (min)	40.9 ± 0.8	37.9 ± 0.8*	-7.5 ± 5.9†	40.5 ± 0.8	39.7 ± 0.8*	-2.5 ± 4.7
FC (%)	85.5 ± 1.3	90.2 ± 1.2*	3.9 ± 8.7	90.5 ± 1.3	92.2 ± 1.2	-1.5 ± 6.9
RPE	6.6 ± 0.2	8.2 ± 0.2*	17.3 ± 14.6†	7.5 ± 0.2	7.4 ± 0.2	-1.7 ± 12.0
Cadencia (pasos·min⁻¹)	151.6 ± 6.0	150.3 ± 6.9	-0.1 ± 12.9	144.2 ± 5.9	149.0 ± 6.8	3.1 ± 5.7

Valores expresados en media ± SD. VO_{2max}, consumo máximo de oxígeno; FC_{max}, frecuencia cardíaca máxima; CMJ, salto con contramovimiento; Din., dinamometría manual; FC (%), porcentaje de la FC_{max} durante la prueba Pack Test; RPE, percepción subjetiva del esfuerzo durante el Pack Test. *, diferencias significativas entre pre-post entrenamiento (p<0.05). †, diferencias significativas entre HICT y SICT (p<0.05).

3.5.3.2 Efecto del programa de entrenamiento

Tras 8 semanas de entrenamiento se observaron mejoras (p<0.05) en ambos tipos de entrenamiento en: potencia de salto (altura, W y W·kg⁻¹); fuerza-resistencia del core; fuerza resistencia de musculatura de empuje del tren superior; fuerza resistencia de musculatura extensora del tronco; tiempo del Pack Test (Tabla 30). Sin embargo, únicamente el entrenamiento SICT mejoró el VO_{2max} y el entreno HICT aumentó el porcentaje de humedad

relativa y RPE durante el PT. Hay que destacar el mayor porcentaje de mejora ($p < 0.05$) del entrenamiento HICT en CMJ (cm, W y $W \cdot \text{kg}^{-1}$), tiempo en el PT, RPE total, y el SICT en la reducción de masa grasa.

3.5.3.3 influencia del sexo de los sujetos

Las mejoras significativas del entrenamiento sin tener en cuenta la intensidad se pueden ver en Tabla 31, tanto hombres como mujeres mejoraron significativamente el CMJ (cm, W y $W \cdot \text{kg}^{-1}$), *plank test*, *push up*, el tiempo del PT y RPE durante PT. El porcentaje de mejora tras los entrenamientos fue significativamente mayor en las mujeres en las siguientes pruebas; CMJ (W y $W \cdot \text{kg}^{-1}$), dinamometría manual (absoluta (kgf) y relativa ($\text{kgf} \cdot \text{kg}^{-1}$) y *push up*. En los hombres: *plank test*, Sorensen y tiempo del PT. Hay que señalar que, pese a las mejoras de las mujeres durante 8 semanas de entrenamiento, los valores son inferiores en todas las pruebas y marcadores, salvo en la prueba de Sorensen donde las mujeres muestran una fuerza resistencia de la musculatura extensora del tronco mayor tanto en el pre (162.9 ± 10.1 y 98.9 ± 12.3 s en mujeres y hombres, respectivamente), como en el post entrenamiento (172.0 ± 9.8 y 129.6 ± 11.6 s en mujeres y hombres, respectivamente).

Tabla 31. Variables físicas y fisiológicas, respecto al sexo.

	Mujeres (n=26)			Hombres (n= 20)		
	Pre	Post	%	Pre	Post	%
Peso (kg)	61.7 ± 2.1	61.9 ± 2.0	0.5 ± 2.7	77.2 ± 2.4	77.6 ± 2.3	0.5 ± 2.5
Masa grasa (%)	25.5 ± 1.23	26.1 ± 1.1	2.3 ± 6.7	15.5 ± 1.4	15.4 ± 1.2	1.3 ± 17.3
FC_{max} (ppm)	191 ± 2	190 ± 2	-0.7 ± 3.0	189 ± 2	188 ± 2	-0.2 ± 3.2
VO_{2max} (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	40.2 ± 1.4	42.9 ± 1.6*	5.3 ± 13.2	54.9 ± 1.6	56.2 ± 1.8	1.9 ± 10.5
VO_{2max} (l·min⁻¹)	2.5 ± 0.1	2.6 ± 0.1*	5.5 ± 13.7	4.2 ± 0.1	4.3 ± 0.1	2.4 ± 10.5
CMJ (cm)	25.2 ± 1.1	27.2 ± 1.1*	7.4 ± 7.0	33.6 ± 1.3	34.9 ± 1.3*	3.7 ± 5.2
CMJ (W)	2267.0 ± 96.6	2414.3 ± 88.4*	6.5 ± 7.0†	3485.1 ± 110.1	3579.8 ± 100.8*	2.7 ± 4.2
CMJ (W·kg⁻¹)	36.6 ± 0.9	38.7 ± 0.9*	6.1 ± 5.6†	45.1 ± 1.1	46.3 ± 1.0*	2.2 ± 3.4
Plank test (s)	135.5 ± 11.9	153.6 ± 11.6*	11.4 ± 17.8†	155.6 ± 13.5	197.6 ± 13.2*	22.8 ± 16.1
Din. (kgf)	30.6 ± 1.1	32.5 ± 0.9*	5.7 ± 7.7†	48.4 ± 1.2	47.0 ± 1.1*	-2.9 ± 7.2
Din. (kgf·kg⁻¹)	0.50 ± 0.02	0.53 ± 0.02*	5.2 ± 7.5†	0.64 ± 0.02	0.61 ± 0.02*	-3.4 ± 6.7
Push up (rep)	14 ± 2	19 ± 2*	30.4 ± 27.1†	28 ± 2	33 ± 2*	15.6 ± 15.2
Sorensen (s)	162.9 ± 10.1	172.0 ± 9.8	4.8 ± 18.3†	98.9 ± 12.3	129.6 ± 11.6*	24.8 ± 17.5
Pack Test (min)	43.5 ± 0.7	42.1 ± 0.7*	-3.4 ± 4.2†	38.4 ± 0.8	35.8 ± 0.8*	-7.4 ± 6.9
FC (%)	91.5 ± 1.5	92.5 ± 1.2	0.9 ± 4.5	86.3 ± 1.7	91.2 ± 1.4*	1.8 ± 11.6
RPE	7.4 ± 0.2	8.0 ± 0.2*	6.5 ± 17.6	6.7 ± 0.2	7.6 ± 0.2*	10.4 ± 14.7
Cadencia (pasos·min⁻¹)	150.1 ± 5.3	145.9 ± 6.1	-0.5 ± 11.6	145 ± 6.1	151.9 ± 7.0	4.1 ± 7.5

Valores expresados en media ± SD. VO_{2max}, consumo máximo de oxígeno; FC_{max}, frecuencia cardíaca máxima; CMJ, salto con contramovimiento; Din., dinamometría manual; FC (%), porcentaje de FC_{max} durante la prueba Pack Test; RPE, percepción subjetiva del esfuerzo durante el Pack Test. *, diferencias significativas entre pre-post entrenamiento ($p < 0.05$). †, diferencias significativas entre mujeres y hombres ($p < 0.05$).

3.5.3.4 Interacción entrenamiento y sexo de los sujetos

Los porcentajes de mejora en función de la interacción tipo de entrenamiento realizado y sexo de los bomberos se muestran en la Tabla 32. El entrenamiento HICT provocó mayores mejoras en las mujeres en 7 de los parámetros físicos (peso, masa grasa, CMJ (W y $W \cdot kg^{-1}$), fuerza de agarre (absoluta y relativa) y *push up*), mientras que en los hombres el porcentaje de mejora fue mayor en el test de Sorensen, tiempo del Pack test, y % de FC durante el Pack Test. Respecto al entrenamiento SICT, parece ser más efectivo en la reducción de masa grasa en el grupo de hombres (3.4 ± 8.0 y $-8.4 \pm 12.1\%$ en mujeres y hombres, respectivamente) y en la mejora de la fuerza de agarre en mujeres (absoluta, 6.4 ± 8.3 y $-3.0 \pm 8.5\%$ y relativa, 6.8 ± 8.1 y $-3.6 \pm 7.9\%$ en mujeres y hombres, respectivamente). Al comparar entre sexos, hay que destacar el mayor porcentaje de mejora del entrenamiento HICT en el tiempo del PT tanto en mujeres (-5.0 ± 3.6 y -0.7 ± 3.7 min en HICT y SICT, respectivamente), como en hombres (-12.5 ± 6.5 y 4.0 ± 5.0 min en HICT y SICT, respectivamente).

Tabla 32. Porcentajes de cambio en variables físicas y fisiológicas.

	Mujeres		Hombres	
	HICT (n= 16)	SICT (n=10)	HICT (n=8)	SICT (n=12)
Peso (kg)	$1.0 \pm 2.7\ddagger$	-0.5 ± 2.5	0.3 ± 2.7	0.6 ± 2.5
Masa grasa (%)	$1.6 \pm 6.0\ddagger$	$3.4 \pm 8.0\ddagger$	$15.9 \pm 13.5^*$	-8.4 ± 12.1
FC_{max} (ppm)	-0.1 ± 2.6	-1.8 ± 3.5	-1.8 ± 2.8	0.8 ± 3.1
VO_{2max} (ml·kg⁻¹·min⁻¹)	4.3 ± 7.8	6.8 ± 19.4	-1.3 ± 7.7	4.0 ± 11.9
VO_{2max} (l·min⁻¹)	4.8 ± 8.3	6.6 ± 20.0	-0.4 ± 7.2	4.2 ± 12.2
CMJ (cm)	9.2 ± 4.9	4.5 ± 9.0	6.4 ± 5.8	1.9 ± 4.0
CMJ (W)	$8.9 \pm 5.0^{*\ddagger}$	2.7 ± 8.3	4.1 ± 4.9	1.8 ± 3.6
CMJ (W·kg⁻¹)	$8.0 \pm 3.8^{*\ddagger}$	3.2 ± 6.9	3.8 ± 3.7	1.2 ± 2.8
Plank test (s)	16.3 ± 19.7	$3.7 \pm 11.2\ddagger$	29.0 ± 17.2	18.7 ± 14.5
Din. (kgf)	$5.2 \pm 7.6\ddagger$	$6.4 \pm 8.3\ddagger$	-2.7 ± 5.2	-3.0 ± 8.5
Din. (kgf·kg⁻¹)	$4.2 \pm 7.2\ddagger$	$6.8 \pm 8.1\ddagger$	-3.1 ± 4.7	-3.6 ± 7.9
Push up (rep)	$35.5 \pm 29.3\ddagger$	22.4 ± 22.1	9.6 ± 12.4	19.7 ± 16.0
Sorensen (s)	$4.8 \pm 20.2\ddagger$	4.7 ± 15.9	33.2 ± 14.1	19.2 ± 17.7
Pack Test (min)	$-5.0 \pm 3.6^{*\ddagger}$	-0.7 ± 3.7	$-12.5 \pm 6.5^*$	-4.0 ± 5.0
FC (%)	$0.9 \pm 3.6\ddagger$	0.8 ± 6.0	$9.8 \pm 12.8^*$	-3.5 ± 7.2
RPE	$14.7 \pm 16.7^*$	-6.6 ± 9.5	$22.4 \pm 7.5^*$	2.4 ± 12.7
Cadencia (pasos·min⁻¹)	-1.5 ± 14.1	1.0 ± 6.1	2.7 ± 10.3	5.2 ± 4.5

Valores expresados en media \pm SD. VO_{2max}, consumo máximo de oxígeno; FC_{max}, frecuencia cardíaca máxima; CMJ, salto con contramovimiento; Din., dinamometría manual; FC (%), porcentaje de FC_{max} durante la prueba Pack Test; RPE, percepción subjetiva del esfuerzo durante el Pack Test. *, diferencias significativas entre HICT y SICT ($p < 0.05$). †, diferencias significativas entre sexos ($p < 0.05$).

3.5.3.5 Diferencias de sexo

Se encontraron diferencias significativas entre mujeres y hombres en todas las variables de estudio salvo en FC_{\max} , *plank test* y la cadencia del PT (Tabla 33). Hay que destacar que los hombres tuvieron mayores valores en todas las pruebas físicas, salvo en el test de Sorensen, donde las mujeres mostraron un ~52% de mayor fuerza resistencia de musculatura extensora del tronco (166.0 ± 9.7 y 109.3 ± 11.0 s en mujeres y hombres, respectivamente). Hay que destacar como las diferencias se reducen entorno un ~50% cuando se relativizan los datos al peso, tanto en CMJ como en fuerza de agarre.

Tabla 33. Diferencias de sexo en variables físicas y fisiológicas.

	Mujeres	Hombres	%
Peso (kg)	62.0 ± 2.2	77.6 ± 2.5	$20.1 \pm 11.7\ddagger$
Masa grasa (%)	25.8 ± 1.1	15.1 ± 1.2	$-70.4 \pm 11.6\ddagger$
FC_{\max} (ppm)	191 ± 2	188 ± 2	-1.6 ± 0.0
$VO_{2\max}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	42.6 ± 1.3	55.2 ± 1.4	$22.8 \pm 9.6\ddagger$
$VO_{2\max}$ ($l \cdot min^{-1}$)	2.6 ± 0.1	4.2 ± 0.1	$37.5 \pm 9.4\ddagger$
CMJ (cm)	26.1 ± 1.1	33.7 ± 1.3	$22.5 \pm 11.7\ddagger$
CMJ (W)	2342.0 ± 94.3	3504.0 ± 106.7	$33.2 \pm 11.7\ddagger$
CMJ ($W \cdot kg^{-1}$)	37.6 ± 0.9	45.7 ± 1.0	$16.3 \pm 0.0\ddagger$
<i>Plank test</i> (s)	147.7 ± 11.7	173.8 ± 13.3	15.0 ± 11.7
Din. (kgf)	31.8 ± 1.0	47.9 ± 1.1	$33.6 \pm 11.6\ddagger$
Din. ($kgf \cdot kg^{-1}$)	0.52 ± 0.019	0.628 ± 0.021	$17.2 \pm 9.5\ddagger$
<i>Push up</i> (rep)	17.3 ± 1.6	32.4 ± 1.8	$46.5 \pm 11.7\ddagger$
Sorensen (s)	166.0 ± 9.7	109.3 ± 11.0	$-51.9 \pm 11.7\ddagger$
Pack Test (min)	42.7 ± 0.7	36.8 ± 0.8	$-15.8 \pm 11.8\ddagger$
FC (%)	91.5 ± 1.0	87.7 ± 1.2	$-4.4 \pm 11.7\ddagger$
RPE	7.7 ± 0.2	7.2 ± 0.2	$-7.0 \pm 11.9\ddagger$
Cadencia ($pasos \cdot min^{-1}$)	148.2 ± 4.0	149.4 ± 4.5	0.8 ± 11.7

Valores expresados en media \pm SD. $VO_{2\max}$, consumo máximo de oxígeno; FC_{\max} , frecuencia cardíaca máxima; CMJ, salto con contramovimiento; Din., dinamometría manual; FC (%), porcentaje de FC_{\max} durante la prueba Pack Test; RPE, percepción subjetiva del esfuerzo durante el Pack Test. †, diferencias significativas entre hombres y mujeres ($p < 0.05$).

3.5.4 DISCUSIÓN

Hasta dónde llega nuestro conocimiento la presente investigación se trata de la primera que analiza la influencia de dos tipos de entrenamiento en circuito (HICT-SICT) iguales en carga y distintos en intensidad y volumen, en una muestra de aspirantes a bombero forestal. El principal resultado de este estudio fue que tanto el entrenamiento en circuito de alta intensidad

(HICT) como el entrenamiento en circuito de intensidad submáxima (SICT) produjeron mejoras significativas en diferentes variables físicas.

En cuanto a la carga de los entrenamientos, no se encontraron diferencias significativas entre el HICT y el SICT, lo que era de esperar ya que las intensidades propuestas y las ratios de trabajo se plantearon con ese fin. Por el contrario, se observaron diferencias significativas en el tiempo de las sesiones y la percepción subjetiva del esfuerzo durante las sesiones (RPE sesión). El entrenamiento HICT tuvo sesiones de menor duración, pero con una mayor percepción de esfuerzo, mientras que el entrenamiento SICT tuvo sesiones más largas, pero con una menor percepción de esfuerzo. Estos resultados indican que el entrenamiento HICT puede proporcionar un estímulo más intenso en un tiempo más corto, lo que puede ser beneficioso para individuos con limitaciones de tiempo, como es el caso de los BBFF (Drain & Reilly, 2019), además requiere de poco o ningún material, y pueden ser realizados en variedad de entornos (Klika & Jordan, 2013), cuestiones de las que nuevamente se pueden beneficiar los BBFF. Los resultados de mejoras en variables físicas y fisiológicas son coherentes con investigaciones previas, incluido un estudio previo de nuestro grupo de investigación que se centró en el entrenamiento HICT implementado en BBFF profesionales (Gutiérrez-Arroyo et al., 2023). La metodología de entrenamiento fue prácticamente idéntica en ambos casos (HICT y SICT), siendo las principales diferencias la ratio de trabajo y la intensidad planteada. Por lo tanto, las similitudes en los resultados eran previsibles. Además, se han reportado mejoras similares a otros entrenamientos en circuito aplicados a Bomberos Estructurales (Chizewski et al., 2021), personal militar (Heinrich et al., 2012; Newman et al., 2022), y población deportista (Mcrae et al., 2012).

Tanto el HICT como el SICT demostraron mejoras en diversas pruebas de rendimiento, como la potencia de salto (CMJ), la fuerza-resistencia del core, la fuerza-resistencia de la musculatura del tren superior y el tiempo del PT (Tabla 30). Sin embargo, el HICT fue superior en el CMJ y el tiempo del Pack Test, lo que podría atribuirse a su mayor intensidad. Mientras que la premisa en el entrenamiento HICT fue la de que los sujetos debían realizar los intervalos a la máxima intensidad, los entrenamientos SICT, tenían la limitación de intentar realizarlos a una intensidad submáxima (6-8 RPE). En nuestro estudio las mejoras en potencia del tren inferior (CMJ) y el tiempo del PT fueron del 8.5 ± 5.3 y $-7.5 \pm 5.9\%$, en el caso del HICT, mientras que en el SICT las mejoras fueron del 3.1 ± 6.7 y $-2.5 \pm 4.7\%$. Estos resultados coinciden con los obtenidos en el estudio de Gutiérrez-Arroyo et al., (2023),

con mejoras del 7.1 ± 5.8 y $-12.2 \pm 6.1\%$ en CMJ y Pack Test, respectivamente, en una muestra de 8 BBFF profesionales. Además, recientemente se ha señalado que es probable que los programas de entrenamiento que enfatizan en la alta intensidad y entrenen una amplia variedad de movimientos, maximizan la adherencia de los participantes y son adaptables a una variedad de situaciones (Newman et al., 2022).

