



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-409

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Monitorización en tiempo real de las constantes vitales del Personal Especialista en Extinción de Incendios Forestales (PEEIF)

LÓPEZ-SATUÉ, J.¹, AGUIRRE BRIONES, F.¹, GÓMEZ MOLINO, R.¹, CARRILLO PATIÑO, A.³, CARBALLO LEYENDA, AB.², VILLA VICENTE, JG.², FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, JV.⁴, PÉREZ SEGURA, I.⁵

¹ Gerencia de Incendios Forestales. Subdirección de Incendios y Emergencias. Grupo TRAGSA.

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

³ Gerencia de Tecnología de la Información y Fondos Europeos. Subdirección de Soporte Técnico e Innovación. Grupo TRAGSA.

⁴ Gerencia de Sistemas de Información Agrarios y Pesqueros. Subdirección de Sistemas de Información. Grupo TRAGSA.

⁵ Gerencia Realtrack Systems.

Resumen

La respuesta termorregulatoria y fisiológica del Personal Especialista en Extinción de Incendios Forestales (PEEIF) integrante de las Brigadas de Refuerzo contra Incendios Forestales (BRIF), ha sido objeto de estudio en los últimos años a través del proyecto CREIF, habiéndose constatado el elevado esfuerzo y estrés térmico que en ocasiones soporta el PEEIF durante el desempeño de su trabajo.

El proyecto europeo Advanced Forest Fire Fighting (AF3), ha permitido profundizar en el conocimiento y el análisis en tiempo real de todas las variables fisiológicas y termorregulatorias relevantes en el trabajo desarrollado, potenciando así la seguridad laboral en este trabajo.

Frecuencia cardíaca, temperatura corporal, ritmo respiratorio, electrocardiograma de esfuerzo o el gasto metabólico en tiempo real han sido analizadas de manera simultánea mediante el sistema EQUIVITAL, tanto en laboratorio como en condiciones reales de combate de incendios. El trabajo ha permitido implementar la aplicación de Smartphone y plataforma Web FIRE STRESS que permite un seguimiento de acuerdo con los umbrales de esfuerzo definidos.

Dichos registros llevados a cabo “en tiempo real”, pueden permitir a la organización establecer medidas o estrategias dirigidas a anticiparse a una posible situación de riesgo, por estrés, que pueda presentarse durante la extinción de un incendio forestal.

Los trabajos presentados han sido realizados en el ámbito del proyecto Advanced Forest Fire Fighting (AF3), financiado por el Séptimo Programa Marco (7PM) bajo el acuerdo de subvención GA nº 607276.

Palabras clave

Esfuerzo físico, ergonomía, análisis en tiempo real, fatiga

1. Introducción

Siempre ha habido una preocupación por la salud y la seguridad del personal que trabaja en las labores de extinción de incendios forestales. En España, ya en 1987, el ICONA publicó un Manual de Seguridad para este personal y Notas sobre Siniestralidad en Incendios Forestales, época en la que el colectivo de trabajadores estaba marcado por una profunda condición de eventualidad. A lo largo de los años, esta situación de eventualidad en el colectivo se ha reducido notablemente, al mismo tiempo que ha cambiado la percepción de la sociedad sobre la problemática que suponen los incendios forestales (en cuanto a magnitud, frecuencia e intensidad), no solo en España, sino también en otros países con la misma problemática. Tanto a nivel mundial como en los países mediterráneos, diversos organismos nacionales e internacionales están promoviendo estrategias, investigaciones y formación de personal cualificado para reducir las repercusiones y el impacto en la salud y seguridad humana que llevan implícitas las labores de extinción de incendios forestales. A