En el caso del SICT, se observaron mayores mejoras en la reducción de la masa grasa y el aumento del VO_{2max} en comparación con el HICT (Tabla 30). Esto podría relacionarse con la mayor duración de las sesiones de entrenamiento en el SICT (673.0 ± 43.1 y 747.5 ± 125.1 min para HICT y SICT, respectivamente), así como la intensidad submáxima predefinida para el SICT. Al igual que en nuestro estudio, se ha señalado que entrenamientos interválicos de alta intensidad de poco volumen no se han asociado a mejoras del VO_{2max} y variables de composición corporal como el porcentaje de masa grasa en población general (Sultana et al., 2019), por el contrario entrenamientos continuos de intensidad moderada, o entrenamientos cercanos al punto de máxima oxidación de las grasas o *fat max*, si se han asociado a la mejora de estos parámetros (Sultana et al., 2019; Yin et al., 2023). Estos hallazgos podrían explicar las mejoras observadas en el SICT en términos de la masa grasa y el VO_{2max} .

En cuanto a los efectos del entrenamiento en función del sexo (Tabla 30), ambos grupos mostraron mejoras significativas en CMJ (cm, W y $W \cdot kg^{-1}$), *plank test*, *push up*, y el tiempo del Pack Test, lo que sugiere que los beneficios del entrenamiento en circuito se aplican por igual a hombres y mujeres físicamente activos. Sin embargo, solo el grupo de mujeres presentó mejoras significativas en el VO_{2max} , lo cual podría deberse a las diferencias iniciales en la condición física. Mientras que los hombres partieron de niveles de VO_{2max} superiores a los de referencia (54.9 vs. 49.5 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), las mujeres en nuestra muestra comenzaron con valores similares a las referencias de capacidad aeróbica para su grupo de edad (20-29 años) (40.2 vs. 40.6 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) (Peterman et al., 2020). Se observa una explicación similar para la mejora en el test de Sorensen en el grupo masculino, mientras las mujeres partían con valores muy superiores a los valores de referencia (163 ± 10 y 106 ± 44 s), los hombres partían con niveles por debajo de los valores normativos (99 ± 12 y 119 ± 47 s pre y post entrenamiento, respectivamente) (Adedoyin et al., 2011).

Los porcentajes de mejora variaron entre hombres y mujeres en diferentes pruebas, con las mujeres experimentando mejoras más significativas en el

CMJ, la fuerza de agarre y las flexiones de brazos (*push up*), mientras que los hombres mostraron mejoras más pronunciadas en las pruebas de Sorensen, plancha y el tiempo del PT (Tabla 31). Estos resultados son coherentes con una revisión reciente que destaca las diferencias de sexo en el rendimiento físico después del entrenamiento militar, resaltando las mejoras de las mujeres militares en la fuerza de agarre y el test de flexiones de brazos (Varley-Campbell et al., 2018). Del mismo modo, un estudio de entrenamiento militar realizado en 137 reclutas del ejército israelí también indicó mejoras más significativas en el grupo de entrenamiento de mujeres en la prueba de flexiones de brazos (Yanovich et al., 2008). Sin embargo, es interesante remarcar que, en contra de las expectativas, los hombres mostraron una mejora más significativa en el tiempo del PT. Esto podría ser debido a que el rendimiento durante el transporte de cargas pesadas, como es el caso del Pack Test, donde los sujetos deben portar una mochila de ~20 kg de peso está directamente relacionada con el VO_{2max} , y con el peso de los sujetos (Taylor et al., 2016). A pesar de la mejora del VO_{2max} en las mujeres, su peso corporal era significativamente menor que el de los hombres (~62 vs. ~78 kg), lo que resultó en una diferencia de carga absoluta sustancial a transportar (~33 vs. ~26% de su peso corporal, respectivamente). Esta diferencia en la carga absoluta también se ha asociado con un mayor riesgo de lesiones musculoesqueléticas en mujeres trabajadoras de emergencias o FR (Epstein et al., 2013; Roberts et al., 2016).

Con relación a los porcentajes de mejora en las variables físicas y fisiológicas atendiendo a la doble agrupación (sexo, y tipo de entrenamiento) (Tabla 32), se puede observar como el entrenamiento máximo provocó mayores mejoras en el tiempo de la prueba PT para ambos sexos (-5.0 ± 3.6 y $-0.7 \pm 3.7\%$ en mujeres durante HICT y SICT, respectivamente; -12.5 ± 6.5 y $-4.0 \pm 5.0\%$ en hombres durante HICT y SICT, respectivamente). Lo cual podría estar relacionado con las mejoras en variables submáximas como son el RCT, o el VT, si bien estas variables no fueron evaluadas, en otros estudios relacionados con entrenamientos de alta intensidad en BBFF (Gutiérrez-Arroyo et al., 2023) y militares (Schaun et al., 2018), se observaron mejoras en estas variables tras entrenamientos similares, además de incrementos en pruebas como el Pack Test, y pruebas que simulaban una intervención militar. Adicionalmente, se ha podido observar como las mujeres del entrenamiento HICT tuvieron mayores incrementos de mejora que el grupo de hombres HICT en las pruebas de CMJ (W y $W \cdot kg^{-1}$), fuerza de agarre (kgf , y $kgf \cdot kg^{-1}$) y *push up test*. Lo cual podría estar relacionado con dos factores. El primero puede hacer referencia a los puntos iniciales o de partida,

menores en las mujeres respecto al de los hombres en CMJ (25.2 ± 1.3 y 29.7 ± 1.9 cm) y *push up* (12 ± 2 y 38 ± 3 repeticiones), por lo que el incremento era esperado. Además, en el caso de los valores de fuerza de agarre, ambos inferiores a los valores de referencia para su grupo edad (20-29 años) (Günther et al., 2008) tanto en mujeres (32 ± 5 y 30 ± 1 kgf, valores de referencia y en nuestro estudio, respectivamente) como en hombres (53 ± 8 , y 49 ± 2 kgf, respectivamente), sin olvidarnos que los hombres experimentaron una reducción en el rendimiento en dicha prueba (49 ± 2 y 48 ± 2 kgf en pre y post entrenamiento, respectivamente). El segundo factor, hace referencia a que las mujeres demuestran una mejor recuperación durante el entrenamiento en intervalos de alta intensidad, con valores perceptivos inferiores (Laurent et al., 2014), además de informar mayores porcentajes de consumo de oxígeno durante entrenamientos tipo HICT lo que respalda una mayor intensidad de ejercicio autoseleccionada entre las mujeres (Clayton et al., 2019), llevando a una mayor tensión durante los entrenamientos y podría explicar en parte estos mayores aumentos.

Finalmente, en la Tabla 33 se observan las diferencias entre sexos en variables físicas y fisiológicas. En general concuerdan con lo establecido por la literatura con relación al tamaño, peso, porcentaje de grasa, consumo de oxígeno y pruebas de fuerza y valoración de la condición física genérica tanto en población general como en FR (Roberts et al., 2016; Epstein et al., 2013). Con relación a la parte específica, a pesar de la instrucción dada a los participantes para que completaran el PT en el menor tiempo posible, solo tres aspirantes, todas mujeres, no lograron superar la prueba (recordar que se trata de una prueba utilizada como prueba de acceso al empleo, la cual consiste en realizar un recorrido de 4.800 m portando una mochila de 20.4 kg, sin correr, en menos de 45 min (Sharkey & Rothwell, 1996)). Esta tendencia no es exclusiva de este estudio; se ha observado que, en otras profesiones, como en los BBFF canadienses (Gumieniak, et al., 2018a) y trabajadores penitenciarios (Jamnik et al., 2013), aquellos que no superaban las pruebas de acceso eran predominantemente mujeres. En todos los casos las diferencias en esta prueba pueden estar explicadas por las diferencias fisiológicas de la muestra entre sexos (Tabla 33). Recientemente, nuestro grupo de investigación señaló que el éxito en la prueba PT se correlacionó significativamente con el VO_{2max} , señalando que el $\sim 76\%$ de la variación en el rendimiento del PT se puede explicar por el VO_{2max} (Carballo-Leyenda et al., 2021). Además, distintos estudios han intentado identificar mediante análisis de regresión múltiple el éxito de pruebas similares en bomberos de estructura con variables físicas y fisiológicas (Michaelides et al., 2011;

Williams-Bell et al., 2009; Williford et al., 1999). Michaelides et al., (2011) mostraron que la fuerza del core, la potencia relativa, *push up*, la FC en reposo y el porcentaje de grasa contribuyeron significativamente al poder predictivo del tiempo de finalización de una prueba que simulaba el trabajo de los Bomberos. Williford et al., (1999) observaron que las variables de carrera de 1.5 millas, masa libre de grasa y *push-up* explican el ~53% de la variabilidad observada en el desempeño de un simulacro de 5 tareas propias de la extinción de incendios. Williams-Bell et al., b (2009) sugirieron que el ~65% de la varianza en la prueba de capacidad física de una prueba de incendios simulada se predijo utilizando el VO_{2max} , la masa corporal y la fuerza de agarre. Sin embargo, no se han identificado investigaciones previas que hayan examinado la relación entre las variables de condición física y los resultados de las pruebas de acceso para mujeres aspirantes a bombero forestal. Esto destaca la importancia de realizar estudios en esta área para llenar este vacío en el conocimiento.

3.6 ESTUDIO 6. DOLOR CRÓNICO EN LOS BOMBEROS FORESTALES ESPAÑOLES



Miembros de las BRIF durante la realización de labores de desplazamiento dentro de un incendio forestal (MITECO, 2023a).

3.6.1 INTRODUCCIÓN

Las tareas realizadas por los FR son eminentemente físicas y suelen estar condicionadas por las situaciones cambiantes y la incertidumbre que provocan las emergencias (Roberts et al., 2016). Este es el caso del trabajo realizado por los BBFF, los cuales realizan de manera habitual largas caminatas transportando material pesado que puede alcanzar los 20-25 kg (Sol et al., 2018), manejan herramientas de manera sistemática durante largas jornadas de trabajo que pueden superar las 10 h (Chappel et al., 2016) y tienen que soportar un elevado estrés térmico debido a las condiciones ambientales de los despliegues (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a). Estas circunstancias conllevan que la exigencia física del trabajo realizado por estos profesionales sea elevada (Rodríguez-Marroyo et al., 2011a), lo que podría incrementar a corto plazo el riesgo de sufrir una lesión o un accidente laboral, mientras que a largo plazo podría existir una mayor probabilidad de sufrir dolor crónico e incapacidad laboral (Plat et al., 2011).

Son muchos los estudios que han descrito la alta probabilidad que tienen los FR de lesionarse durante la realización de su trabajo (Britton et al., 2013; Gnacinski et al., 2015; Nazari et al., 2020; Orr et al., 2019; Phelps et al., 2018; Smith, 2011). Se ha informado que cada 8 min un bombero se lesiona en acto de servicio (Phelps et al., 2018) o que aproximadamente el 20% de los bomberos tiene la posibilidad de lesionarse durante su jornada laboral (Taylor et al., 2015). Además, se ha reportado que las zonas corporales con una mayor frecuencia de lesiones son principalmente las rodillas (~14%), la zona lumbar (~13%) y los hombros (~8%) (Taylor et al., 2015). Hasta dónde llega nuestro conocimiento, sólo un estudio ha analizado las lesiones en un amplio grupo de BBFF (Britton et al., 2013). En este estudio se analizaron un total de 1304 lesiones durante un periodo de 5 años y se observó que la causa principal de lesión fueron las caídas (~28%) y el uso y transporte de herramientas pesadas (~22%). Las zonas corporales más afectadas fueron la extremidad inferior (35%), la extremidad superior (~22%), el cuello (~19%) y la espalda (~9%) (Britton et al., 2013).

Las lesiones laborales pueden ser una de las causas que provoque en los trabajadores la aparición de dolores o molestias persistentes durante largos periodos de tiempo (≥ 3 meses) (Levins et al., 2019; Scherzer et al., 2005). Este dolor crónico (CP) puede llegar a afectar a la calidad de vida y al rendimiento laboral de los trabajadores (Scherzer et al., 2005), sobre todo en las profesiones físicamente más exigentes (Drain & Reilly, 2019). Así, se

ha informado que el 33-40% de los bomberos americanos ha sufrido algún tipo de episodio de dolor lumbar crónico, que ha condicionado su labor profesional (Damrongsak et al., 2018; Nazari et al., 2020). Aunque en trabajadores forestales se ha relacionado el uso de cargas pesadas, la realización de tareas repetidas, y el manejo de herramientas por encima de la cabeza con la probabilidad de sufrir CP en los hombros (Miranda et al., 2001), hasta donde llega nuestro conocimiento no se ha estudiado el CP en BBFF. Por ello, el objetivo de este estudio fue analizar el CP en BBFF españoles y explorar su potencial asociación con parámetros demográficos y laborales.

3.6.2 METODOLOGÍA

Este fue un estudio retrospectivo de corte transversal basado en un cuestionario online auto informado. El cuestionario fue elaborado por especialistas en salud laboral de la Universidad de León y la Universidad de Deusto (España). Previamente a su elaboración se consultó con expertos en IF para contextualizar el trabajo que realizan los BBFF y centrar las preguntas del cuestionario. Posteriormente, se elaboró un cuestionario de 45 preguntas para estudiar las lesiones ocupacionales (datos no incluidos en el artículo) y el CP de los BBFF (ver material complementario). El cuestionario estuvo formado por 4 secciones: i) características demográficas, ii) características relativas a la actividad física realizada por los BBFF, iii) lesiones relacionadas con el trabajo y iv) dolor crónico. En la primera sección se recogió información del sexo, edad, peso, altura, puesto de trabajo, herramientas utilizadas en el trabajo y los años de experiencia como BBFF. La segunda sección se enfocó en conocer el grado de actividad física realizada por los encuestados. La tercera sección se planeó para recoger información sobre el tipo y localización de las lesiones laborales sufridas por los BBFF. Las preguntas de la última sección fueron diseñadas para tratar de identificar la prevalencia y localización del CP. Se utilizaron preguntas directas de respuesta cerrada (sí, no o ns/nc) o respuesta abierta. También se utilizaron preguntas con opciones múltiples, donde los sujetos marcaban diferentes opciones de manera independiente. El tiempo necesario para completar el cuestionario no fue mayor de 15 min.

La recopilación de datos se realizó durante los meses de febrero y marzo de 2021. El cuestionario se distribuyó en formato Google Forms mediante listas de correo electrónico a los BBFF. Concretamente se envió a todos los componentes (n=557) de las Brigadas de Refuerzo contra Incendios

Forestales. Se trata de BBFF de élite que son transportados en helicóptero a los incendios. Estas dotaciones helitransportadas están ubicadas en diferentes zonas de trabajo dentro de España. Los BBFF recibieron junto con el cuestionario instrucciones acerca de cómo realizarlo, además se les ofreció ayuda para resolver cualquier duda que pudo surgir durante la realización del mismo. También se les proporcionó información sobre el propósito del estudio, el cual fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de León (España).

Una vez que se recopilaron los datos, la base de datos creada fue sometida a una revisión para resolver posibles inconsistencias, duplicidades e identificaciones dudosas. Los resultados obtenidos fueron analizados teniendo en cuenta el sexo (hombre o mujer), la edad (18-35, 36-45 y >45 años), la experiencia (≤ 10 y > 10 años) y el puesto de trabajo (especialistas, capataces, y técnicos). Además, por el efecto positivo que tiene la actividad física o el entrenamiento específico sobre la prevención de lesiones (Drain & Reilly, 2019; Epstein et al., 2013; Faber et al., 2012), los resultados fueron analizados teniendo en cuenta las horas de actividad física realizadas a la semana (baja, ≤ 3 h; moderada, 4-7 h; y alta, > 7 h), y si los sujetos realizaron algún tipo de entrenamiento específico para la prevención de lesiones (si/no). Por último, las zonas corporales donde se reportó CP fueron agrupadas en (Andersen et al., 2012; Nazari et al., 2020): i) extremidad inferior (EII) incluidas, cadera, rodilla, y tobillo; ii) extremidad superior (EES) incluyendo cuello, codo, hombro, mano, y muñecas; y iii) espalda, incluida espalda baja o lumbar y torácica.

3.6.2.1 Análisis de datos

Los datos demográficos cuantitativos se presentan como media \pm SD. La prevalencia de las respuestas a datos categóricos se informa en frecuencias y porcentajes. Se utilizó una prueba *U de Mann-Whitney* (U) y un análisis de varianza unidireccional de *Kruskal-Wallis H* para determinar las diferencias significativas entre las respuestas del grupo con respecto a los datos cuantitativos. Si se encontraban diferencias, se utilizaba una prueba post hoc de comparaciones múltiples para confirmar la significación. Se realizó un análisis de *Chi-cuadrado de Pearson* (χ^2) para evaluar si la distribución de las variables categóricas difería entre sí. Se utilizó la prueba *Q de Cochran* para comparar las frecuencias entre las zonas corporales de dolor crónico (es decir, EES, EII y espalda) dentro de cada variable categórica (Tabla 34). Se evaluaron los residuos estandarizados para detectar diferencias significativas entre las respuestas del grupo y las cuentas esperadas cuando

se identificaron asociaciones significativas. Posteriormente, se calcularon las *odds ratios* (OR), y los intervalos de confianza del 95% para analizar las asociaciones. El nivel de significación se estableció en $p < 0.05$. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando SPSS (v25, IBM Corporation, EE.UU).

3.6.3 RESULTADOS

En total 221 BBFF (18 mujeres y 203 hombres) participaron en el estudio, lo que representó el 40% de los potenciales sujetos que podrían haber cumplimentado el cuestionario. Todas las mujeres a las que se les envió el cuestionario lo cumplimentaron, sin embargo, sólo el 38% de los hombres lo hicieron.

El 59.7% de los encuestados reportó sufrir CP (Tabla 34). Se encontraron diferencias significativas en la edad ($U=3554$; $p < 0.001$) y en la experiencia ($U=3899$; $p < 0.001$) entre los BBFF que tuvieron CP y los que no reportaron CP. Los hombres con CP tuvieron mayor edad ($U=3124.5$; $p < 0.001$) y más experiencia laboral ($U=3329.5$; $p < 0.001$) que los hombres sin CP. Sin embargo, en las mujeres únicamente se encontró una mayor edad en aquellas con CP ($U=13.0$; $p=0.020$).

Tabla 34. Variables sociodemográficas según el dolor crónico y el sexo.

	Total		Mujeres		Hombres	
	NoCP (n=89)	CP (n=132)	NoCP (n=7)	CP (n=11)	NoCP (n=82)	CP (n=121)
Edad (años)	34.1 ± 6.3	38.0 ± 6.2*	30.6 ± 5.8	40.4 ± 8.3*	34.4 ± 6.2	37.8 ± 6.0*
Altura (cm)	177.6 ± 7.0	175.6 ± 6.1	169.9 ± 6.4	168.7 ± 6.6	178.2 ± 6.7†	176.2 ± 5.7†
Peso (kg)	79.3 ± 12.7	77.6 ± 11.0	66.9 ± 7.7	65.5 ± 7.2	80.4 ± 12.5†	78.7 ± 10.6†
IMC (kg·m⁻²)	25.1 ± 3.1	25.1 ± 2.8	23.1 ± 1.8	23.0 ± 1.1	25.2 ± 3.2†	25.3 ± 2.8†
Experiencia (años)	8.2 ± 5.4	11.1 ± 5.4*	6.4 ± 5.5	10.5 ± 4.9	8.3 ± 5.4	11.2 ± 5.4*
EPI (kg)	11.5 ± 4.5	11.5 ± 5.0	8.9 ± 3.0	11.8 ± 3.8	11.7 ± 4.6	11.5 ± 5.1

Valores expresados en media ± SD. NoCP, Sin dolor crónico; CP, Dolor crónico; EPI, equipo protección individual. *, diferencias entre NoCP y CP ($p < 0.05$). †, diferencias con mujeres dentro del mismo grupo ($p < 0.05$).

De los 132 encuestados que afirmaron sufrir CP el 54.5% reportaron dolor en una única zona corporal, mientras que el 45.5% reportaron sufrir dolor crónico en más de una zona corporal simultáneamente. La edad (37.2 ± 5.6 vs. 38.7 ± 6.5 años), peso (78.5 ± 11.6 vs. 76.9 ± 10.5 kg) y la experiencia laboral (11.1 ± 5.6 vs. 11.2 ± 5.2 años) de ambos grupos fue similar. Sin embargo, los BBFF con CP en más de una zona corporal fueron más ($U=2520$

p=0.022) bajos (174.9 ± 6.5 vs. 177.6 ± 7.0 cm) y usaron un equipo de protección personal significativamente más ($U=1564.5$; $p=0.006$) pesado (12.7 ± 5.4 vs. 10.1 ± 4.2 kg) que el usado por los BBFF con CP en un solo área corporal.

La prevalencia del CP en los BBFF según el sexo, posición de trabajo, edad, entrenamiento físico y preventivo, y años de experiencia se muestra en la Tabla 35. Se obtuvo una asociación significativa entre CP y los rangos de edad analizados (i.e., 18-35, 35-45 y >45 años) ($\chi^2=20.727$, $p<0.001$). La prevalencia del CP en un área corporal fue mayor de lo esperada en los grupos de edad de 36-45 (40%), y >45 años (50%). Los BBFF mayores de 35 años fueron cuatro veces más propensos a sufrir CP en un área corporal (OR= 4.03, 95% CI [2.04-7.94]). También se obtuvo una asociación entre CP y la experiencia ($\chi^2=7.746$, $p=0.021$). La probabilidad de sufrir CP en un área corporal fue mayor ($p<0.05$) cuando los BBFF tuvieron más de 10 años de experiencia (36.7 vs. 26.9%). Estos BBFF duplicaron el riesgo de sufrir CP frente a los que tuvieron menos de 10 años de experiencia (OR=2.22, 95% CI [1.28-3.87]). No se encontraron asociaciones significativas entre el CP y el sexo ($\chi^2=0.007$, $p=0.933$), el nivel de actividad física ($\chi^2=3.305$, $p=0.508$) o la realización de entrenamiento preventivo ($\chi^2=1.666$, $p=0.435$).

Tabla 35. Frecuencia acumulada (porcentaje) de dolor crónico según diferentes variables de agrupación.

Agrupación		NoCP	CP1	CP+1
Total (n=221)		89 (40.3%)	72 (32.6%)	60 (27.1%)
Sexo	Mujeres (n=18)	7 (38.9%)	8 (44.4%)	3 (16.7%)
	Hombres (n=203)	82 (40.4%)	64 (31.5%)	57 (28.1%)
Puesto de trabajo	BBFF (n=181)	75 (41.4%)	54 (29.8%)	52 (28.7%)
	Capataz (n=30)	10 (33.3%)	14 (46.7%)	6 (20.0%)
	Técnico (n=10)	4 (40.0%)	4 (40.0%)	2 (20.0%)
Edad	18-35 años(n=107)	59 (55.1%)*	24 (22.4%)†	24 (22.4%)
	36-45 años(n=90)	24 (26.7%)†	36 (40.0%)*	30 (33.3%)
	>45 años(n= 24)	6 (25.0%)†	12 (50.0%)*	6 (25.0%)
Entrenamiento físico	Bajo (n=49)	23 (46.7%)	13 (26.5%)	13 (26.5%)
	Moderado (n=128)	49 (38.3%)	47 (36.7%)	32 (25.0%)
	Alto(n=44)	17 (38.6%)	12 (27.3%)	15 (34.1%)
Entrenamiento preventivo	Si (n= 159)	60 (37.7%)	55 (34.6%)	44 (27.7%)
	No (n=62)	29 (46.8%)	17 (27.4%)	16 (25.8%)
Experiencia	≤10 años(n=104)	52 (50.0%)*	28 (26.9%)†	24 (23.0%)
	>10 años(n=117)	37 (31.6%)†	44 (36.7%)*	36 (30.8%)

NoCP, Sin dolor crónico; CP1, dolor crónico en una zona del cuerpo; CP+1, dolor crónico en más de una zona del cuerpo. *, conteo mayor en esta categoría que el

conteo esperado ($p < 0.05$). †, conteo menor en esta categoría que el conteo esperado ($p < 0.05$).

Globalmente la distribución del CP en las diferentes zonas corporales fue similar (Tabla 36). Sin embargo, las mujeres presentaron una mayor prevalencia del CP en EEII ($Q=9.250$, $p=0.010$). Además, se encontró una asociación entre la zona de dolor y el puesto de trabajo ($\chi^2=6.005$, $p=0.046$). Los capataces reportaron sufrir CP en EEII en un porcentaje mayor al esperado. El grupo >45 años reportaron CP mayoritariamente en EESS ($\chi^2=14.600$, $p < 0.001$, mientras que el grupo de 36-45 años en EEII ($\chi^2=6.811$, $p=0.033$) y la espalda ($\chi^2=1412.136$, $p=0.002$). Los encuestados con >10 años de experiencia informaron tener CP principalmente en EESS. Por último, se observó una asociación significativa entre la probabilidad de tener CP en varias zonas corporales y la edad de los BBFF ($\chi^2= 30.438$, $p=0.007$). El porcentaje observado de BBFF que padecieron CP simultáneamente en EESS y en la espalda o en ambas zonas y EEII fue mayor al esperado en los BBFF >45 y >35 años, respectivamente (Figura 13).

Tabla 36. Frecuencia acumulada (porcentaje) de zonas del cuerpo con dolor crónico según variables de agrupación.

Agrupación		EEII	EESS	Espalda
Total (n=223)		79 (35.4%)	74 (33.2%)	70 (31.4%)
Sexo	Mujeres (n=20)	10 (50.0%)‡	7 (35.0%)	3 (15.0%)
	Hombres (n=203)	69 (34.0%)	67 (33.0%)	67 (33.0%)
Puesto de trabajo	BBFF (n=175)	58 (33.1%)†	59 (33.7%)	58 (33.1%)
	Capataz (n=39)	16 (41.0%)*	13 (33.3%)	10 (25.6%)
	Técnico (n=9)	5 (55.5%)	2 (22.2%)	2 (22.2%)
Edad	18-35 años(n=74)	29 (39.2%)†	23 (31.1%)†	22 (29.7%)†
	36-45 años(n=117)	40 (34.2%)*	38 (32.5%)	39 (33.3%)*
	>45 años(n= 32)	10 (31.2%)	13 (40.6%)*	9 (28.1%)
Entrenamiento físico	Bajo (n=46)	15 (32.6%)	14 (30.4%)	17 (37.0%)
	Moderado (n=135)	49 (36.3%)	46 (34.1%)	40 (29.6%)
	Alto(n=42)	15 (35.7%)	14 (33.3%)	13 (31.0%)
Entrenamiento preventivo	Si (n= 168)	58 (38.5%)	58 (38.5%)	52 (31.0%)
	No (n=65)	21 (38.2%)	16 (29.1%)	18 (32.7%)
Experiencia	≤ 10 años(n=81)	29 (35.8%)	26 (32.1%)†	26 (32.1%)
	>10 años(n=144)	50 (35.2%)	48 (33.8%)*	44 (40.0%)

Agrupación de zonas del cuerpo con dolor crónico: i) miembro inferior (EEII) incluye cadera, rodilla y tobillo; ii) miembro superior (EESS) incluye cuello, hombro, codo, mano y muñeca; y iii) espalda incluye la parte baja de la espalda y la espalda torácica. *, conteo mayor en esta categoría que el conteo esperado ($p < 0.05$). †, conteo menor en esta categoría que el conteo esperado ($p < 0.05$).; ‡, diferencias con la espalda dentro del grupo de mujeres ($p < 0.05$).

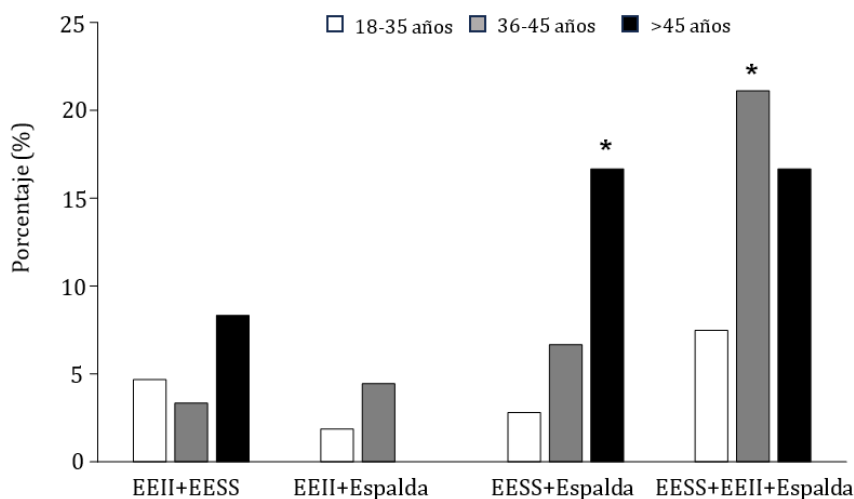


Figura 13. Distribución del dolor crónico en más de una zona del cuerpo según el rango de edad de los bomberos forestales.

EESS, extremidad inferior; EEII, extremidad superior. *, conteo mayor en esta categoría que el conteo esperado ($p < 0.05$).

3.6.4 DISCUSION

El principal hallazgo del presente estudio fue determinar la alta prevalencia del CP entre los BBFF españoles analizados y el efecto negativo que tiene la experiencia laboral y la edad de los sujetos en la probabilidad de sufrir CP. La prevalencia analizada (~60%) no se vio afectada por el sexo de los BBFF (Tabla 35) y fue muy similar a la reportada previamente (~57%) en Bomberos Estructurales (BBEE) (Nazari et al., 2020) y superior a la informada en otro personal de emergencias (*e.g.*, paramédicos, policías) (~40%) (Carleton et al., 2017). Se podría pensar que la mayor exigencia física de las tareas realizadas por los BBFF (Chappel et al., 2016; Roberts et al., 2016; Rodríguez-Marroyo et al., 2012a; Sol et al., 2018) pudo condicionar una mayor probabilidad de tener CP (Nazari et al., 2020). Sin embargo, Carleton et al. (2017) encontraron mayores prevalencias en paramédicos y oficiales penitenciarios (~45%) que esas halladas en BBEE (~35%). Este hecho resaltaría la importancia que otros factores como la edad (Damrongsak et al., 2018; Liao et al., 2001; Negm et al., 2017), años de servicio o experiencia (Negm et al., 2017), el estrés laboral (Carleton et al., 2017; Damrongsak et al., 2018), la condición física, y las características antropométricas (Damrongsak et al., 2018) podrían tener en la aparición del CP.

La mayor experiencia laboral de los BBFF (mayor tiempo de exposición laboral) se asoció con el CP. Nuestros datos sugieren la existencia de un umbral a partir del cual los BBFF podrían ser más propensos a sufrir CP. De

este modo, los BBFF que reportaron CP tuvieron una experiencia laboral de 10 años (Tabla 34). Estos sujetos duplicaron el riesgo de sufrir CP frente a los que tuvieron <10 años. Una repetición sistemática de los movimientos específicos utilizados por los BBFF (*e.g.*, uso de herramientas manuales y transporte de cargas pesadas) durante sus jornadas laborales (Rodríguez-Marroyo et al., 2012a) podría implicar lesiones por uso excesivo/repetitivo del sistema musculoesquelético (Negm et al., 2017) e incrementar la probabilidad de sufrir CP (Miranda et al., 2001). En este sentido, Negm et al. (Negm et al., 2017) mostraron que los BBFF con más de 15 años de servicio tenían una frecuencia más alta de trastornos musculoesqueléticos.

Nuestros resultados también resaltan la importancia que tiene la edad de los BBFF en la prevalencia del CP. Estos resultados confirman los hallazgos previos obtenidos en BBFF (Damrongsak et al., 2018; Liao et al., 2001; Negm et al., 2017). En el presente estudio los BBFF que no reportaron CP tuvieron una edad media inferior a los 35 años mientras que los BBFF que reportaron CP se aproximaron a los 40 años (Tabla 34). Estos sujetos tuvieron más probabilidad (~4 veces mayor) de sufrir CP que sus compañeros más jóvenes y que éste se localizara en diferentes partes corporales de manera simultánea (Figura 13). Este hecho pudo deberse a que los sujetos de mayor edad se lesionan con mayor frecuencia (Britton et al., 2013; Miranda et al., 2001). Concretamente se ha analizado en BBFF americanos, de similares características a los de este estudio, un mayor número de lesiones en aquellos sujetos >33 años (Britton et al., 2013). Del mismo modo, recientemente se ha informado que los BBFF >42 años tienen una mayor prevalencia de trastornos musculoesqueléticos y padecen lesiones en EEII y de espalda más graves que los bomberos <42 años (Negm et al., 2017). Además, previos estudios (Liao et al., 2001) han relacionado positivamente la edad de los BBFF con la duración de la lesión, indicando que los BBFF más mayores necesitarían más tiempo para su recuperación. Este estudio estableció que un incremento de un año en la edad de los sujetos podría conllevar un aumento del 7% en la duración de la lesión. Por otro lado, podría especularse que el aumento de la edad de los BBFF de este estudio pudo conllevar un descenso de su condición física, lo que pudo incrementar las exigencias de las tareas que habitualmente realizan y conllevar un mayor riesgo de lesión y de sufrir CP (Kraft et al., 2008). En este sentido, se ha analizado una reducción de la capacidad aeróbica y el rendimiento específico de los BBFF con el aumento de su edad (Michaelides et al., 2011; Prieto et al., 2013). Por ello, se podría esperar cierta limitación en la ejecución del trabajo de estos sujetos. Apoyando esta idea, recientemente se

ha señalado que los BBEE >45 años frente a aquellos <45 años experimentan más limitaciones físicas durante su jornada laboral (Nazari et al., 2020). En conjunto estos resultados recalcarían la necesidad de implementar programas de prevención de lesiones para los BBFF de mayor edad (Drain & Reilly, 2019; Epstein et al., 2013; Kim et al., 2004).

Aproximadamente el 33 y 27% de los BBFF de este estudio tuvieron CP en una o más de una zona corporal, respectivamente (Tabla 35). La probabilidad de sufrir CP en diferentes zonas corporales se asoció con la edad, la altura de los BBFF y el peso del equipo de protección utilizado. Estas variables pudieron contribuir a incrementar las demandas del trabajo realizado por los BBFF. Habitualmente estos profesionales suelen llevar durante largas jornadas de trabajo un equipo que puede pesar entre 10-25 kg (Rodríguez-Marroyo et al., 2012a; Sol et al., 2018), por lo que los sujetos más pequeños podrían requerir de una mayor energía por unidad de masa para transportar la carga (Taylor et al., 1980). Esta circunstancia pudo contribuir a que estos sujetos se fatigaran más y tener una mayor predisposición a lesionarse (Britton et al., 2013; Miranda et al., 2001). Por otro lado, el peso del equipo de protección utilizado por los BBFF que informaron tener CP en varias zonas corporales fue ~2.5 kg más pesado que el de los sujetos con CP en una zona corporal. Aunque esta diferencia pudiera parecer pequeña, representa ~10% del peso máximo que llevan los BBFF durante sus despliegues (Rodríguez-Marroyo et al., 2012a; Sol et al., 2018), y pudo haber incrementado el coste energético de las actividades realizadas un 25-30% (Dorman & Havenith, 2009; Taylor et al., 2015). Por ello, es lógico pensar que estos BBFF podrían haber experimentado una mayor sobrecarga y fatiga en el trabajo, lo que pudo ocasionar un mayor número de molestias musculoesqueléticas (Damrongsak et al., 2018) y lesiones por uso excesivo (Negm et al., 2017), incrementando la probabilidad de sufrir CP en varias zonas corporales.

La distribución del CP entre las diferentes zonas corporales fue uniforme (Tabla 36). Estos resultados posiblemente estuvieron condicionados por la habitual localización de las lesiones en los BBFF (Britton et al., 2013). Sin embargo, cuando se analizó la distribución del CP en función del sexo, se halló una mayor prevalencia del CP en EEII vs. Espalda en las mujeres (50 vs. 15%). Se ha informado una prevalencia similar de lesiones en EEII (~50%) en mujeres BBEE estadounidenses. (Watkins et al., 2019) y militares (Roy et al., 2015). Las características antropométricas de las mujeres (*e.g.*, la rotación de la cadera, rodillas en valgo y mayor tejido adiposo) (Epstein et

al., 2013; Roberts et al., 2016) pudieron inducir algunas posibles diferencias biomecánicas frente a los hombres y condicionar una mayor proporción de lesiones en EEII (Allison et al., 2015). Así, estudios realizados en militares han identificado una mayor prevalencia de las lesiones en EEII en las mujeres, y una mayor frecuencia de las lesiones en la espalda en los hombres (Roberts et al., 2016; Roy et al., 2015). Por otro lado, en España todos los BBFF tienen que transportar la misma carga en los despliegues, no existe una adaptación para las mujeres. Este hecho unido a que las mujeres poseen una menor masa muscular y altura (~8 cm menos en las mujeres BBFF de este estudio) (Roberts et al., 2016) pudo incrementar las exigencias del trabajo realizado (Taylor et al., 1980), posibilitando la ocurrencia de lesiones musculoesqueléticas en el EEII (Roberts et al., 2016; Roy et al., 2015; Watkins et al., 2019) y en consecuencia una mayor probabilidad de tener CP en esta zona corporal. Por ello, la recomendación de realizar programas de entrenamiento físico específicos encaminados a reducir el número de lesiones y a aumentar la condición física de las mujeres trabajadoras de emergencias está bastante extendida en la literatura (Epstein et al., 2013; Kelly et al., 2016; Nindl, 2015; Nindl et al., 2017).