pesar del esfuerzo realizado por las diversas administraciones y/o empresas encargadas de la gestión de la extinción por profesionalizar el colectivo, éste se sigue caracterizando por una gran heterogeneidad tanto a nivel de experiencia laboral y edad, como de condición física. Dicha heterogeneidad puede comprometer el límite de tolerancia al esfuerzo exigido al trabajo en grupo en condiciones adversas. Dichas condiciones específicas del trabajo implican tener que enfrentarse a terrenos escarpados y de gran pendiente (ICONA, 1987; BROTHERHOOD et al., 1997), manejo de herramientas (ICONA, 1987; GASKILL, 2003), exposición a altas temperaturas (ROSSI, 2003), calor radiante e inhalación de humos (ICONA, 1987; WEGESSER et al., 2009), estrés psicológico y uso obligado del Equipo de Protección Individual (ICONA, 1987; EGLIN, 2007), que unido a la larga duración y tipo de esfuerzo realizado pueden conllevar la aparición de riesgos (ICONA, 1987; RODRÍGUEZ-MARROYO et al., 2011). El aumento de la carga térmica impuesta por este esfuerzo físico y por las condiciones ambientales, incrementa la tensión fisiológica (frecuencia cardiaca y tasa de sudoración) y reduce la eficiencia evaporativa (favorecida por los Equipos de Protección Individual) conduciendo a la hipertermia y limitando el tiempo de tolerancia al esfuerzo físico (ICONA, 1987; RUBY et al., 2003; BARBANY et al., 2007; CUDDY et al., 2008).

La tendencia a la que nos abocaremos en los próximos años es al incremento de personal fijo o fijo-discontinuo integrando los equipos que trabajan en la extinción, lo que nos lleva a gestionar de forma adecuada su seguridad y su salud, y a tratar de garantizarla durante su vida laboral.

Diversos estudios han utilizado la Frecuencia Cardíaca (FC) como determinante del esfuerzo físico en la extinción de incendios, tanto a nivel urbano (RICHMOND et al., 2008; PERRONI et al., 2009; WILLIAMS-BELL et al., 2009; VINCENT et al., 2015) como forestal (ICONA, 1998; APUD et al., 2002; AISBETT & NICHOLS, 2007).

En este ámbito TRAGSA llevó a cabo entre 2006 y 2009, en colaboración con la Universidad de León y la mutualidad FRATERNIDAD-MUPRESA, un estudio de la relación e influencia de los incendios forestales sobre el personal que trabaja en las labores de extinción, así como su respuesta fisiológica, utilizando también la FC como parámetro determinante del esfuerzo (LÓPEZ-SATUÉ, CREIF, 2009; RODRÍGUEZ et al., CREIF, 2012). Para ello se monitorizaron y analizaron, tras la actuación en incendios, todas aquellas variables que afectan en el rendimiento del PEEIF (FC, sudoración, temperatura central -temperatura corporal, o gastrointestinal; TC en adelante-, estrés térmico soportado, etc.), determinándose, en condiciones reales de incendio, como afecta el entorno de trabajo en la respuesta fisiológica y termorregulatoria de los trabajadores. Desde entonces sigue midiendo estos parámetros, ampliando la Base de Datos, a fin de ajustar todos los índices posibles, de cara a incrementar la seguridad.

Las intensidades de trabajo analizadas en los incendios forestales (50-80% de la FC máxima) (APUD et al., 2002, AISBETT et al., 2007, VILLA et al., CREIF, 2009,) son menores a las registradas en los incendios urbanos, tanto en la simulación de rescates (~85-90% de la FC máxima) (WILLIAMS-BELL et al., 2009) como a las analizadas en la realización de tareas propias de los bomberos de estructura (PERRONI et al. 2010): subir las escaleras de los edificios (~93-88% de la FC máxima), subir escaleras de mano (~97% de la FC máxima), rescate de víctimas (~96-77% de la FC máxima) o escape (~88% de la FC máxima). La menor duración de los incendios y de las actividades que realizan los bomberos de estructura (15-30 min) frente a las duraciones de los incendios forestales (~3 h) (VILLA et al., CREIF, 2009) pueden influir en estos resultados. Además, las mayores temperaturas (46-200 °C) soportadas por los bomberos de estructura y el mayor peso del Equipo de Protección Individual (~30 kg) también pueden condicionar estos resultados.