La distribución del CP según el puesto de trabajo desempeñado por los BBFF también fue diferente. En los especialistas BBFF se analizó una distribución homogénea, sin embargo, en los capataces y técnicos se observó una mayor frecuencia del CP en EEII (Tabla 36). Estudios previos han vinculado la localización de las lesiones con el tipo de tareas realizadas por los trabajadores (Britton et al., 2013; Carleton et al., 2017). En este sentido, los especialistas BBFF tienen que realizar largas caminatas transportando cargas pesadas que pueden conllevar un aumento de las lesiones en EEII (Britton et al., 2013; Roy et al., 2015). Además, estos sujetos trabajan utilizando herramientas manuales realizando movimientos repetitivos por encima del nivel de los hombros, con el tronco flexionado hacia adelante, y realizando movimientos de torsión del tronco, lo que aumenta la posibilidad de tener lesiones tanto en EESS como en espalda (Miranda et al., 2001; Roy et al., 2015). Bajo estas condiciones se puede esperar que los especialistas BBFF tuvieran una distribución uniforme del CP en las diferentes áreas corporales. Por el contrario, tanto los capataces como los técnicos BBFF principalmente realizan labores de organización, vigilancia y control de las operaciones, recorriendo largas distancias portando cargas pesadas sobre un terreno irregular, inestable y empinado, lo que eleva el riesgo de un esguince o torcedura (Britton et al., 2013). Además, estos sujetos suelen tener mayor edad y experiencia laboral que los especialistas, lo cual podría

haber aumentado la posibilidad de padecer dolor o lesión más grave de las extremidades inferiores (Negm et al., 2017) e incrementar la prevalencia del CP en EEII.

La actividad física realizada por los BBFF no se asoció con la incidencia del CP (Tabla 35), a pesar de que hay evidencias que sugieren que un incremento de la actividad física puede ser beneficioso para reducir el impacto del dolor crónico musculoesquelético (Beaton et al., 2002; Holm et al., 2021). Posiblemente este hecho se deba a que todos los BBFF que participaron en este estudio realizaron un programa de entrenamiento físico como parte de su rutina de trabajo, lo que podría haber limitado el potencial efecto beneficioso de la actividad física. Futuros estudios deberían profundizar en determinar los beneficios del tipo y la cantidad del entrenamiento realizado en la prevalencia de CP. Tampoco se encontró una asociación entre el entrenamiento preventivo y el CP. A pesar de ello, se observó que un elevado número de los BBFF que reportaron sufrir CP realizaron este tipo de entrenamiento, posiblemente para reducir el CP (Holm et al., 2021).

Por último, el presente estudio no está exento de limitaciones. En primer lugar, esta fue una encuesta auto informada retrospectiva y es posible que hubiera un sesgo de recuerdo. Otra limitación potencial del estudio fue el tamaño de la muestra. Aunque en el estudio participaron 203 hombres BBFF, estos sólo representaron el 38% de los potenciales sujetos que podrían haber rellenado el cuestionario. Por ello, un incremento de la muestra podría haber afectado a los resultados obtenidos. Por el contrario, aunque sólo participaron 18 mujeres BBFF, estas fueron el total de integrantes de las Brigadas de Refuerzo contra Incendios Forestales (BRIF). Por otro lado, los datos presentados en este estudio se limitaron a informar sólo sobre el CP de las BRIF. No teníamos acceso a información sobre otras brigadas que trabajan en la extinción de los IF en España. A pesar de ello, los resultados obtenidos en el presente estudio pueden ser una aproximación precisa para describir el CP en los BBFF de las BRIF.

4. CONCLUSIONES



Bomberos forestales de la ELIF de Rosinos de la Requejada, durante la extinción de un incendio forestal en el Parque Natural de Alta Sanabria, Zamora (2016).

Conclusión primera:

Los resultados de la revisión sistemática revelan que las demandas físicas enfrentadas por los *first responders* moldean sus características físicas y fisiológicas. En general, se observaron valores más altos en la mayoría de las variables estudiadas entre los bomberos forestales (*e.g.*, VO_{2max} , fuerza de agarre, fuerza resistencia del tren superior y del core). Se identificaron diferencias por sexo en la mayoría de las pruebas de valoración de la condición física, excepto en las pruebas de fuerza resistencia de la musculatura del tren superior y el core. Estos hallazgos podrían ser fundamentales para desarrollar programas de entrenamiento específicos destinados a reducir las brechas de condición física entre sexos.

Conclusión segunda:

El esfuerzo realizado por los bomberos durante la extinción de los incendios forestales se mantuvo similar independientemente de su sexo. Las demandas del ejercicio coincidieron con las reportadas anteriormente, donde se evidencia que estas están influidas por la táctica de supresión y la duración de la intervención. Se observó un aumento en la carga de trabajo con la prolongación del incendio, aunque el ritmo de actuación fue mayor en los incendios de menor duración. Además, se destacó la utilidad de la percepción subjetiva del esfuerzo como una herramienta válida y sensible para monitorizar las demandas fisiológicas de los bomberos en situaciones reales.

Conclusión tercera:

Las bomberas forestales muestran una condición física generalmente inferior a la de sus colegas masculinos. No obstante, al ajustar los resultados en relación al peso corporal y, especialmente, a la masa libre de grasa, estas diferencias se redujeron. Se destacó un mayor rendimiento en las mujeres en las pruebas de valoración de la fuerza resistencia del core y de la musculatura extensora del tronco. Estos resultados conllevaron que al realizar el mismo trabajo específico, las mujeres fueran menos eficientes, lo que podría aumentar la fatiga y el riesgo de lesiones durante los despliegues prolongados. Sería relevante investigar propuestas de entrenamiento específicas que busquen reducir estas diferencias de rendimiento entre sexos.

Conclusión cuarta:

Un programa de entrenamiento en circuito de alta intensidad de 8 semanas, compuesto por tareas de trabajo específicas, es una buena alternativa para mejorar la condición física y el rendimiento de los bomberos forestales. Dado que el programa propuesto ahorra más tiempo que los modelos de entrenamiento más convencionales y no requiere el uso de material extra, podría ser una excelente herramienta para mejorar la condición física de los bomberos durante las horas de trabajo en las bases, al poder ser combinado con sus otras funciones y sus horarios impredecibles. Además, las características de este tipo de entrenamiento favorecen que las sesiones de trabajo puedan ser realizadas de forma conjunta por sujetos con diferente nivel de condición física. Esto podría facilitar la organización y el diseño de sesiones de entrenamiento en las bases y potencialmente favorecer la adherencia de todos los sujetos a los programas de ejercicio.

Conclusión quinta:

Las mejoras en la condición física de los bomberos forestales están condicionadas por la intensidad del entrenamiento. Las mejoras medias inducidas por el entrenamiento en circuito de alta intensidad duplicaron (~7%) las alcanzadas con el entrenamiento de moderada intensidad (~3%). Las mejoras medias analizadas fueron similares entre mujeres y hombres (~5%). Aunque no se observó una interacción global entre el tipo de entrenamiento y el sexo de los bomberos, se registraron mejoras significativamente mayores en la fuerza en mujeres y en el rendimiento específico en hombres con el entrenamiento de alta intensidad. Además, se identificó que el entrenamiento de moderada intensidad resultó eficaz únicamente para reducir el porcentaje graso en hombres.

Conclusión sexta:

Los resultados obtenidos muestran la alta prevalencia del dolor crónico entre los bomberos forestales (~60%), siendo similar entre mujeres y hombres. El sexo y el puesto de trabajo desempeñado fueron variables que afectaron a la localización del dolor crónico. Así, las mujeres y los capataces mostraron una mayor frecuencia del dolor crónico en las extremidades inferiores. Por otro lado, la edad y los años trabajados incrementaron la posibilidad de sufrir dolor crónico. Los bomberos forestales mayores de 35 años tuvieron 4 veces más de posibilidades de sufrir dolor crónico. De igual modo, aquellos que trabajaron más de 10 años en la extinción de incendios

forestales duplicaron el riesgo de padecer este síntoma. Por último, se encontró una asociación entre el peso del equipo de protección utilizado, la edad y la altura de los sujetos con la probabilidad sufrir dolor crónico en diferentes zonas corporales simultáneamente. En conjunto, estos hallazgos podrían proporcionar información relevante para el diseño de programas de entrenamiento específico para prevenir y mejorar el dolor crónico de los bomberos forestales.

5. REFERENCIAS

Pruebas de rendimiento en extinción de incendios forestales simulados.

- Abel, M. G., Mortara, A. J., & Pettitt, R. W. (2011). Evaluation of circuit-training intensity for firefighters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(10), 2895–2901. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31820da00c>
- Abel, M. G., Palmer, T. G., & Trubee, N. (2015). Exercise program design for structural firefighters. *Strength and Conditioning Journal*, 37(4), 8–19. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000123>
- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart Rate monitoring. *Sports Medicine*, 33(7), 517–538. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00004>
- American College of Sports Medicine. (2013). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Adams, J., Roberts, J., Simms, K., Cheng, D., Hartman, J., & Bartlett, C. (2009). Measurement of functional capacity requirements to aid in development of an occupation-specific rehabilitation training program to help firefighters with cardiac disease safely return to work. *American Journal of Cardiology*, 103(6), 762–765. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2008.11.032>
- Adedoyin, R. A., Mbada, C. E., Farotimi, A. O., Johnson, O. E., & Emechete, A. A. I. (2011). Endurance of low back musculature: Normative data for adults. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 24(2), 101–109. <https://doi.org/10.3233/BMR-2011-0282>
- Adetona, O., Reinhardt, T. E., Domitrovich, J., Broyles, G., Adetona, A. M., Kleinman, M. T., Ottmar, R. D., & Naeher, L. P. (2016). Review of the health effects of wildland fire smoke on wildland firefighters and the public. *Inhalation Toxicology*, 28(3), 95–139. <https://doi.org/10.3109/08958378.2016.1145771>
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett, D. R., Tudor-Locke, C., Greer, J. L., Vezina, J., Whitt-Glover, M. C., & Leon, A. S. (2011). 2011 compendium of physical activities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(8), 1575–1581. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821ece12>
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Leon, A. S., Jacobs, D. R., Montoye, H. J., Sallis, J. F., & Paffenbarger, R. S. (1993). Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25(1), 71–80. <https://doi.org/10.1249/00005768-199301000-00011>

- Aisbett, B. (2011). *The relevance of the Pack Hike Test for Australian bushfire firefighters* (Issue 74).
- Aisbett, B., & Nichols, D. (2007). Fighting fatigue whilst fighting bushfire: An overview of factors contributing to firefighter fatigue during bushfire suppression. *Australian Journal of Emergency Management*, 22(3), 31–39.
- Aisbett, B., Phillips, M., Sargeant, M., Gilbert, B., & Nichols, D. (2007). Fighting with fire--how bushfire suppression can impact on fire fighters' health. *Australian Family Physician*, 36(12), 994–997.
- Aisbett, B., Wolkow, A., Sprajcer, M., & Ferguson, S. A. (2012). “ Awake, smoky, and hot” : Providing an evidence-base for managing the risks associated with occupational stressors encountered by wildland firefighters. *Applied Ergonomics*, 43(5), 916–925. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.12.013>
- Alhadad, S. B., Tan, P. M. S., & Lee, J. K. W. (2019). Efficacy of heat mitigation strategies on core temperature and endurance exercise: A meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 10(February). <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00071>
- Allison, K. F., Keenan, K. A., Sell, T. C., Abt, J. P., Nagai, T., Deluzio, J., McGrail, M., & Lephart, S. M. (2015). Musculoskeletal, biomechanical, and physiological gender differences in the US military. *U.S. Army Medical Department Journal*, 22–32. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26101903>
- Alvero-Cruz, J. R., Correas-Gómez, L., Ronconi, M., Fernández-Vázquez, R., & Porta i Manzanido, J. (2011). Bioelectrical impedance analysis as a method of body composition estimation: A practical approach. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, 4(4).
- Andersen, L. L., Clausen, T., Carneiro, I. G., & Holtermann, A. (2012). Spreading of chronic pain between body regions: Prospective cohort study among health care workers. *European Journal of Pain*, 16, 1437–1443. <https://doi.org/10.1002/j.1532-2149.2012.00143.x>
- Andreato, L. V., Lara, F. J. D., Andrade, A., & Branco, B. H. M. (2017). Physical and physiological profiles of brazilian jiu-jitsu athletes: a systematic review. *Sports Medicine - Open*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-016-0069-5>

- Andrews, K. L., Gallagher, S., & Herring, M. P. (2019). The effects of exercise interventions on health and fitness of firefighters: a meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 29(6), 780–790. <https://doi.org/10.1111/sms.13411>
- Angelini, M. J., Kesler, R. M., Petrucci, M. N., Rosengren, K. S., Horn, G. P., & Hsiao-Wecksler, E. T. (2018). Effects of simulated firefighting and asymmetric load carriage on firefighter obstacle crossing performance. *Applied Ergonomics*, 70(February), 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.02.006>
- Arena, R., Myers, J., Harber, M., Wisloff, U., Stensvold, D., & Kaminsky, L. A. (2020). Peak oxygen pulse responses during maximal cardiopulmonary exercise testing: Reference standards from FRIEND (Fitness Registry and the Importance of Exercise: an International Database). *International Journal of Cardiology*, 301, 180–182. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2019.11.106>
- Astorino, T. A., Allen, R. P., Roberson, D. W., & Jurancich, M. (2012). Effect of high-intensity interval training on cardiovascular function, VO₂max, and muscular force. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(1), 138-145.
- Baláš, J., Pecha, O., Martin, A. J., & Cochrane, D. (2012). Hand-arm strength and endurance as predictors of climbing performance. *European Journal of Sport Science*, 12(1), 16–25. <https://doi.org/10.1080/17461391.2010.546431>
- Balsalobre-Fernández, C., Glaister, M., & Lockey, R. A. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, 33(15), 1574–1579. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.996184>
- Barbosa, J. V., Farraia, M., Branco, P. T. B. S., Alvim-Ferraz, M. C. M., Martins, F. G., Annesi-Maesano, I., & Sousa, S. I. V. (2022). The effect of fire smoke exposure on firefighters' lung function: a meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(24). <https://doi.org/10.3390/ijerph192416799>
- Beach, T. A. C., Frost, D. M., McGill, S. M., & Callaghan, J. P. (2014). Physical fitness improvements and occupational low-back loading- an exercise intervention study with firefighters. *Ergonomics*, 57(5), 744–763. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.897374>

- Beaton, R., Murphy, S., Salazar, M., & Clark Johnson, L. (2002). Neck, back, and shoulder pain complaints in urban firefighters: The benefits of aerobic exercise. *Journal of Musculoskeletal Pain, 10*(3), 57–67. https://doi.org/10.1300/J094v10n03_04
- Biering-Sorensen, F. (1984). Physical measurements as risk indicators for low-back trouble over a one-year period. *Spine, 9*(12), 1300–1304. <https://doi.org/10.1097/00007632-198403000-00002>
- Bird, S. P. (2013). Sleep, recovery, and athletic performance: A brief review and recommendations. *Strength and Conditioning Journal, 35*(5), 43–47. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3182a62e2f>
- Blacker, S. D., Rayson, M. P., Wilkinson, D. M., Carter, J. M., Nevill, A. M., & Richmond, V. L. (2016). Physical employment standards for UK fire and rescue service personnel. *Occupational Medicine, 66*(1), 38–45. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqv122>
- BOE-A-2019-10646. (Ministerio de Trabajo, D. 1443). (2019). Resolución de 11 de julio de 2019, de la Dirección General de Trabajo, por la que se registra y publica el Acta en la que se contiene el acuerdo de revisión parcial del Anexo VII del Convenio colectivo de la empresa Transformación Agraria, SA (TRAGSA). En *Artículo 16*.
- Booze, T. F., Reinhardt, T. E., Quiring, S. J., & Ottmar, R. D. (2004). A screening-level assessment of the health risks of chronic smoke exposure for wildland firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 1*(5), 296–305. <https://doi.org/10.1080/15459620490442500>
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 14*(5), 377–381. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7154893>
- Bos, J., Mol, E., Visser, B., & Frings-Dresen, M. H. (2004). The physical demands upon (Dutch) fire-fighters in relation to the maximum acceptable energetic workload. *Ergonomics, 47*(4), 446–460.
- Bosco, C., & Komi, P. V. (1979). Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 41*(4), 275–284. <https://doi.org/10.1007/BF00429744>
- Bowman, D. M. J. S., Williamson, G. J., Abatzoglou, J. T., Kolden, C. A., Cochrane, M. A., & Smith, A. M. S. (2017). Human exposure and

- sensitivity to globally extreme wildfire events. *Nature Ecology and Evolution*, 1(3), 1–6. <https://doi.org/10.1038/s41559-016-0058>
- Boyd, L., Rogers, T., Docherty, D., & Petersen, S. (2015). Variability in performance on a work simulation test of physical fitness for firefighters. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 40(4), 364–370. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0281>
- Britton, C., Lynch, C. F., Ramirez, M., Torner, J., Buresh, C., & Peek-Asa, C. (2013). Epidemiology of injuries to wildland firefighters. *The American Journal of Emergency Medicine*, 31(2), 339–345. <https://doi.org/10.1016/J.AJEM.2012.08.032>
- Brooks, G. (1985). Anaerobic threshold: review of the concept. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 17(1), 22–31.
- Brotherhood¹, J. R., Buddl, G. M., Hendrie¹, A. L., Jefferyl, S. E., Beasleyl, F. A., Costin¹, B. P., Zhienl, W., Baker¹, M. M., Cheney², N. P., & Dawson³, M. P. (1997). Project Aquarius 3. Effects of work rate on the productivity, energy expenditure, and physiological responses of men building fireline with a rakehoe in dry eucalypt forest. In *Int. J. Wildland Fire* (Vol. 7, Issue 2). <https://www.publish.csiro.au/WF/pdf/WF9970087>
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine*, 43(5), 313–338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part II: Anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Medicine*, 43(10), 927–954. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0066-5>
- Budd, G. M., Brotherhood, J. R., Hendrie, A. L., Cheney, N. P., & Dawson, M. P. (1997a). Project Aquarius 2. Limitations of maximum oxygen uptake for predicting the strains of building fireline with a rakehoe. *International Journal of Wildland Fire*, 7(2), 69–218. <https://www.publish.csiro.au/wf/pdf/WF9970077>
- Budd, G. M., Brotherhood, J. R., Hendrie, A. L., Cheney, N. P., & Dawson, M. P. (1997b). Project Aquarius 5. Activity distribution, energy expenditure, and productivity of men suppressing free-running wildland fires with hand tools. *International Journal of Wildland Fire*, 7(2), 105–118. <https://www.publish.csiro.au/WF/pdf/WF9970105>

- Budd, G., Brotherhood, J., Hendrie, A., Jeffery, S., Beasley, F., Costin, B., Zhien, W., Baker, M., Cheney, N., & Dawson, M. (1997c). Project Aquarius 1. Stress, strain, and productivity in men suppressing Australian summer bushfires with hand tools: background, objectives, and methods. *International Journal of Wildland Fire*, 7(2), 69. <https://doi.org/10.1071/WF9970069>
- Bugajska, J., Zużewicz, K., Szmauz-Dybko, M., & Konarska, M. (2007). Cardiovascular stress, energy expenditure and subjective perceived ratings of fire fighters during typical fire suppression and rescue tasks. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 13(3), 323–331. <https://doi.org/10.1080/10803548.2007.11076730>
- Burke, L. M., Hawley, J. A., Wong, S. H. S., & Jeukendrup, A. E. (2011). Carbohydrates for training and competition. *Journal of Sports Sciences*, 29(SUPPL. 1), 37–41. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.585473>
- Butts, C. L., Smith, C. R., Ganio, M. S., & McDermott, B. P. (2017). Physiological and perceptual effects of a cooling garment during simulated industrial work in the heat. *Applied Ergonomics*, 59, 442–448. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.10.001>
- Byrne, C., Lee, J. K. W., Chew, S. A. N., Lim, C. L., & Tan, E. Y. M. (2006). Continuous thermoregulatory responses to mass-participation distance running in heat. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(5), 803–810. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000218134.74238.6a>
- Cain, P. A., Ahl, R., Hedstrom, E., Ugander, M., Allansdotter-Johnsson, A., Friberg, P., & Arheden, H. (2009). Age and gender specific normal values of left ventricular mass, volume and function for gradient echo magnetic resonance imaging: A cross sectional study. *BMC Medical Imaging*, 9(Lvm). <https://doi.org/10.1186/1471-2342-9-2>
- Callender, N., Ellerton, J., & Macdonald, J. H. (2012). Physiological demands of mountain rescue. *Emergency Medicine Journal*, 29(9), 753–757. <https://doi.org/10.1136/emmermed-2011-200485>
- Carballo Leyenda, B., Ávila Ordás, C., López Satué, J., Pernía Cubillo, R., Rodríguez Marroyo, J. A., & Villa Vicente, J. G. (2010). Sobre esfuerzo en personal especialista en extinción de incendios forestales (P.E.E.I.F). *La Mutua*, 22, 1–16.
- Carballo-Leyeda, B., Villa, J. G., López-Satué, J., & Rodríguez-Marroyo, J. A. (2017). Impact of different personal protective clothing on wildland firefighters' physiological strain. *Frontiers in Physiology*, 8(AUG), 1–9.