En el ámbito forestal, BUDD et al. (1997) obtuvieron una FC media de ~157 pulsaciones por minuto (ppm) y ~149 ppm durante la construcción de líneas de defensa con fuego experimental y sin fuego en bomberos australianos, respectivamente. Estas FC fueron mayores a las registradas por LÓPEZ-SATUÉ. CREIF (2009) (117 ppm, ~60% de la FC máxima teórica) y RODRÍGUEZ et al. CREIF

(2012) (126 ppm, ~66% de la FC máxima teórica) durante la extinción de incendios forestales en España de diferente duración (entre 1-8h). Estos resultados fueron muy similares a los obtenidos por APUD et al. (2002) en bomberos chilenos durante la simulación de trabajos utilizando diferentes herramientas (125 ppm, ~64% de la FC máxima teórica). Del mismo modo, AISBETT & NICHOLS (2007) reportaron que las intensidades medias de trabajo de bomberos australianos se situaban entre el 50-60% de la FC máxima teórica, trabajando entre el 70-85% de la FC máxima únicamente en momentos puntuales.

Si bien toda la información recabada hasta la fecha ha sido de gran utilidad científica, en la actualidad y gracias a los grandes avances tecnológicos, se estima oportuno llevar a cabo todo este tipo de seguimiento en “tiempo real”, esto es, procesar y visualizar el comportamiento fisiológico y termorregulatorio de los trabajadores tanto en Smartphone (Fire Stress, Realtrack Systems, Almería, España) como en plataforma WEB (Fire Stress, desarrollado por Tragsatec, Madrid, España). De este modo, se podrá mejorar la eficiencia laboral y se establecerán sobre el terreno estrategias y/o procedimientos dirigidos a potenciar el rendimiento y la seguridad de los trabajadores, anticipándonos a una posible situación de riesgo, por estrés, que se pueda presentar durante la extinción de un incendio forestal.

2. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo es analizar en tiempo real el comportamiento fisiológico y termorregulatorio del PEEIF, planteándose como objetivos específicos:

- Analizar en incendios forestales reales parámetros ventilatorios, circulatorios y termorregulatorios a través del sistema EQUIVITAL.
- Implementar herramientas que permitan a los responsables de las brigadas tanto en el área afectada como en ubicaciones remotas, la visualización y seguimiento en tiempo real durante los incendios forestales del nivel de esfuerzo, llevándose a cabo un análisis individualizado de la misma y estableciéndose un sistema de avisos sobre riesgos por exceso de esfuerzo físico, descritos previamente en función de diversos parámetros determinantes de máxima intensidad de trabajo físico.

3. Metodología

A continuación se presentan las metodologías para los 2 objetivos descritos en el apartado anterior:

Analizar en incendios forestales reales parámetros ventilatorios, circulatorios y termorregulatorios a través del sistema EQUIVITAL

Durante la anualidad 2015 y 2016, 4 trabajadores (2 integrantes de la BRIF de Tabuyo del Monte y 2 integrantes de la ELIF de Sahechores de Rueda) han sido monitorizados en los 12 incendios a los que acudieron. Durante la extinción de dichos incendios, se registró el tipo de labor que hicieron, se georeferenciaron todas las acciones, se filmaron y se monitorizaron en tiempo real las variables del estrés térmico y fisiológico: frecuencia cardíaca (FC), temperatura central (TC), temperatura de la piel (Tp), flujo de calor (HF), tasa de sudoración (S), ritmo respiratorio (BR), electrocardiograma y gasto metabólico de la actividad (Kcal). La FC se registró cada 5 segundos. Para ello, cada trabajador llevó una banda personal dotada de sensores de medida de FC ajustada al pecho (EQ02 Sensor Belt, Equivital, Hidalgo Lt, Cambridge, UK). La temperatura central fue registrada continuamente (cada 5 s) usando una cápsula de temperatura intestinal Jonah™ (VitalSense, Mini Mitter Co., Inc, Bend, OR, USA) previamente validada (McKENZIE & OSGOOD, 2004), ingerida antes de la salida a incendio. La temperatura de la piel se registró empleando parches dérmicos adhesivos (VitalSense, Mini Mitter Co., Inc, Bend, OR, USA) colocados en el pecho. Los datos de temperatura

central, temperatura de la piel, frecuencia cardiaca, electrocardiograma, ritmo respiratorio y gasto energético fueron registrados empleando los diferentes canales de adquisición del Equival LifeMonitor EQ02 (Hidalgo Lt, Cambridge, UK) que cada trabajador portó acoplado a directamente a la banda pectoral (Figura 1).