- <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00618>
- Carballo-Leyenda, B., Villa, J. G., López-Satué, J., Collado, P. S., & Rodríguez-Marroyo, J. A. (2018). Fractional contribution of wildland firefighters' personal protective equipment on physiological strain. *Frontiers in Physiology*, 9(August), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01139>
- Carballo-Leyenda, B., Villa, J. G., López-Satué, J., & Rodríguez-Marroyo, J. A. (2019). Characterizing wildland firefighters' thermal environment during live-fire suppression. *Frontiers in Physiology*, 10(August), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00949>
- Carballo-Leyenda, B., Gutiérrez-Arroyo, J., García-Heras, F., Sánchez-Collado, P., Villa-Vicente, J. G., & Rodríguez-Marroyo, J. A. (2021). Influence of personal protective equipment on wildland firefighters' physiological response and performance during the Pack Test. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5050. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105050>
- Cardoso de Araújo, M., Baumgart, C., Jansen, C. T., Freiwald, J., & Hoppe, M. W. (2020). Sex differences in physical capacities of german Bundesliga soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(8), 2329–2337. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002662>
- Carleton, R. N., Afifi, T. O., Turner, S., Taillieu, T., El-Gabalawy, R., Sareen, J., & Asmundson, G. J. G. (2017). Chronic pain among public safety personnel in Canada. *Canadian Journal of Pain*, 1(1), 237–246. <https://doi.org/10.1080/24740527.2017.1410431>
- Cater, H., Clancy, D., Duffy, K., Holgate, A., Wilison, B., & Wood, J. (2007). *Fatigue on the fireground: the DPI experience*. 19–21.
- Centro para la Defensa contra el Fuego (CDF). (2014). *Manual de extinción de incendios forestales para cuadrillas*. Junta de Castilla y León, Consejería de Fomento y Medio Ambiente.
- Centro para la Defensa contra el Fuego (CDF). (2018). *Manual de extinción de incendios forestales para cuadrillas*. Junta de Castilla y León, Consejería de Medio Ambiente.
- Chalmers, S., Esterman, A., Eston, R., Bowering, K. J., & Norton, K. (2014). Short-term heat acclimation training improves physical performance: A systematic review, and exploration of physiological adaptations and application for team sports. *Sports Medicine*, 44(7), 971–988.

<https://doi.org/10.1007/s40279-014-0178-6>

- Chappel, S. E., Aisbett, B., Vincent, G. E., & Ridgers, N. D. (2016). Firefighters' physical activity across multiple shifts of planned burn work. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *13*(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph13100973>
- Charest, J., & Grandner, M. A. (2020). Sleep and athletic performance: impacts on physical performance, mental performance, injury risk and recovery, and mental health. *Sleep Medicine Clinics*, *15*(1), 41–57. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2019.11.005>
- Charlot, K., Tardo-Dino, P. E., Buchet, J. F., Koulmann, N., Bourdon, S., Lepetit, B., Roslonski, M., Jousseau, L., & Malgoyre, A. (2017). Short-term, low-volume training improves heat acclimatization in an operational context. *Frontiers in Physiology*, *8*(JUN), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00419>
- Cheung, S. S., & McLellan, T. M. (1998). Influence of short-term aerobic training and hydration status on tolerance during uncompensable heat stress. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *78*(1), 50–58. <https://doi.org/10.1007/s004210050386>
- Cheung, S. S., McLellan, T. M., & Tenaglia, S. (2000). The thermophysiology of uncompensable heat stress: physiological manipulations and individual characteristics. *Sports Medicine*, *29*(5), 329–359. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029050-00004>
- Chizewski, A., Box, A., Kesler, R. M., & Petruzzello, S. J. (2021). High intensity functional training (HIFT) improves fitness in recruit firefighters. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(24). <https://doi.org/10.3390/ijerph182413400>
- Christison, K. S., Gurney, S. C., Sol, J. A., Williamson-Reisdorph, C. M., Quindry, T. S., Quindry, J. C., & Dumke, C. L. (2021). Muscle Damage and Overreaching During Wildland Firefighter Critical Training. *Journal of Occupational & Environmental Medicine*, *63*(4), 350–356. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000002149>
- Clayton, B. C., Tinius, R. A., Winchester, L. J., Menke, B. R., Reece, M. C., & Maples, J. M. (2019). Physiological and perceptual responses to high-intensity circuit training using body weight as resistance: are there sex-specific differences? *International Journal of Exercise Science*, *12*(4), 245–255.

- Coca, A., Williams, W. J., Roberge, R. J., & Powell, J. B. (2010). Effects of fire fighter protective ensembles on mobility and performance. *Applied Ergonomics*, 41(4), 636–641. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2010.01.001>
- Coker, R. H., Murphy, C. J., Johannsen, M., Galvin, G., & Ruby, B. C. (2019). Wildland firefighting. adverse influence on indices of metabolic and cardiovascular health. *Journal of Occupational & Environmental Medicine*, 61(3), e91–e94. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001535>
- Collins, C., Brooks, R., Sturz, B., Nelson, A., & Keefe, R. (2018). Body composition changes of united states smokejumpers during the 2017 fire season. *Fire*, 1(3), 48. <https://doi.org/10.3390/fire1030048>
- Comité de Lucha Contra Incendios Forestales. (2013). *Recomendación técnica sobre duración de la jornada de trabajo , período de descanso y tiempo de trabajo en incendios forestales*. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/incendios-forestales/recomendaciontecnica_jornadalaboral_def_clif_270521_tcm30-534458.pdf
- Conolly, M., Elder, C., & Dawes, J. (2015). Needs analysis for mountain search and rescue. *Strength and Conditioning Journal*, 37(4), 35–42. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000124>
- Cook, G., Burton, L., Hoogenboom, B. J., & Voight, M. (2014). Functional movement screening: the use of fundamental movements as an assessment of function - part 1. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(3), 396–409. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24944860><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4060319>
- Cornell, D. J., Gnacinski, S. L., Meyer, B. B., & Ebersole, K. T. (2017). Changes in health and fitness in firefighter recruits: an observational cohort study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(11), 2223–2233. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001356>
- Crespo-Ruiz, B., Esteban García, P., Fernández-Vega, C., Crespo-Ruiz, C., & Rivas-Galan, S. (2020). A descriptive analysis of body composition among forest firefighters in spain. *Journal of Occupational & Environmental Medicine*, 62(5), e174–e179. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001842>

- Cuddy, J. S., & Ruby, B. C. (2011). High work output combined with high ambient temperatures caused heat exhaustion in a wildland firefighter despite high fluid intake. *Wilderness & Environmental Medicine*, 22(2), 122–125. <https://doi.org/10.1016/J.WEM.2011.01.008>
- Cuddy, J. S., Gaskill, S. E., Sharkey, B. J., Harger, S. G., & Ruby, B. C. (2007). Supplemental feedings increase self-selected work output during wildfire suppression. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(6), 1004–1012. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318040b2fb>
- Cuddy, J. S., Ham, J. A., Harger, S. G., Slivka, D. R., & Ruby, B. C. (2008). Effects of an electrolyte additive on hydration and drinking behavior during wildfire suppression. *Wilderness and Environmental Medicine*, 19(3), 172–180. <https://doi.org/10.1580/07-WEME-OR-114.1>
- Cuddy, J. S., Slivka, D. R., Tucker, T. J., Hailes, W. S., & Ruby, B. C. (2011). Glycogen levels in wildland firefighters during wildfire suppression. *Wilderness & Environmental Medicine*, 22(1), 23–27. <https://doi.org/10.1016/J.WEM.2010.09.019>
- Cuddy, J. S., Sol, J. A., Hailes, W. S., & Ruby, B. C. (2015). Work patterns dictate energy demands and thermal strain during wildland firefighting. *Wilderness & Environmental Medicine*, 26(2), 221–226. <https://doi.org/10.1016/J.WEM.2014.12.010>
- Cureton, K., Bishop, P., Hutchinson, P., Newland, H., Vickery, S., & Zwiren, L. (1986). Applied Physiology Effect of equating haemoglobin concentration. *European Journal of Applied Physiology*, 54, 656–660.
- Curilem, G. C., Almagià, F. A., Yuing, F. T., & Rodríguez, R. F. (2014). Evaluación del estado psicobiotipológico en bomberos: parámetros de salud y recursos anti estrés. *International Journal of Morphology*, 32(2), 709–714. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022014000200081>
- Daanen, H. A. M., Racinais, S., & Périard, J. D. (2018). Heat acclimation decay and re-induction: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 48(2), 409–430. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0808-x>
- Damrongsak, M., Prapanjaroensin, A., & Brown, K. C. (2018). Predictors of back pain in firefighters. *Workplace Health & Safety*, 66(2), 61–69. <https://doi.org/10.1177/2165079917709020>
- Davis, J. A. (1985). Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(1), 6–21.

- Davis, J., & Gallagher, S. (2014). Physiological demand on firefighters crawling during a search exercise. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44(6), 821–826. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2014.10.001>
- Dawes, J. J., Orr, R. M., Flores, R. R., Lockie, R. G., Kornhauser, C., & Holmes, R. (2017). A physical fitness profile of state highway patrol officers by gender and age. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, 29(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40557-017-0173-0>
- Dempsey, P. C., Handcock, P. J., & Rehrer, N. J. (2014). Body armour: the effect of load, exercise and distraction on landing forces. *Journal of Sports Sciences*, 32(4), 301–306. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.823226>
- Devries, M. C. (2016). Sex-based differences in endurance exercise muscle metabolism: Impact on exercise and nutritional strategies to optimize health and performance in women. *Experimental Physiology*, 101(2), 243–249. <https://doi.org/10.1113/EP085369>
- Dorman, L. E., & Havenith, G. (2009). The effects of protective clothing on energy consumption during different activities. *European Journal of Applied Physiology*, 105(3), 463–470. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0924-2>
- Drain, J. R., & Reilly, T. J. (2019). Physical employment standards, physical training and musculoskeletal injury in physically demanding occupations. *Work*, 63(4), 495–508. <https://doi.org/10.3233/WOR-192963>
- Drew-Nord, D. C., Myers, J., Nord, S. R., Oka, R. K., Hong, O., & Froelicher, E. S. (2011). Accuracy of peak VO₂ assessments in career firefighters. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 6(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/1745-6673-6-25>
- Dvorak, R. V., Tchernof, A., Starling, R. D., Ades, P. A., DiPietro, L., & Poehlman, E. T. (2000). Respiratory fitness, free living physical activity, and cardiovascular disease risk in older individuals: A doubly labeled water study. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 85(3), 957–963. <https://doi.org/10.1210/jc.85.3.957>
- Elsner, K. L., & Kolkhorst, F. W. (2008). Metabolic demands of simulated firefighting tasks. *Ergonomics*, 51(9), 1418–1425. <https://doi.org/10.1080/00140130802120259>

- Ely, B. R., Blanchard, L. A., Steele, J. R., Francisco, MICHAEL A. Cheuvront, S. N., & Minson, C. T. (2018). Physiological responses to overdressing and exercise-heat stress in trained runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(6), 1285–1296. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001550>
- Epstein, Y., Yanovich, R., Moran, D. S., & Heled, Y. (2013). Physiological employment standards IV: Integration of women in combat units physiological and medical considerations. *European Journal of Applied Physiology*, 113(11), 2673–2690. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2558-7>
- Faber, A., Sell, L., Hansen, J. V, Burr, H., Lund, T., Holtermann, A., & Sjøgaard, K. (2012). Does muscle strength predict future musculoskeletal disorders and sickness absence? *Occupational Medicine*, 62(1), 41–46. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqr150>
- Fasching, P., Rinnerhofer, S., Wultsch, G., Birnbaumer, P., & Hofmann, P. (2020). The first lactate threshold is a limit for heavy occupational work. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 5(3), 1–13. <https://doi.org/10.3390/JFMK5030066>
- Fajrin, F., Kusnanik, N. W., & Wijono. (2018). Effects of High Intensity Interval Training on Increasing Explosive Power, Speed, and Agility. *Journal of Physics: Conference Series*, 947, 012045. doi:10.1088/1742-6596/947/1/012045
- Febbraio, M. A. (2001). Alterations in energy metabolism during exercise and heat stress. *Sports Medicine*, 31(1), 47–59. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131010-00004>
- Feito, Y., Heinrich, K., Butcher, S., & Poston, W. (2018). High-Intensity Functional Training (HIFT): definition and research implications for improved fitness. *Sports*, 6(3), 76. <https://doi.org/10.3390/sports6030076>
- Fernández- Huertas, V., Rodríguez de la Fuente, J., & Aguirre- Briones, F. (2002). *Manual de un primer ataque a un Incendio Forestal* (Issue 1). Junta de Castilla y León, Consejería de Medio Ambiente.
- Follador, L., Alves, R. C., Ferreira, S. dos S., Buzzachera, C. F., Andrade, V. F. dos S., Garcia, E. D. S. de A., Osiecki, R., Barbosa, S. C., de Oliveira, L. M., & da Silva, S. G. (2018). Physiological, perceptual, and affective responses to six high-intensity interval training protocols. *Perceptual and Motor Skills*, 125(2), 329–350. <https://doi.org/10.1177/0031512518754584>

- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A New approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *15*(1), 109–115. <https://doi.org/10.1519/00124278-200102000-00019>
- Foster, C., Farland, C. V., Guidotti, F., Harbin, M., Roberts, B., Schuette, J., ... & Porcari, J. P. (2015). The effects of high intensity interval training vs steady state training on aerobic and anaerobic capacity. *Journal of sports science & medicine*, *14*(4), 747.
- Fritzsche, R. G., & Coyle, E. F. (2000). Cutaneous blood flow during exercise is higher in endurance-trained humans. *Journal of Applied Physiology*, *88*(2), 738–744. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.2.738>
- Gagnon, D., Dorman, L. E., Jay, O., Hardcastle, S., & Kenny, G. P. (2009). Core temperature differences between males and females during intermittent exercise: Physical considerations. *European Journal of Applied Physiology*, *105*(3), 453–461. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0923-3>
- Gagnon, D., Jay, O., Lemire, B., & Kenny, G. P. (2008). Sex-related differences in evaporative heat loss: The importance of metabolic heat production. *European Journal of Applied Physiology*, *104*(5), 821–829. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0837-0>
- García-Heras, F., Gutiérrez-Arroyo, J., & Molinero-González, O. (2021). Ansiedad, estrés, y estados de ánimo del Personal Especialista en Extinción de Incendios Forestales (Anxiety, stress, and mood states of wildland firefighters). *Retos*, *41*(41), 228–236. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i41.85501>
- García-Heras, F., Gutiérrez-Arroyo, J., León-Guereño, P., Carballo-Leyenda, B., & Rodríguez-Marroyo, J. A. (2022). Chronic pain in Spanish wildland firefighters. *Journal of Clinical Medicine*, *11*(4). <https://doi.org/10.3390/jcm11040989>
- Ghosh, A. K. (2004). Anaerobic threshold: Its concept and role in endurance sport. *Malaysian Journal of Medical Sciences*, *11*(1), 24–36.
- Gillen, J. B., & Gibala, M. J. (2014). Is high-intensity interval training a time-efficient exercise strategy to improve health and fitness? *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *39*(3), 409–412. <https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0187>

- Gist, N. H., Fedewa, M. V., Dishman, R. K., & Cureton, K. J. (2014). Sprint Interval Training Effects on Aerobic Capacity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 44(2), 269–279. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0115-0>
- Gist, N. H., Freese, E. C., Ryan, T. E., & Cureton, K. J. (2015). Effects of low-volume, high-intensity whole-body calisthenics on army rotc cadets. *Military Medicine*, 180(5), 492–498. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-14-00277>
- Gist, N., Freese, E., & Cureton, K. (2014). Comparison of responses to two high-intensity intermittent exercise protocols. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(11), 3033–3040. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000522>
- Gnacinski, S. L., Meyer, B. B., Cornell, D. J., Mims, J., Zalewski, K. R., & Ebersole, K. T. (2015). Tactical athletes: an integrated approach to understanding and enhancing the health and performance of firefighters-in-training. *International Journal of Exercise Science*, 8(4), 4.
- González- Badillo, J. J., & Ribas- Serna, J. (2018). *Bases de programación del entrenamiento de fuerza* (INDE).
- González- Garnelo, M., & Fernández- Huertas, V. (2003). *Manual para cuadrillas de prevención y extinción de Incendios Forestales*. Junta de Castilla y León, Consejería de Medio Ambiente.
- González-Alonso, J., Teller, C., Andersen, S. L., Jensen, F. B., Hyldig, T., & Nielsen, B. (1999). Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology*, 86(3), 1032–1039. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.3.1032>
- Gordon, H., & Lariviere, M. (2014). Physical and psychological determinants of injury in Ontario forest firefighters. *Occupational Medicine*, 64(8), 583–588. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqu133>
- Gottlob, A. (2007). *Entrenamiento muscular diferenciado. Tronco y columna vertebral*. Paidotribo.
- Groot, E., Caturay, A., Khan, Y., & Copes, R. (2019). A systematic review of the health impacts of occupational exposure to wildland fires. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 32(2), 121–140. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01326>

-
- Gumieniak, R. J., Gledhill, N., & Jamnik, V. K. (2018a). Physical employment standard for Canadian wildland firefighters: examining test-retest reliability and the impact of familiarisation and physical fitness training. *Ergonomics*, *0139*, 1–10. <https://doi.org/10.1080/00140139.2018.1464213>
- Gumieniak, R. J., Gledhill, N., & Jamnik, V. K. (2018b). Physical employment standard for Canadian wildland fire fighters; developing and validating the test protocol. *Ergonomics*, *61*(10), 1311–1323. <https://doi.org/10.1080/00140139.2018.1462408>
- Gumieniak, R. J., Poulin, S., Gledhill, N., & Jamnik, V. (2019). Examining wildland fire fighter candidate pass rates over five years post-implementation on a newly-developed physical employment standard. *Work*, *63*(4), 581–589. <https://doi.org/10.3233/WOR-192957>
- Gumieniak, R. J., Shaw, J., Gledhill, N., & Jamnik, V. K. (2018). Physical employment standard for Canadian wildland fire fighters; identifying and characterising critical initial attack response tasks. *Ergonomics*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/00140139.2018.1464211>
- Günther, C. M., Bürger, A., Rickert, M., Crispin, A., & Schulz, C. U. (2008). Grip strength in healthy caucasian adults: reference values. *Journal of Hand Surgery*, *33*(4), 558–565. <https://doi.org/10.1016/j.jhssa.2008.01.008>
- Gutiérrez-Arroyo, J., García-Heras, F., Carballo-Leyenda, B., Villa-Vicente, J. G., Rodríguez-Medina, J., & Rodríguez-Marroyo, J. A. (2023). Effect of a high-intensity circuit training program on the physical fitness of wildland firefighters. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(3), 2073. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032073>
- Haddock, C. K., Poston, W. S. C., Heinrich, K. M., Jahnke, S. A., & Jitnarin, N. (2016). The benefits of high-intensity functional training fitness programs for military personnel. *Military Medicine*, *181*(11), e1508–e1514. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-15-00503>
- Haff, G., Beminger, D., & Caulfield, S. (2016). Exercise technique for alternative modes and nontraditional implement training. In *Essentials of Strength Training and Conditioning* (4th ed., pp. 417–421). Champaign: Human Kinetics.
- Hall, S., Aisbett, B., Tait, J., Turner, A., Ferguson, S., & Main, L. (2016). The acute physiological stress response to an emergency alarm and mobilization during the day and at night. *Noise and Health*, *18*(82), 150. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.181998>
-

- Handelsman, D. J., Hirschberg, A. L., & Bermon, S. (2018). Circulating testosterone as the hormonal basis of sex differences in athletic performance. *Endocrine Reviews*, 39(5), 803–829. <https://doi.org/10.1210/er.2018-00020>
- Hargreaves, M. (2008). Physiological limits to exercise performance in the heat. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(1), 66–71. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.07.002>
- Heinrich, K. M., Spencer, V., Fehl, N., & Carlos Poston, W. S. (2012). Mission essential fitness: Comparison of functional circuit training to traditional Army Physical Training for active duty military. *Military Medicine*, 177(10), 1125–1130. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-12-00143>
- Hicks, A. L., Kent-Braun, J., & Ditor, D. S. (2001). Sex differences in human skeletal muscle fatigue. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 29(3), 109–112. <https://doi.org/10.1097/00003677-200107000-00004>
- Holder, J. D., Stallings, L. A., Peeples, L., Burrell, J. W., & Kales, S. N. (2006). Firefighter heart presumption retirements in massachusetts 1997-2004. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 48(10), 1047–1053. <https://doi.org/10.1097/01.jom.0000235909.31632.46>
- Holm, P. M., Petersen, K. K., Wernbom, M., Schrøder, H. M., Arendt-Nielsen, L., & Skou, S. T. (2021). Strength training in addition to neuromuscular exercise and education in individuals with knee osteoarthritis-the effects on pain and sensitization. *European Journal of Pain*, February, ejp.1796. <https://doi.org/10.1002/ejp.1796>
- Horn, G. P., Blevins, S., Fernhall, B., & Smith, D. L. (2013). Core temperature and heart rate response to repeated bouts of firefighting activities. *Ergonomics*, 56(9), 1465–1473. <https://doi.org/10.1080/00140139.2013.818719>
- Hunter, S. K. (2016). The relevance of sex differences in performance fatigability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(11), 2247–2256. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000928>
- Jahnke, S. A., Hyder, M. L., Haddock, C. K., Jitnarin, N., Day, R. S., & Poston, W. S. C. (2015). High-intensity fitness training among a national sample of male career firefighters. *Safety and Health at Work*, 6(1), 71–74. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2014.12.005>
- Jamnik, V., Gumienak, R., & Gledhill, N. (2013). Developing legally defensible physiological employment standards for prominent physically

- demanding public safety occupations: A Canadian perspective. *European Journal of Applied Physiology*, 113(10), 2447–2457. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2603-1>
- Jeklin, A. T., Davies, H. W., Bredin, S. S. D., Hives, B. A., Meanwell, L. E., Perrotta, A. S., & Warburton, D. E. R. (2020). Fatigue and sleep patterns among Canadian wildland firefighters during a 17-day fire line deployment. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 17(7–8), 364–371. <https://doi.org/10.1080/15459624.2020.1759809>
- Jeukendrup, A. E. (2017). Periodized Nutrition for Athletes. *Sports Medicine*, 47(S1), 51–63. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0694-2>
- Juan-Recio, C., Barbado Murillo, D., López-Valenciano, A., & Vera-García, F. J. (2014). Test de campo para valorar la resistencia de los músculos del tronco. *Apunts Educació Física i Esports*, 117, 59–68. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2014/3\).117.06](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2014/3).117.06)
- Kaciuba-Uscilko, H., & Grucza, R. (2001). Gender differences in thermoregulation. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 4(6), 533–536. <https://doi.org/10.1097/00075197-200111000-00012>
- Kadmiel, M., & Cidlowski, J. A. (2013). Glucocorticoid receptor signaling in health and disease. *Trends in Pharmacological Sciences*, 34(9), 518–530. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2013.07.003>
- Kaikkonen, P., Lindholm, H., & Lusa, S. (2017). Physiological load and psychological stress during a 24-hour work shift among finnish firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 59(1), 41–46. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000912>
- Kales, S. N., Tsismenakis, A. J., Zhang, C., & Soteriades, E. S. (2009). Blood pressure in firefighters, police officers, and other emergency responders. *American Journal of Hypertension*, 22(1), 11–20. <https://doi.org/10.1038/ajh.2008.296>
- Karlsson, K., Niemelä, P., & Jonsson, A. (2011). Heart rate as a marker of stress in ambulance personnel: A pilot study of the body's response to the ambulance alarm. *Prehospital and Disaster Medicine*, 26(1), 21–26. <https://doi.org/10.1017/S1049023X10000129>
- Keating, S. E., Johnson, N. A., Mielke, G. I., & Coombes, J. S. (2017). A systematic review and meta-analysis of interval training versus moderate-intensity continuous training on body adiposity. *Obesity*

- Reviews*, 18(8), 943–964. <https://doi.org/10.1111/obr.12536>
- Kelly, K., Kraemer, W. J., Jones, B. H., Van Arsdale, S. J., & Nindl, B. C. (2016). Operational physical performance and fitness in military women: physiological, musculoskeletal injury, and optimized physical training considerations for successfully integrating women into combat-centric military occupations. *Military Medicine*, 181(1S), 50–62. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-15-00382>
- Kilpatrick, M. W., Martinez, N., Little, J. P., Jung, M. E., Jones, A. M., Price, N. W., & Lende, D. H. (2015). Impact of high-intensity interval duration on perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(5), 1038–1045. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000495>
- Kim, P., Hayden, J. A., & Mior, S. A. (2004). The cost-effectiveness of a back education program for firefighters: a case study. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 48(1), 13–19. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17549215> <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC1840037>
- Kim, Y.-K., Ahn, Y., Kim, K., Yoon, J., & Roh, J. (2016). Association between job stress and occupational injuries among Korean firefighters: a nationwide cross-sectional study. *BMJ Open*, 6(11), e012002. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-012002>
- Klika, B., & Jordan, C. (2013). High-intensity circuit training using body weight. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 17(3), 8–13. <https://doi.org/10.1249/fit.0b013e31828cb1e8>
- Koopmans, E., Cornish, K., Fyfe, T. M., Bailey, K., & Pelletier, C. A. (2022). Health risks and mitigation strategies from occupational exposure to wildland fire: a scoping review. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 17(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12995-021-00328-w>
- Kong, Z., Fan, X., Sun, S., Song, L., Shi, Q., & Nie, J. (2016). Comparison of high-intensity interval training and moderate-to-vigorous continuous training for cardiometabolic health and exercise enjoyment in obese young women: a randomized controlled trial. *PloS one*, 11(7), e0158589.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). *Fundamentals of Resistance Training: Progression and Exercise Prescription*. October 2003. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000121945.36635.61>

- Kraft, B., Frickey, N. A., Kaufmann, R. M., Reif, M., Frey, R., Gustorff, B., & Kress, H. G. (2008). Lack of analgesia by oral standardized cannabis extract on acute inflammatory pain and hyperalgesia in volunteers. *Anesthesiology*, *109*(1), 101–110. <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e31817881e1>
- Kuipers, H., Verstappen, F., Keizer, H., Geurten, P., & van Kranenburg, G. (1985). Variability of Aerobic Performance in the Laboratory and Its Physiologic Correlates. *International Journal of Sports Medicine*, *06*(04), 197–201. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025839>
- Kuorinka, I., & Korhonen, O. (1981). Firefighters' reaction to alarm, an ecg and heart rate study. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, *23*(11), 762–766. <https://doi.org/10.1097/00043764-198111000-00010>
- Kuwahara, T., Inoue, Y., Taniguchi, M., Ogura, Y., Ueda, H., & Kondo, N. (2005). Effects of physical training on heat loss responses of young women to passive heating in relation to menstrual cycle. *European Journal of Applied Physiology*, *94*(4), 376–385. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-1329-0>
- Laffaye, G., Wagner, P. P., & Tombleson, T. I. L. (2014). Countermovement jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(4), 1096–1105. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a1db03>
- Larsen, B., Snow, R., & Aisbett, B. (2015). Effect of heat on firefighters' work performance and physiology. *Journal of Thermal Biology*, *53*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2015.07.008>
- Larsen, B., Snow, R., Williams-Bell, M., & Aisbett, B. (2015). Simulated firefighting task performance and physiology under very hot conditions. *Frontiers in Physiology*, *6*(Nov), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00322>
- Laurent, C. M., Vervaecke, L. S., Kutz, M. R., & Green, J. M. (2014). Sex-specific responses to self-paced, high-intensity interval training with variable recovery periods. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(4), 920–927. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a1f574>
- Lee, J. Y., Kim, S., Jang, Y. J., Baek, Y. J., & Park, J. (2014). Component contribution of personal protective equipment to the alleviation of physiological strain in firefighters during work and recovery. *Ergonomics*, *57*(7), 1068–1077. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.907449>

- Leischik, R., Foshag, P., Strauß, M., Littwitz, H., Garg, P., Dworrak, B., & Horlitz, M. (2015). Aerobic capacity, physical activity and metabolic risk factors in firefighters compared with police officers and sedentary clerks. *PLoS ONE*, *10*(7), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133113>
- Lepers, R. (2019). Sex difference in triathlon performance. *Frontiers in Physiology*, *10*(Jul), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00973>
- Levins, K. J., Drago, T., Roman, E., Martin, A., King, R., Murphy, P., Gallagher, H., Barry, D., O'Hanlon, E., & Roddy, D. W. (2019). Magnetic resonance spectroscopy across chronic pain disorders: a systematic review protocol synthesising anatomical and metabolite findings in chronic pain patients. *Systematic Reviews*, *8*(1), 338. <https://doi.org/10.1186/s13643-019-1256-5>
- Liao, H., Arvey, R. D., Butler, R. J., & Nutting, S. M. (2001). Correlates of work injury frequency and duration among firefighters. *Journal of Occupational Health Psychology*, *6*(3), 229–242. <https://doi.org/10.1037/1076-8998.6.3.229>
- López-Chicharro, J., & Fernández- Vaquero, A. (2006). *Fisiología del ejercicio*. Panamericana.
- López-Chicharro, J., & Lucía-Mulas, A. (2006). Transición aeróbica - anaeróbica: concepto, bases fisiológicas y aplicaciones. En *Fisiología del ejercicio* (Ed. Panamerica, pp. 416–441).
- López-Chicharro, J., & Vicente Campos, D. (2018). *HIIT. Entrenamiento Interválico de Alta Intensidad*. Impresiones Merinero.
- López Satué, J. (2009). *Influencia de la condición física en relación con la salud y el rendimiento del personal especialista en extinción de incendios forestales* [Universidad de león]. <http://catoute.unileon.es/record>
- Lord, C., Netto, K., Petersen, A., Nichols, D., Drain, J., Phillips, M., & Aisbett, B. (2012). Validating “fit for duty” tests for Australian volunteer fire fighters suppressing bushfires. *Applied Ergonomics*, *43*(1), 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.05.003>
- Louhevaara, V., Tuomi, T., Korhonen, O., & Jaakkola, J. (1984). Cardiorespiratory effects of respiratory protective devices during exercise in well-trained men. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *52*(3), 340–345. <https://doi.org/10.1007/BF01015224>

- Lovelace, B. A. (2012). Evaluation of physical fitness tests and the usefulness of an internal crew questionnaire to predict job readiness in hotshots. *University of Montana, Theses, Di*, Paper 400.
- Lucia, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (2001). Physiology of professional road cycling. *Sports Medicine*, 31(5), 325–337. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131050-00004>
- Lui, B., Cuddy, J. S., Hailes, W. S., & Ruby, B. C. (2014). Seasonal heat acclimatization in wildland firefighters. *Journal of Thermal Biology*, 45, 134–140. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.08.009>
- Machado, A. F., Baker, J. S., Figueira Junior, A. J., & Bocalini, D. S. (2017). High-intensity interval training using whole-body exercises: training recommendations and methodological overview. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 1–6. <https://doi.org/10.1111/cpf.12433>
- Maillard, F., Pereira, B., & Boisseau, N. (2018). Effect of high-intensity interval training on total, abdominal and visceral fat mass: a meta-analysis. *Sports Medicine*, 48(2), 269–288. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0807-y>
- Malgoyre, A., Tardo-Dino, P. E., Koulmann, N., Lepetit, B., Jousseume, L., & Charlot, K. (2018). Uncoupling psychological from physiological markers of heat acclimatization in a military context. *Journal of Thermal Biology*, 77(August), 145–156. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.08.017>
- Mamen, A., Oseland, H., & Medbø, J. I. (2013). A comparison of two physical ability tests for firefighters. *Ergonomics*, 56(10), 1558–1568. <https://doi.org/10.1080/00140139.2013.821171>
- Marcell, T. J., Hawkins, S. A., & Wiswell, R. A. (2014). Leg strength declines with advancing age despite habitual endurance exercise in active older adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(2), 504–513. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a952cc>
- Marins, E. F., David, G. B., & Del Vecchio, F. B. (2019). Characterization of the physical fitness of police officers: A systematic review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(10), 2860–2874. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003177>
- Markovic, G. (2007). Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytic review. *British journal of sports medicine*, 41, 349–355

- Marks, A. N., Sol, J. A., Domitrovich, J. W., West, M. R., & Ruby, B. C. (2020). Total energy intake and self-selected macronutrient distribution during wildland fire suppression. *Wilderness and Environmental Medicine*, 31(2), 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2020.01.009>
- Márquez, S. (2004). *Ansiedad, estrés y deporte*. Editorial EOS.
- Maud, P. J., & Shultz, B. B. (1986). Gender comparisons in anaerobic power and anaerobic capacity tests. *British Journal of Sports Medicine*, 20(2), 51–54. <https://doi.org/10.1136/bjism.20.2.51>
- Maughan, R. J. (1999). Exercise in the heat: limitations to performance and the impact of fluid replacement strategies. Introduction to the Symposium. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 24(2), 149–151. <https://doi.org/10.1139/h99-012>
- McGill, S. M., Childs, A., & Liebenson, C. (1999). Endurance times for low back stabilization exercises: clinical targets for testing and training from a normal database. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80(8), 941–944. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(99\)90087-4](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(99)90087-4)
- McGill, S., Belore, M., Crosby, I., & Russell, C. (2010). Clinical tools to quantify torso flexion endurance: Normative data from student and firefighter populations. *Occupational Ergonomics*, 9(1), 55–61. <https://doi.org/10.3233/OER-2010-0181>
- McGill, S., Frost, D., Andersen, J., Crosby, I., & Gardiner, D. (2013). Movement quality and links to measures of fitness in firefighters. *Work*, 45(3), 357–366. <https://doi.org/10.3233/WOR-121538>
- McGillis, Z., Dorman, S. C., Robertson, A., Larivière, M., Leduc, C., Eger, T., Oddson, B. E., & Larivière, C. (2017). Sleep quantity and quality of Ontario wildland firefighters across a low-hazard fire season. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 59(12), 1188–1196. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001175>
- Mcrae, G., Payne, A., Zelt, J. G. E., Scribbans, T. D., Jung, M. E., Little, J. P., & Gurd, B. J. (2012). Extremely low volume, whole-body aerobic-resistance training improves aerobic fitness and muscular endurance in females. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 37(6), 1124–1131. <https://doi.org/10.1139/H2012-093>
- Meyer, T., Lucía, A., Earnest, C. P., & Kindermann, W. (2005). A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters - Theory and application.