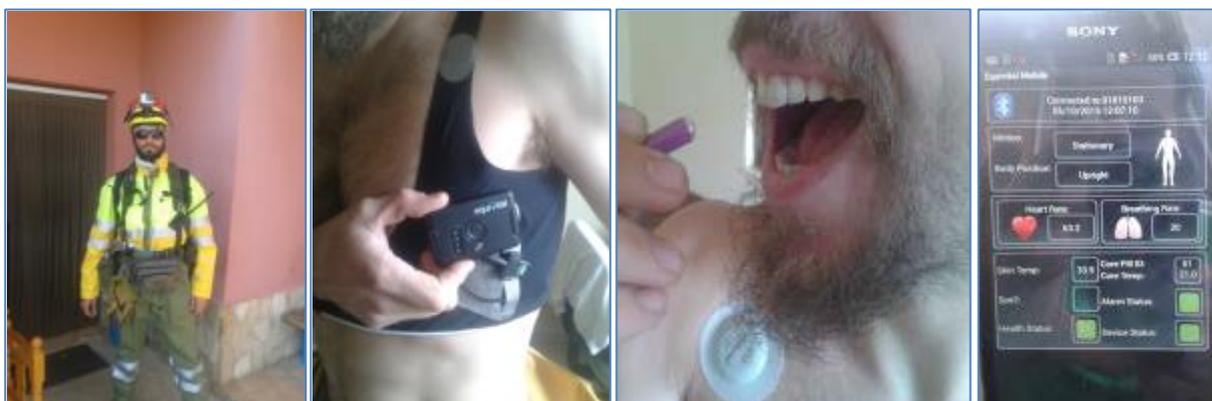


Figura 1. PEEIF equipado previo a salida a incendio. Sistema EQUIVITAL de registro de parámetros cardiotermorregulatorios. Detalle de cápsula y parche Vitalsense. Visualización de parámetros en dispositivo Android.

Paralelamente al registro, todos estos parámetros fueron visualizados en el propio incendio forestal a través de un dispositivo móvil Android equipado con el Software EqWiew Mobile (Equival, Hidalgo Lt, Cambridge, UK) (Figura 1).

Herramientas para la monitorización de indicadores de esfuerzo en tiempo real (Fire Stress)

Los trabajos realizados en los últimos años a través del CREIF, así como de otras experiencias relacionadas, y finalmente, de los estudios realizados en AF3 durante las anualidades 2015 y 2016, proporcionaron un conocimiento valioso de utilidad en la mejora de la seguridad y eficacia de las intervenciones con personal especialista. Asimismo, el continuo avance en las tecnologías de la información y comunicaciones ofrece nuevas oportunidades para la explotación de la información, de una manera instantánea desde ubicaciones remotas, dando utilidad a los estudios realizados, más allá de la generación de conocimiento, hacia su aplicación en la gestión en ámbitos reales de trabajo.

Partiendo de las experiencias realizadas para la mejora de la consciencia situacional a través de aplicaciones móviles y entornos web conectados para la gestión del combate de incendios forestales (Emercarto, EmerMap, EmeRA, EmerCapture, SLPT), se planteó la implementación de una app móvil y herramienta de gestión Web compatibles con el entorno Emercarto.

El desarrollo se realizó en varias etapas a través de las cuales se procedió a la descripción funcional, establecimiento de requisitos, diseño, implementación y pruebas y ajustes, tratando en la medida de lo posible de adoptar criterios que doten a la herramienta de máxima utilidad y coherencia con las condiciones y los procedimientos de combate de incendios en España. Los trabajos fueron realizados en colaboración con la empresa Realtrack Systems.

Para tal fin se realizaron pruebas en campo en diferentes condiciones de visibilidad entre portadores de los pulsómetros y de dispositivos móviles, se incorporó un sistema para la inclusión de referencias actuales sobre las operaciones desarrolladas, siguiendo la nomenclatura de los Partes de Actuación de Brigadas del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, y se adoptaron estándares de comunicaciones, para una mayor escalabilidad e interoperabilidad del sistema.

Asimismo, se diseñó e incorporó un sistema de avisos en base a parámetros que se han revelado como altamente significativos de la cantidad de esfuerzo desarrollado por el personal de extinción. En base a la bibliografía y a los estudios realizados previamente se optó por la selección de estimadores puntuales y acumulativos. Si bien se plantea un sistema de avisos (Figura 2) genérico a todos los usuarios, resaltar que todos los parámetros son configurables en base a los requerimientos individuales de cada trabajador. Los avisos tienen un carácter puntual y/o acumulativo, siendo:

PUNTUALES:

- Mantenerse más de 1 minuto de manera continuada por encima del 100% de la frecuencia cardíaca máxima.
- Superar más de 5 s las 200 pulsaciones por minuto (ppm).
- Estar más de 10 min de manera continuada por encima del umbral anaeróbico o umbral de fatiga.

ACUMULATIVOS:

- En tiempos de trabajo inferiores a 4h, haber permanecido más del 50% del tiempo total en anaerobiosis.
- En tiempos de trabajo superiores a 4h, haber permanecido más del 25% del tiempo total en anaerobiosis.
- Superar un Trimp acumulado total de 750 o un Trimp/min de 3. El Trimp es un valor que integra el volumen e intensidad de un esfuerzo físico. Para su cálculo, la aplicación multiplica los tiempos de permanencia en Zona 1, 2 y 3 por las constantes 1, 2 y 3, siendo Zona 1: por debajo del umbral aeróbico. Zona 2: entre umbral aeróbico-anaeróbico. Zona 3: zona anaeróbica.



Figura 2. Página de configuración de los avisos de riesgo cardiovascular de la aplicación móvil y del entorno Web Fire Stress

Dentro de los estimadores, se han considerado parámetros de referencia:

- La frecuencia cardíaca máxima (FCM). Diversos estudios en la literatura, establecen que superar la FCM puede implicar riesgos en población activa físicamente (BOUZÁS et al., 2010). Si bien el comportamiento de la misma FCM es muy particular/individual en base a la morfología del corazón, volumen sistólico, edad, nivel de condición física, etc, la FCM es un valor límite teórico altamente utilizado en el mundo del deporte como indicador de máxima capacidad de esfuerzo (LUCÍA et al., 2006; ARSLAN & ARAS, 2016). Para ello y en la configuración inicial de cada usuario, se utiliza el valor obtenido o bien en prueba de esfuerzo maximal realizada en laboratorio o bien el valor obtenido a través de la fórmula propuesta por TANAKA et al. (2001): $FCM = 208,75 - (0,73 * edad)$.

- Las 200 pulsaciones por minuto (ppm). El Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM, 2006) establece como valor límite de esfuerzo físico el alcanzar o superar el umbral de las 200 ppm en población adulta (>18 años) activa físicamente.

- El resto de avisos puntuales y acumulativos están relacionados con los tiempos de permanencia por encima del Umbral Anaeróbico. Ya en el año 1967, WASERMANN definió el Umbral Anaeróbico como “la intensidad de ejercicio o de trabajo físico por encima de la cual empieza a aumentar de forma progresiva la concentración de lactato en sangre, a la vez que la ventilación se intensifica también de una manera desproporcionada con respecto al oxígeno consumido”. En síntesis, el trabajar por encima de dicho Umbral significa consecuentemente un incremento de la fatiga, daño y pérdida de rendimiento a nivel muscular. Diversos estudios en la literatura científica dentro del ámbito de la fisiología del ejercicio (SHARKEY & DAVIS, 2007; BARBANY, 2016) recomiendan tiempos de permanencia en zona anaeróbica tanto en actividades físico-deportivas de corta como de larga duración, valores de referencia que han sido utilizados en el establecimiento de los avisos descritos en la aplicación Fire Stress.