-
- International Journal of Sports Medicine, Supplement*, 26(1).
<https://doi.org/10.1055/s-2004-830514>
- Michaelides, M. A., Parpa, K. M., Henry, L. J., Thompson, G. B., & Brown, B. S. (2011). Assessment of physical fitness aspects and their relationship to firefighters' job abilities. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4), 956–965. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cc23ea>
- Michaelides, M. A., Parpa, K. M., Thompson, J., & Brown, B. (2008). Predicting performance on a firefighter's ability test from fitness parameters. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 79(4), 468–475. <https://doi.org/10.1080/02701367.2008.10599513>
- Midgley, A. W., Carroll, S., Marchant, D., McNaughton, L. R., & Siegler, J. (2009). Evaluation of true maximal oxygen uptake based on a novel set of standardized criteria. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 34(2), 115–123. <https://doi.org/10.1139/H08-146>
- Miller, A. E. J., MacDougall, J. D., Tarnopolsky, M. A., & Sale, D. G. (1993). Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 66(3), 254–262. <https://doi.org/10.1007/BF00235103>
- Miranda, H., Martikainen, R., Takala, E., & Riihimäki, H. (2001). A prospective study of work related factors and physical exercise as predictors of shoulder pain. *Occupational Environ Med.*, 58(8), 528–534.
- MITECO. (2023a). *Formación y entrenamiento de las BRIF*. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/incendios-forestales/extincion/brif_formacion.html
- MITECO. (2023b). *La organización de la BRIF*. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/incendios-forestales/extincion/brif_organizacion.html
- MITECO. (2023c). *Las Brigadas de Refuerzo en Incendios Forestales (BRIF) del Ministerio*. <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/incendios-forestales/extincion/brif.html>
- MITECO. (2023d). *Método de trabajo de las BRIF*. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/incendios-forestales/extincion/brif_metodologia.html
- Miyamoto-Mikami, E., Tsuji, K., Horii, N., Hasegawa, N., Fujie, S., Homma, T., & Iemitsu, M. (2018). Gene expression profile of muscle adaptation to
-

- high-intensity intermittent exercise training in young men. *Scientific reports*, 8(1), 16811.
- Mountain, S. J., Shippee, R., & Tharion, W. J. (1997). Carbohydrate–electrolyte solution effects on physical performance of military tasks. *Aviat Space Environ Med*, 68, 384–91.
- Mora-Rodriguez, R., Coso, J. Del, Hamouti, N., Estevez, E., & Ortega, J. F. (2010). Aerobically trained individuals have greater increases in rectal temperature than untrained ones during exercise in the heat at similar relative intensities. *European Journal of Applied Physiology*, 109(5), 973–981. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1436-4>
- Morris, C., & Chander, H. (2018). The impact of firefighter physical fitness on job performance: a review of the factors that influence fire suppression safety and success. *Safety*, 4(4), 60. <https://doi.org/10.3390/safety4040060>
- Muñoz-Martínez, F. A., Rubio-Arias, J. Á., Ramos-Campo, D. J., & Alcaraz, P. E. (2017). Effectiveness of resistance circuit-based training for maximum oxygen uptake and upper-body one-repetition maximum improvements: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 47(12), 2553–2568. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0773-4>
- Navarro, K. M., Kleinman, M. T., Mackay, C. E., Reinhardt, T. E., Balmes, J. R., Broyles, G. A., Ottmar, R. D., Naher, L. P., & Domitrovich, J. W. (2019). Wildland firefighter smoke exposure and risk of lung cancer and cardiovascular disease mortality. *Environmental Research*, 173(March), 462–468. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.03.060>
- Nazari, G., MacDermid, J. C., Sinden, K. E., & Overend, T. J. (2018). The relationship between physical fitness and simulated firefighting task performance. *Rehabilitation Research and Practice*, 2018(2007), 1–7. <https://doi.org/10.1155/2018/3234176>
- Nazari, G., MacDermid, J. C., Sinden, K. E., & Overend, T. J. (2019). Comparison of Canadian firefighters and healthy controls based on submaximal fitness testing and strength considering age and gender. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 25(1), 1–7. <https://doi.org/10.1080/10803548.2017.1372086>
- Nazari, G., Osifeso, T. A., & MacDermid, J. C. (2020). Distribution of number, location of pain and comorbidities, and determinants of work limitations among firefighters. *Rehabilitation Research and Practice*, 2020, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2020/1942513>

-
- Negm, A., MacDermid, J., Sinden, K., D'Amico, R., Lomotan, M., & MacIntyre, N. J. (2017). Prevalence and distribution of musculoskeletal disorders in firefighters are influenced by age and length of service. *Journal of Military, Veteran and Family Health*, 3(2), 33–41. <https://doi.org/10.3138/jmvfh.2017-0002>
- Netto, K., Lord, C., Petersen, A., Janssen, J., Nichols, D., & Aisbett, B. (2013). Muscle activation during the Pack Hike test and a critical wildfire fighting task. *Applied Ergonomics*, 44(2), 274–277. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.08.003>
- Newman, A., Armonda, A., & Braun, B. (2022). Evaluation of two training programs designed to enhance performance on the army combat fitness test among rotc cadets. *Military Medicine*, 187(9–10), E1030–E1036. <https://doi.org/10.1093/milmed/usac015>
- Nindl, B. C. (2015). Physical training strategies for military women's performance optimization in combat-centric occupations. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(11), S101–S106. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001089>
- Nindl, B. C., Eagle, S. R., Frykman, P. N., Palmer, C., Lammi, E., Reynolds, K., Allison, K., & Harman, E. (2017). Functional physical training improves women's military occupational performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20, S91–S97. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.07.012>
- Nindl, B. C., Jones, B. H., Van Arsdale, S. J., Kelly, K., & Kraemer, W. J. (2016). Operational physical performance and fitness in military women: physiological, musculoskeletal injury, and optimized physical training considerations for successfully integrating women into combat-centric military occupations. *Military Medicine*, 181(1), 50–62. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-15-00382>
- Noh, K., Lee, K., Jamrasi, P., Zhang, Y., Park, S., Seo, D., Park, J. J., Lee, H., Kang, H., Lee, C. G., AHN, Y. E. O. N. S. O. O. N., & Song, W. (2020). Physical fitness levels of South Korean national male and female firefighters. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 18(3), 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2020.03.004>
- Nuzzo, J. L. (2023). Narrative review of sex differences in muscle strength, endurance, activation, size, fiber type, and strength training participation rates, preferences, motivations, injuries, and neuromuscular adaptations. *Journal of Strength and Conditioning*
-

- Research*, 37(2), 494–536.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004329>
- Oakley, R. H., & Cidlowski, J. A. (2013). The biology of the glucocorticoid receptor: New signaling mechanisms in health and disease. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 132(5), 1033–1044.
<https://doi.org/10.1016/j.jaci.2013.09.007>
- Orr, R., Simas, V., Canetti, E., Maupin, D., & Schram, B. (2019). Impact of various clothing variations on firefighter mobility: a pilot study. *Safety*, 5(4), 78. <https://doi.org/10.3390/safety5040078>
- Parker, R., Vitalis, A., Walker, R., Riley, D., & Pearce, H. G. (2017). Measuring wildland fire fighter performance with wearable technology. *Applied Ergonomics*, 59, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.08.018>
- Paterson, J. L., Aisbett, B., & Ferguson, S. A. (2016). Sound the alarm: health and safety risks associated with alarm response for salaried and retained metropolitan firefighters. *Safety Science*, 82, 174–181.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.09.024>
- Périard, J., & Racinais, S. (2019). *Heat stress in sport and exercise*. Cham, Switzerland: Springer.
- Périard, J. D., DeGroot, D., & Jay, O. (2022). Exertional heat stroke in sport and the military: epidemiology and mitigation. *Experimental Physiology*, August, 1111–1121. <https://doi.org/10.1113/EP090686>
- Périard, J. D., Eijsvogels, T. M. H., & Daanen, H. A. M. (2021). Exercise under heat stress: thermoregulation, hydration, performance implications, and mitigation strategies. *Physiological Reviews*, 101(4), 1873–1979.
<https://doi.org/10.1152/physrev.00038.2020>
- Périard, J. D., Racinais, S., & Sawka, M. N. (2015). Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: Applications for competitive athletes and sports. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(S1), 20–38. <https://doi.org/10.1111/sms.12408>
- Périard, J. D., Travers, G. J. S., Racinais, S., & Sawka, M. N. (2016). Cardiovascular adaptations supporting human exercise-heat acclimation. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 196, 52–62.
<https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.02.002>
- Perroni, F., Cardinali, L., Cignitti, L., Gobbi, E., Grugni, F., Id, S. A., Bruno, M., Rocchi, L., Grandinetti, L., Lunetta, F., Stocchi, V., Baldari, C., Sisti, D., & Id, L. G. (2021). Are there sex differences in physiological parameters and

- reaction time responses to overload in firefighters? *PLoS ONE*, 1–15.
<https://doi.org/doi.org/10.1371/journal.pone.0249559>
- Perroni, F., Cignitti, L., Cortis, C., & Capranica, L. (2014). Physical fitness profile of professional Italian firefighters: Differences among age groups. *Applied Ergonomics*, 45(3), 456–461.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.06.005>
- Perroni, F., Tessitore, A., Cibelli, G., Lupo, C., D'Artibale, E., Cortis, C., Cignitti, L., De Rosas, M., & Capranica, L. (2009). Effects of simulated firefighting on the responses of salivary cortisol, alpha-amylase and psychological variables. *Ergonomics*, 52(4), 484–491.
<https://doi.org/10.1080/00140130802707873>
- Peterman, J. E., Arena, R., Myers, J., Marzolini, S., Ross, R., Lavie, C. J., Wisløff, U., Stensvold, D., & Kaminsky, L. A. (2020). Development of global reference standards for directly measured cardiorespiratory fitness: a report from the fitness registry and importance of exercise national database (FRIEND). *Mayo Clinic Proceedings*, 95(2), 255–264.
<https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2019.06.013>
- Petersen, A., Payne, W., Phillips, M., Netto, K., Nichols, D., & Aisbett, B. (2010). Validity and relevance of the pack hike wildland firefighter work capacity test: a review. *Ergonomics*, 53(10), 1276–1285.
<https://doi.org/10.1080/00140139.2010.513451>
- Petersen, S. R., Anderson, G. S., Tipton, M. J., Docherty, D., Graham, T. E., Sharkey, B. J., & Taylor, N. A. S. (2016). Towards best practice in physical and physiological employment standards. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41(6 (Suppl. 2)), S47–S62.
<https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0003>
- Petruzzello, S. J., Gapin, J. I., Snook, E., & Smith, D. L. (2009). Perceptual and physiological heat strain: Examination in firefighters in laboratory- and field-based studies. *Ergonomics*, 52(6), 747–754.
<https://doi.org/10.1080/00140130802550216>
- Phelps, S., Drew-Nord, D., Neitzel, R., Wallhagen, M., Michael, B., & OiSaeng, H. (2018). Characteristics and predictors of occupational injury among career firefighters. *Workplace Health Saf.*, 66(6), 291–301.
<https://doi.org/10.1177 / 2165079917740595>
- Phillips, D. B., Ehnes, C. M., Stickland, M. K., & Petersen, S. R. (2019). Ventilatory responses in males and females during graded exercise with and without thoracic load carriage. *European Journal of Applied*

- Physiology*, 119(2), 441–453. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-4042-5>
- Phillips, D. B., Ehnes, C. M., Welch, B. G., Lee, L. N., Simin, I., & Petersen, S. R. (2018). Influence of work clothing on physiological responses and performance during treadmill exercise and the Wildland Firefighter Pack Test. *Applied Ergonomics*, 68(December 2017), 313–318. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.12.010>
- Phillips, D. B., Stickland, M. K., & Petersen, S. R. (2016). Physiological and performance consequences of heavy thoracic load carriage in females. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41(7), 741–748. <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0002>
- Phillips, D., Scarlett, M. P., & Petersen, S. R. (2017). The influence of body mass on physical fitness test performance in male firefighter Applicants. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 59(11), 1101–1108. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001145>
- Phillips, M., Payne, W., Lord, C., Netto, K., Nichols, D., & Aisbett, B. (2012). Identification of physically demanding tasks performed during bushfire suppression by Australian rural firefighters. *Applied Ergonomics*, 43(2), 435–441. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.06.018>
- Phillips, M., Petersen, A., Abbiss, C. R., Netto, K., Payne, W., Nichols, D., & Aisbett, B. (2011). Pack Hike Test finishing time for Australian firefighters: pass rates and correlates of performance. *Applied Ergonomics*, 42(3), 411–418. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2010.08.020>
- Plasqui, G., & Westerterp, K. R. (2007). Accelerometers: an evaluation against doubly labeled water. *October*, 15(10), 2371–2379.
- Plat, M. J., Frings-Dresen, M. H. W., & Sluiter, J. K. (2011). A systematic review of job-specific workers' health surveillance activities for fire-fighting, ambulance, police and military personnel. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 84(8), 839–857. <https://doi.org/10.1007/s00420-011-0614-y>
- Prieto, J. A., González, V., Del Valle, M., & Nistal, P. (2013). The influence of age on aerobic capacity and health indicators of three rescue groups. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 19(1), 19–27. <https://doi.org/10.1080/10803548.2013.11076963>
- Prieto, J. A., Nistal, P., Méndez, D., Abelairas-Gomez, C., & Barcala-Furelos, R.

- (2016). Impact of error self-perception of aerobic capacity in the safety and efficacy of the lifeguards. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 22(1), 159–163. <https://doi.org/10.1080/10803548.2015.1117352>
- Rabadán, M., Díaz, V., Calderón, F. J., Benito, P. J., Peinado, A. B., & Maffulli, N. (2011). Physiological determinants of speciality of elite middle- and long-distance runners. *Journal of Sports Sciences*, 29(9), 975–982. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.571271>
- Racinais, S., Alonso, J. M., Coutts, A. J., Flouris, A. D., Girard, O., González-Alonso, J., Hausswirth, C., Jay, O., Lee, J. K. W., Mitchell, N., Nassis, G. P., Nybo, L., Plum, B. M., Roelands, B., Sawka, M. N., Wingo, J., & Périard, J. D. (2015). Consensus recommendations on training and competing in the heat. *British Journal of Sports Medicine*, 49(18), 1164–1173. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094915>
- Raines, J., Snow, R., Nichols, D., & Aisbett, B. (2015). Fluid intake, hydration, work physiology of wildfire fighters working in the heat over consecutive days. *Annals of Occupational Hygiene*, 59(5), 554–565. <https://doi.org/10.1093/annhyg/meu113>
- Raines, J., Snow, R., Petersen, A., Harvey, J., Nichols, D., & Aisbett, B. (2013). The effect of prescribed fluid consumption on physiology and work behavior of wildfire fighters. *Applied Ergonomics*, 44(3), 404–413. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.10.002>
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., & Gray, R. (2004). Physical fitness and job performance of firefighters. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(2), 348–352. <https://doi.org/10.1519/R-12812.1>
- Roberts, D., Gebhardt, D. L., Gaskill, S. E., Roy, T. C., & Sharp, M. A. (2016). Current considerations related to physiological differences between the sexes and physical employment standards. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41(6 (Suppl. 2)), S108–S120. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0540>
- Roberts, M. A., O'DEA, J., Boyce, A., & Mannix, E. T. (2002). Fitness levels of firefighter recruits before and after a supervised exercise training program. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(2), 271–277.
- Robinson, J., Roberts, A., Irving, S., & Orr, R. (2018). Aerobic fitness is of greater importance than strength and power in the load carriage performance of specialist police. *International Journal of Exercise*

- Science*, 11(4), 987–998.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30147827><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC6102195>
- Robinson, S. J., Leach, J., Owen-Lynch, P. J., & Sünram-Lea, S. I. (2013). Stress reactivity and cognitive performance in a simulated firefighting emergency. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 84(6), 592–599. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3391.2013>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., Villa, J. G., López-Satue, J., Pernía, R., Carballo, B., García-López, J., & Foster, C. (2011a). Physical and thermal strain of firefighters according to the firefighting tactics used to suppress wildfires. *Ergonomics*, 54(11), 1101–1108. <https://doi.org/10.1080/00140139.2011.611895>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., Pernía, R., Cejuela, R., García-López, J., Llopis, J., & Villa, J. G. (2011b). Exercise intensity and load during different races in youth and junior cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 511–519. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bf4426>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., López-Satue, J., Pernía, R., Carballo, B., García-López, J., Foster, C., & Villa, J. G. (2012a). Physiological work demands of Spanish wildland firefighters during wildfire suppression. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 85(2), 221–228. <https://doi.org/10.1007/s00420-011-0661-4>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., Villa, G., García-López, J., & Foster, C. (2012b). Comparison of heart rate and session rating of perceived exertion methods of defining exercise load in cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(8), 2249–2257. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823a4233>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., Villa, J. G., Fernández, G., & Foster, C. (2013). Effect of cycling competition type on effort based on heart rate and session rating of perceived exertion. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 2(53), 154–161.
- Rodríguez-Marroyo, J. A., González-Lázaro, J., Arribas-Cubero, H. F., & Villa, J. G. (2018). Physiological demands of mountain running races. *Kinesiology*, 50(January), 60–66.
- Rogol, A. D., Roemmich, J. N., & Clark, P. A. (2002). Growth at puberty. *Journal of Adolescent Health*, 31(6 SUPPL.), 192–200. [https://doi.org/10.1016/S1054-139X\(02\)00485-8](https://doi.org/10.1016/S1054-139X(02)00485-8)

- Rojas Quirós, J. (2013). Consumo máximo de oxígeno (vo₂max) en bomberos: revisión sistemática de estudios. *MHSalud: Revista En Ciencias Del Movimiento Humano y Salud*, 10(1). <https://doi.org/10.15359/mhs.10-1.3>
- Romero-Arenas, S. (2013). Impact of resistance circuit training on neuromuscular, cardiorespiratory and body composition adaptations in the elderly. *Aging and Disease*, 04(05), 256–263. <https://doi.org/10.14336/AD.2013.0400256>
- Rosales, A. M., Dodds, P. S., Sol, J. A., Marks, A. N., Domitrovich, J. W., & Ruby, B. C. (2021). Workshift changes in hydration status during wildfire suppression. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 63(11), 963–969. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000002285>
- Roy, T. C., Ritland, B. M., & Sharp, M. A. (2015). A description of injuries in men and women while serving in Afghanistan. *Military Medicine*, 180(2), 126–131. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-14-00321>
- Ruby, B. C., Coker, R. H., Sol, J., Quindry, J., & Montain, S. J. (2023). Physiology of the wildland firefighter: managing extreme energy demands in hostile, smoky, mountainous environments. *Comprehensive Physiology*, 13(2), 4587–4615. <https://doi.org/10.1002/cphy.c220016>
- Ruby, B. C., Leadbetter, G. W., Armstrong, D. W., & Gaskill, S. E. (2003a). Wildland firefighter load carriage: effects on transit time and physiological responses during simulated escape to safety zone. *International Journal of Wildland Fire*, 12(1), 111–116. <https://doi.org/10.1071/WF02025>
- Ruby, B. C., Schoeller, D. A., Sharkey, B. J., Burks, C., & Tysk, S. (2003b). Water turnover and changes in body composition during arduous wildfire suppression. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(10), 1760–1765. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000089348.39312.4D>
- Ruby, B. C., Shriver, T. C., Zderic, T. W., Sharkey, B. J., Burks, C., & Tysk, S. (2002). Total energy expenditure during arduous wildfire suppression. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(6), 1048–1054. <https://doi.org/10.1097/00005768-200206000-00023>
- Ryan, E. D., Thompson, B. J., & Sobolewski, E. J. (2016). Influence of manual labor at work on muscular fitness and its relationship with work performance. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 58(10), 1034–1039. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000860>