En la plataforma Web (FireStress) se ha utilizado tecnología Microsoft, desarrollando un servicio Restfull de comunicación con los terminales, y una aplicación web siguiendo el patrón de diseño MVC (Framework MVC5). Como repositorio de datos se utiliza un servidor SQLServer 2012, para el acceso a esta se ha utilizado EntityFramework 6.

4. Resultados

Durante las anualidades 2015/16 y con objeto de analizar y visualizar en tiempo real la FC como principal determinante de intensidad de esfuerzo cardiovascular, se procedió a desarrollar tanto una aplicación móvil como un entorno Web (Fire Stress, Figura 3).

La App Fire Stress, consiste en un sistema de monitorización del esfuerzo realizado basado en el conocimiento y análisis de la FC en tiempo real. Dicha aplicación es capaz de obtener datos de FC de 25 bandas o pulsómetros inalámbricos dotados con tecnología estándar ANT+ que se ubican en la banda pectoral del PEEIF. La recepción y visualización de datos es en tiempo real (Figura 4). Los pulsómetros transmiten los datos, y los dispositivos móviles obtienen y analizan los datos de todos los pulsómetros ubicados en las proximidades del dispositivo. Estos dispositivos ofrecen una cobertura de 15 a 20m en condiciones normales, pudiéndose alcanzar ratios de 50-80 m en condiciones óptimas. Una vez recibida la información por el dispositivo móvil, éste procesa los datos recibidos y genera los distintos avisos de riesgo cardiovascular establecidos previamente. Asimismo, toda la información generada en el dispositivo móvil es empaquetada y enviada periódicamente al entorno Web.



Figura 3. Página de inicio de la aplicación móvil y del entorno Web Fire Stress

La visualización de los datos generados y las alertas establecidas, se recogen y visualizan en el entorno Web, como se puede apreciar en la Figura 5, en la aplicación Fire Stress, a la que se accede como un servicio más de la plataforma EMERCARTO, plataforma desarrollada por TRAGSA para la gestión de equipos y recursos de extinción, tanto en campaña, como su actuación en incendios forestales.

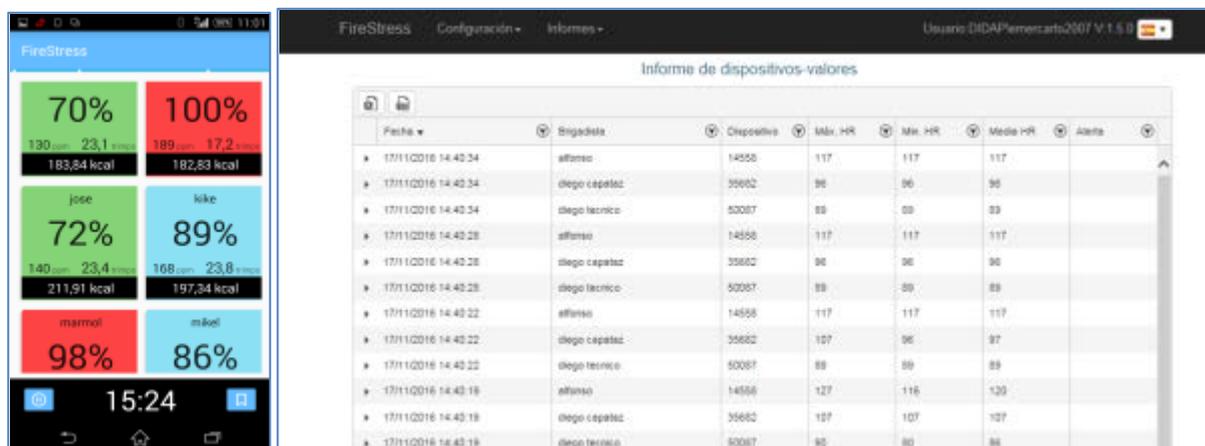


Figura 4. Página de visualización de datos en la aplicación móvil y el entorno Web Fire Stress