- Saint Romain, B., & Mahar, M. T. (2001). Norm-referenced and criterion-referenced reliability of the push-up and modified pull-up. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 5(2), 67–80. https://doi.org/10.1207/S15327841MPEE0502_1
- Sanders, D., van Erp, T., & de Koning, J. J. (2019). Intensity and load characteristics of professional road cycling: differences between men's and women's races. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(3), 296–302. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0190>
- Santalla, A., Earnest, C. P., Marroyo, J. A., & Lucia, A. (2012). The Tour de France: an updated physiological review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(3), 200–209. <https://doi.org/10.1123/ijsp.7.3.200>
- Savage, R. J., Lord, C., Larsen, B. L., Knight, T. L., Langridge, P. D., & Aisbett, B. (2014). Firefighter feedback during active cooling: A useful tool for heat stress management? *Journal of Thermal Biology*, 46, 66–71. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.10.003>
- Sawka, M. N. (2015). Hydration & aerobic performance: impact of environment. *Sports Science Exchange*, 28(152), 1–5. https://secure.footprint.net/gatorade/prd/gssiweb/sf_libraries/sse-docs/sawka_sse_152_1-04-16-final.pdf?sfvrsn=2
- Sawka, M. N., Burke, L. M., Eichner, E. R., Maughan, R. J., Montain, S. J., & Stachenfeld, N. S. (2007). Exercise and fluid replacement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(2), 377–390. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31802ca597>
- Sawka, M. N., Leon, L. R., Montain, S. J., & Sanna, L. A. (2011). Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress. *Comprehensive Physiology*, 1(4), 1883–1928. <https://doi.org/10.1002/cphy.c100082>
- Sawka, M. N., Wenger, C. B., & Pandolf, K. B. (2011). Thermoregulatory responses to acute exercise-heat stress and heat acclimation. *Comprehensive Physiology*. <https://doi.org/10.1002/cphy.cp040109>
- Schaun, G. Z., Pinto, S. S., Silva, M. R., Dolinski, D. B., & Alberton, C. L. (2018). Whole-body high-intensity interval training induce similar cardiorespiratory adaptations compared with traditional high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training in healthy men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(10), 2730–2742.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002594>

- Scherzer, T., Rugulies, R., & Krause, N. (2005). Work-related pain and injury and barriers to workers' compensation among las Vegas hotel room cleaners. *American Journal of Public Health, 95*(3), 483–488. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2003.033266>
- Schleh, M. W., Ruby, B. C., & Dumke, C. L. (2018). Short term heat acclimation reduces heat stress, but is not augmented by dehydration. *Journal of Thermal Biology, 78*, 227–234. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.10.004>
- Schmid, D., & Leitzmann, M. F. (2015). Cardiorespiratory fitness as predictor of cancer mortality: A systematic review and meta-analysis. *Annals of Oncology, 26*(2), 272–278. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdu250>
- Seiler, S., & Sjørnsen, J. E. (2004). Effect of work duration on physiological and rating scale of perceived exertion responses during self-paced interval training. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 14*(5), 318–325. <https://doi.org/10.1046/j.1600-0838.2003.00353.x>
- Selkirk, G. A., & McLellan, T. M. (2001). Influence of aerobic fitness and body fatness on tolerance to uncompensable heat stress. *Journal of Applied Physiology, 91*(5), 2055–2063. <https://doi.org/10.1152/japap.2001.91.5.2055>
- Selkirk, G. A., & McLellan, T. M. (2004). Physical work limits for Toronto firefighters in warm environments. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 1*(4), 199–212. <https://doi.org/10.1080/15459620490432114>
- Selkirk, G. A., McLellan, T. M., & Wong, J. (2004). Active versus passive cooling during work in warm environments while wearing firefighting protective clothing. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 1*(8), 521–531. <https://doi.org/10.1080/15459620490475216>
- Sell, K. M., & Livingston, B. (2012). Mid-season physical fitness profile of interagency hotshot firefighters. *International Journal of Wildland Fire, 21*(6), 773–777. <https://doi.org/10.1071/WF11071>
- Sempf, F., & Thienes, G. (2022). High-intensity functional training for firefighters. *Strength and Conditioning Journal, 44*(2), 97–105.
- Sharkey, B. J. (1999). Wildland firefighter health and safety: recommendations of the april 1999 conference. *9951-2841-Mtdc, 2600*(202), 1–4.

- Sharkey, B. J., & Gaskill, S. E. (2009). *Fitness and Work Capacity* (NWCG).
- Sharkey, B. J., & Rothwell, T. (1996). Validation and field evaluation of a work capacity test for wildland firefighters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *28*(5), 76.
- Sheaff, A. K., Bennett, A., Hanson, E. D., Kim, Y.-S., Hsu, J., Shim, J. K., Edwards, S. T., & Hurley, B. F. (2010). Physiological determinants of the candidate physical ability test in firefighters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(11), 3112–3122. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181f0a8d5>
- Skinner, J. S., & Mclellan, T. H. (1980). The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *51*(1), 234–248. <https://doi.org/10.1080/02701367.1980.10609285>
- Smith, D. L. (2011). Firefighter fitness: improving performance and preventing injuries and fatalities. *Current Sports Medicine Reports*, *10*(3), 167–172. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e31821a9fec>
- Sol, J. A., Ruby, B. C., Gaskill, S. E., Dumke, C. L., & Domitrovich, J. W. (2018). Metabolic demand of hiking in wildland firefighting. *Wilderness and Environmental Medicine*, *29*(3), 304–314. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2018.03.006>
- Sothmann, M. S., Saupe, K., Jasenof, D., & Blaney, J. (1992). Heart rate response of firefighters to actual emergencies. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, *34*(8), 797–800. <https://doi.org/10.1097/00043764-199208000-00014>
- Sovová, M., Sovová, E., Asswad, A. G., & Sova, M. (2020). Is population's cardiorespiratory fitness really declining? *Central European Journal of Public Health*, *28*(2), 120–123. <https://doi.org/10.21101/cejph.a5912>
- Stevenson, R. D. M., Siddall, A. G., Turner, P. J. F., & Bilzon, J. L. J. (2019). Validity and reliability of firefighting simulation test performance. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, *61*(6), 479–483. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001583>
- Stork, M. J., Gibala, M. J., & Martin Ginis, K. A. (2018). Psychological and behavioral responses to interval and continuous exercise. In *Medicine and Science in Sports and Exercise* (Vol. 50, Issue 10). <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001671>
- Stöggl, T. L., & Björklund, G. (2017). High intensity interval training leads to greater improvements in acute heart rate recovery and anaerobic

- power as high volume low intensity training. *Frontiers in physiology*, 8, 562.
- Sultana, R. N., Sabag, A., Keating, S. E., & Johnson, N. A. (2019). The effect of low-volume high-intensity interval training on body composition and cardiorespiratory fitness: a systematic review and meta-analysis. In *Sports Medicine* (Vol. 49, Issue 11). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01167-w>
- Tabata, I. (2019). Tabata training: one of the most energetically effective high-intensity intermittent training methods. *The Journal of Physiological Sciences*, 69(4), 559–572. <https://doi.org/10.1007/s12576-019-00676-7>
- Taylor, C. R., Heglund, N. C., McMahon, T. A., & Looney, T. R. (1980). Energetic cost of generating muscular force during running: a comparison of large and small animals. *Journal of Experimental Biology*, 86(1), 9–18. <https://doi.org/10.1242/jeb.86.1.9>
- Taylor, N. A. S., Dodd, M. J., Taylor, E. A., & Donohoe, A. M. (2015). A retrospective evaluation of injuries to australian urban firefighters (2003 to 2012). *JOEM*, 57(7). <https://doi.org/10.1097/jom.0000000000000438>
- Taylor, N. A. S., Fullagar, H. H. K., Sampson, J. A., Notley, S. R., Durley, S. D., Lee, D. S., & Groeller, H. (2015). Employment standards for australian urban firefighters: Part 2: the physiological demands and the criterion tasks. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 57(10), 1072–1082. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000526>
- Taylor, N. A. S., Peoples, G. E., & Petersen, S. R. (2016). Load carriage, human performance, and employment standards. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41(6 (Suppl. 2)), S131–S147. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0486>
- Tharion, W. J., Montain, S. J., O'Brien, C., Shippee, R. L., & Hoban, J. L. (1997). Effects of military exercise tasks and a carbohydrate-electrolyte drink on rifle shooting performance in two shooting positions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19(1), 31–39. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(95\)00087-9](https://doi.org/10.1016/0169-8141(95)00087-9)
- Thomas, M., Pohl, M. B., Shapiro, R., Keeler, J., & Abel, M. G. (2018). Effect of load carriage on tactical performance in special weapons and tactics operators. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(2), 554–564. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002323>

- Tornero-Aguilera, J. G., & Clemente-Suárez, V. J. (2019). Resisted and endurance high intensity interval training for combat preparedness. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 90(1), 32-36.
- Trubee, N. W., Vanderburgh, P. M., Diestelkamp, W. S., & Jackson, K. J. (2014). Effects of heat stress and sex on pacing in marathon runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(6), 1673-1678. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000295>
- Tunde, K., Szivak, M., Mala, J., & Kraemer, W. J. (2015). Physical performance and integration strategies for women in combat arms. *Strength and Conditioning Journal*, 37(4), 20-29. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000137>
- Tyler, C. J., Reeve, T., Hodges, G. J., & Cheung, S. S. (2016). The effects of heat adaptation on physiology, perception and exercise performance in the heat: a meta-analysis. *Sports Medicine*, 46(11), 1699-1724. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0538-5>
- Varley-Campbell, J., Cooper, C., Wilkerson, D., Wardle, S., Greeves, J., & Lorenc, T. (2018). Sex-specific changes in physical performance following military training: a systematic review. *Sports Medicine*, 48(11), 2623-2640. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0983-4>
- Villa, J. G., Pernio, R., Rodríguez Marroyo, J. A., López-Satué, J., Ávila, M. C., García-López, J., Mendonça, P. R., Moreno, S., & Carballo, B. (2009). Intensidad de esfuerzo realizado en la extinción de incendios forestales. *Archivos de Medicina Del Deporte*, 26(133), 346-353.
- Vincent, G., Aisbett, B., Hall, S., & Ferguson, S. (2016). Fighting fire and fatigue: sleep quantity and quality during multi-day wildfire suppression. *Ergonomics*, 59(7), 932-940. <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1105389>
- Vincent, G., Aisbett, B., Wolkow, A., Jay, S., Ridgers, N., & Ferguson, S. (2018). Sleep in wildland firefighters: what do we know and why does it matter? *International Journal of Wildland Fire*, 27(2), 73. <https://doi.org/10.1071/WF17109>
- Vincent, G., Ferguson, S., Larsen, B., Ridgers, N., Snow, R., & Aisbett, B. (2018). Adding sleep restriction to the equation: impact on wildland firefighters' work performance and physiology in hot conditions. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 91(5), 601-611. <https://doi.org/10.1007/s00420-018-1304-9>

- Vincent, G., Ferguson, S., Tran, J., Larsen, B., Wolkow, A., & Aisbett, B. (2015). Sleep restriction during simulated wildfire suppression: effect on physical task performance. *PLoS ONE*, *10*(1), e0115329. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115329>
- von Heimburg, E. D., Rasmussen, A. K. R., & Medbø, J. I. (2006). Physiological responses of firefighters and performance predictors during a simulated rescue of hospital patients. *Ergonomics*, *49*(2), 111–126. <https://doi.org/10.1080/00140130500435793>
- von Heimburg, E., Medbø, J. I., Sandsund, M., & Reinertsen, R. E. (2013). Performance on a work-simulating firefighter test versus approved laboratory tests for firefighters and applicants. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, *19*(2), 227–243. <https://doi.org/10.1080/10803548.2013.11076981>
- Walker, A., Argus, C., Driller, M., & Rattray, B. (2015). Repeat work bouts increase thermal strain for Australian firefighters working in the heat. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, *21*(4), 285–293. <https://doi.org/10.1179/2049396715Y.0000000006>
- Wasserman, K. (1987). Determinants and detection of anaerobic threshold and consequences of exercise above it. *Circulation*, *76*(6), V129-39.
- Watkins, E. R., Walker, A., Mol, E., Jahnke, S., & Richardson, A. J. (2019). Women firefighters' health and well-being: an international survey. *Women's Health Issues*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.whi.2019.02.003>
- Watson, A. M. (2017). Sleep and athletic performance. *Current Sports Medicine Reports*, *16*(6), 413–418. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000418>
- Westerterp, K. R. (2017). Doubly labelled water assessment of energy expenditure: principle, practice, and promise. *European Journal of Applied Physiology*, *117*(7), 1277–1285. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3641-x>
- Williams-Bell, F. M., Aisbett, B., Murphy, B. A., & Larsen, B. (2017). The effects of simulated wildland firefighting tasks on core temperature and cognitive function under very hot conditions. *Frontiers in Physiology*, *8*(Oct), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00815>
- Williams-Bell, F. M., Boisseau, G., McGill, J., Kostjuk, A., & Hughson, R. L. (2010). Air management and physiological responses during simulated firefighting tasks in a high-rise structure. *Applied Ergonomics*, *41*(2),

- 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2009.07.009>
- Williams-Bell, F. M., Villar, R., Sharratt, M. T., & Hughson, R. L. (2009). Physiological demands of the firefighter candidate physical ability test. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 653–662. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818ad117>
- Williford, H. N., Duey, W. J., Olson, M. S., Howard, R., & Wang, N. (1999). Relationship between fire fighting suppression tasks and physical fitness. *Ergonomics*, 42(9), 1179–1186. <https://doi.org/10.1080/001401399185063>
- Wilmore, J. H., Costill, D. I., & Kenney, W. I. (2008). *Physiology of sport and exercise. 4th ed.* (ed. H. Kinetics (ed.)).
- Windisch, S., Seiberl, W., Schwirtz, A., & Hahn, D. (2017). Relationships between strength and endurance parameters and air depletion rates in professional firefighters. *Scientific Reports*, 7(February), 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep44590>
- Wong, S. L. (2016). Grip strength references for Canadians aged 6 to 79: Canadian Health Measures Survey, 2007 to 2013. *Health Reports*, 27(10), 11–17.
- Wu, Y., Wang, W., Liu, T., & Zhang, D. (2017). Association of grip strength with risk of all-cause mortality, cardiovascular diseases, and cancer in community-dwelling populations: a meta-analysis of prospective cohort studies. *Journal of the American Medical Directors Association*, 18(6), 551.e17-551.e35. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2017.03.011>
- Yanovich, R., Evans, R., Israeli, E., Constantini, N., Sharvit, N., Merkel, D., Epstein, Y., & Moran, D. S. (2008). Differences in physical fitness of male and female recruits in gender-integrated army basic training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(11 Suppl), 654–659. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3181893f30>
- Yanovich, R., Merkel, D., Israeli, E., Evans, R. K., Erlich, T., & Moran, D. S. (2011). Anemia, iron deficiency, and stress fractures in female combatants during 16 months. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(12), 3412–3421. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318215f779>
- Yin, M., Chen, Z., Nassis, G. P., Liu, H., Li, H., Deng, J., & Li, Y. (2023). Chronic high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training are both effective in increasing maximum fat oxidation during

- exercise in overweight and obese adults: A meta-analysis. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 21(4), 354–365. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2023.08.001>
- Yokota, M., Karis, A. J., & Tharion, W. J. (2014). Thermal-work strain in law enforcement personnel during chemical, biological, radiological, and nuclear (CBRN) training. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 20(2), 126–133. <https://doi.org/10.1179/2049396714Y.0000000056>
- Yoon, J., Kim, Y., Kim, K. S., & Ahn, Y. (2016). Characteristics of workplace injuries among nineteen thousand korean firefighters. *Journal of Korean Medical Science*, 31(10), 1546–1552. [https://doi.org/10.3346 /jkms.2016.31.10.1546](https://doi.org/10.3346/jkms.2016.31.10.1546)
- Zupan, M. F., Arata, A. W., Dawson, L. H., Wile, A. L., Payn, T. L., & Hannon, M. E. (2009). Wingate anaerobic test peak power and anaerobic capacity classifications for men and women intercollegiate athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(9), 2598–2604. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b1b21b>

6. ANEXOS



Miembros de la ELIF de Rosinos de la Requejada, Zamora (2017).

6.1 ANEXO 1: CHRONIC PAIN IN SPANISH WILDLAND FIREFIGHTERS

Abstract: The work carried out by wildland firefighters (WFFs) is very demanding owing to the conditions in which they have to operate. It has been reported that these professionals walk long distances over unstable and steep terrain carrying heavy loads, handle tools manually and repeatedly and are subject to a high level of thermal stress. Under such conditions, the risk of developing chronic pain (CP) is high, although despite this, there is no available data pertaining to CP among WFFs to the best of our knowledge. As such, the aim of this study was to describe CP in Spanish helitack crews, for which purpose 221 WFFs (203 men and 18 women) completed an online self-report questionnaire. 59.7% of WFFs reported suffering from CP, of which 45.5% had CP in more than one body region at the same time. Age and length of service were associated with the probability of suffering from CP. Likewise, the age and height of WFFs and weight of the protective equipment used increased the prevalence of CP. Lastly, gender and job position affected CP location, with women and forepersons reporting greater prevalence of CP in the lower limbs. To conclude, the results obtained suggest the major prevalence of CP among Spanish WFFs, with current data in turn suggesting the importance that age, stature, gender, length of service, weight of protective equipment and job position have on the prevalence and location of CP.

Keywords: Chronic Pain; Wildland Firefighters; Physical Employment; Physical Exercise; Occupational Health

DOI: 10.3390/jcm11040989

6.2 ANEXO 2: EFFECT OF A HIGH-INTENSITY CIRCUIT TRAINING PROGRAM ON THE PHYSICAL FITNESS OF WILDLAND FIREFIGHTERS.

Abstract: Wildland firefighting implies high physical and psychological demands for the personnel involved. Therefore, good physical fitness can help increase the work efficiency of wildland firefighters (WFFs) and safeguard their health. High-intensity circuit training (HICT) could be a good alternative to improve the physical condition of WFFs since it stands out for its functionality and economy. Therefore, the objective of this study was to analyze the effects of HICT on the WFFs' physical fitness. The study involved 9 WFFs (8 males and 1 female; 29.8 ± 2.8 years; 175.6 ± 6.7 cm) who completed a training program and 9 WFF candidates (8 males and 1 female; 24.7 ± 6.6 yr, 176.5 ± 7.0 cm) as a control group. WFFs performed an 8-week HICT program (two weekly training sessions). The training sessions lasted approximately 45 min and were performed at an intensity $>80\%$ of maximal heart rate and RPE values >7.5 . At the beginning and the end of the intervention, subjects' physical fitness (i.e., aerobic capacity, cardiorespiratory endurance, muscular resistance and explosive strength) was assessed through different tests. After completing the training program, WFFs had significantly increased ($p < 0.05$) the speed at which the ventilatory thresholds were determined (12.4 ± 13.9 and $5.7 \pm 7.3\%$ for the ventilatory and respiratory compensation thresholds, respectively) and also their abdominal ($31.2 \pm 17.2\%$), lumbar ($34.1 \pm 13.5\%$) and upper limb ($13.3 \pm 16.0\%$) strength. Moreover, improvements ($p < 0.05$) in the explosive strength of legs ($7.1 \pm 5.8\%$) and performance in a specific physical employment test ($12.2 \pm 6.1\%$) were observed. In conclusion, the results of this study show that an 8-week high-intensity circuit training program could be an effective and safe method to improve WFFs' physical fitness and performance.

Keywords: endurance; exercise; occupational health; performance; physical activity; strength training.

DOI: 10.3390/ijerph20032073