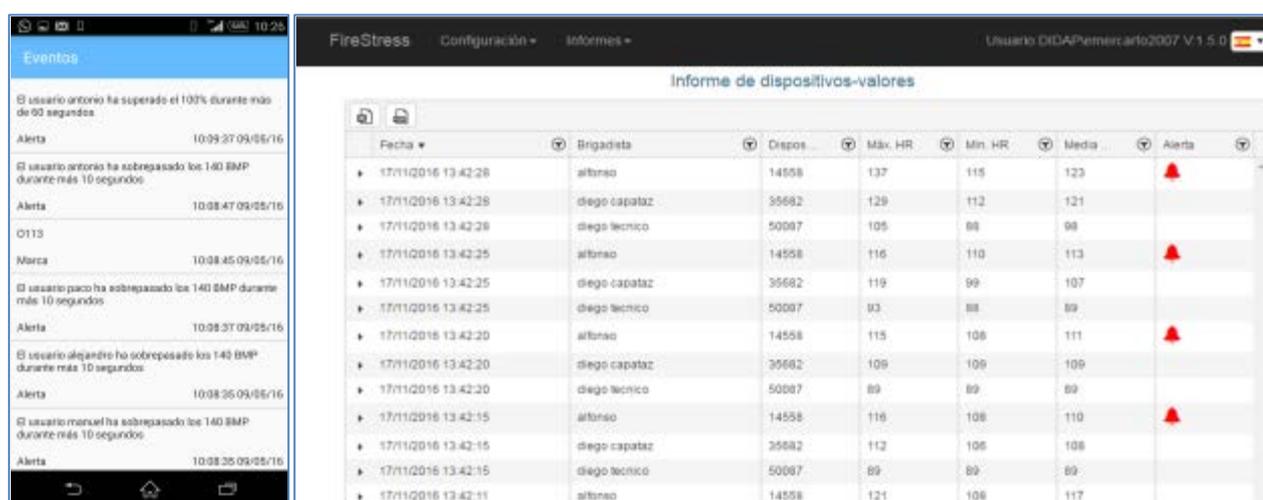


Figura 5. Página de visualización de los avisos de riesgo cardiovascular de la aplicación móvil y del entorno Web Fire Stress

Por último, se muestran una serie de puntos clave del sistema así como una serie de funcionalidades del mismo:

PUNTOS CLAVES DEL SISTEMA

- El interfaz principal del software muestra una malla gráfica con los datos de todos los usuarios en tiempo real.
- Por cada usuario se visualiza en tiempo real: Nick de usuario, FC, % de intensidad.
- Comunicación inalámbrica de los dispositivos con el software.
- Sistema simple en cuanto al emparejamiento de la banda de frecuencia cardiaca con el dispositivo Android ya que no requiere de configuración previa.
- Conexión digital de 2.4 Ghz, sin solapamientos ni interferencias.

- Roaming de más de 25 usuarios simultáneamente con un solo receptor ANT+.
- La información de intensidad, umbrales, etc., se personalizan para cada usuario en función de su estado físico.
- Posibilidad de modificar totalmente los perfiles de cada usuario.
- Compatible con tecnología inalámbrica de bajo consumo ANT+.

FUNCIONALIDADES DEL SISTEMA

- Se almacenan los datos en el terminal móvil en todo momento además de enviarse al servidor, y se tiene en cuenta la funcionalidad necesaria para asegurar el envío de datos en situaciones de carencia de cobertura de datos móviles.
- Para utilizar la aplicación, es necesaria la autenticación mediante usuario y contraseña que será verificada con la plataforma Emecarto-Sígueme.
- Desde la aplicación se permite hacer la asignación de bandas cardiacas a los portadores de las mismas, pero además también se permite realizar esta asignación a través de un servicio WEB ad Hoc en dos sentidos para la respectiva obtención de datos de emparejamiento de bandas con la identificación del portador y sus parámetros de condición física.
- La aplicación permite definir los momentos de inicio y fin del Log y la introducción de texto libre o incorporando a la base de datos eventos con información puntual de interés para su posterior interpretación (descanso, ataque directo, liquidación,..).
- El envío de datos desde los terminales móviles como desde los servidores se realiza de manera segura. Los datos enviados están codificados y se transfieren a través de HTTPS. Toda comunicación con Web Service se hace de forma segura haciendo uso de HTTPS y autenticación mediante usuario y contraseña con un sistema de codificación seguro para ambas direcciones.

Los resultados obtenidos en los 12 incendios analizados y visualizados en “tiempo real” con las aplicaciones EqWiew Mobile y Fire Stréss, han permitido comprobar mediante el análisis de multitud de variables (FC, temperatura central, sudoración, gasto energético, ventilación, electrocardiograma, pletismografía, acelerometría, etc) el esfuerzo fisiológico y termorregulatorio que suponen las tareas de extinción. Sin embargo, hay que resaltar que en ninguna de las actuaciones analizadas se han obtenido niveles de esfuerzo que supongan riesgos para la salud o seguridad de los trabajadores, lo cual se ha podido constatar con la inexistencia de avisos por riesgo establecidos en las aplicaciones. Estos resultados parecen refrendar que el trabajo ordenado por los responsables de las operaciones de extinción así como la ejecución del mismo por parte de los trabajadores, parece estar bien planteado y realizado dentro de los límites de seguridad. De todos modos y habida cuenta del escaso muestreo obtenido hasta la fecha, se considera importante el seguir ampliando el tamaño muestral de incendios analizados con esta metodología.

5. Discusión

El conocimiento existente sobre el nivel de esfuerzo del personal especialista en lucha contra incendios forestales ha mostrado como recomendable una actividad continuada en la captura de datos de utilidad en el análisis, que permita generar un conocimiento suficiente para el diseño de estrategias desde diferentes ámbitos tales como la selección de Equipos de Protección Individual, la asignación de tareas y herramientas, la capacitación del personal, etc,....

Los niveles actuales de cobertura y el desarrollo de tecnologías de comunicación ha permitido ya un avance en extender la toma de datos para análisis posterior, a su visualización en tiempo real por parte de los responsables de los equipos de respuesta, manteniendo el almacenamiento de la información con la inclusión de información adicional de utilidad en su interpretación simultánea y posterior.

Las distancias para la captura de valores de frecuencia cardiaca se muestran no obstante como un obstáculo para garantizar la monitorización de equipos con un número elevado de integrantes de manera simultánea en el caso de no disponer de suficientes dispositivos móviles. Además, otros factores ambientales como la existencia de pendiente, vegetación, obstáculos, etc., pueden afectar a estas distancias. La utilización de varios dispositivos móviles distribuidos en el área de actuación de los equipos monitorizados permite solventar esta dificultad.

En todo caso el sistema mantiene al usuario informado sobre cuáles son los individuos de los que se está recibiendo información en cada momento, y sobre cuales se encuentran fuera de rango, lo que permite tomar medidas para un mejor seguimiento.

6. Conclusiones

La utilización del sistema EQUITAL durante la extinción de incendios forestales ha permitido visualizar sobre el terreno el comportamiento fisiológico y termorregulatorio del PEEIF. Dicho conocimiento en tiempo real, se considera muy beneficioso ya que permite adoptar estrategias (pausas-descanso, hidratación, etc.) dirigidas a minimizar los posibles riesgos inherentes a las situaciones de estrés físico que se presentan de manera puntual durante la extinción de un incendio forestal.

Paralelamente, el desarrollo de aplicaciones móviles dirigidas al registro y análisis en tiempo real de la FC como principal indicador de esfuerzo físico, es considerado de especial relevancia de cara a anticiparse a posibles situaciones de estrés cardiovascular que se pueden presentar durante la extinción de un incendio forestal.

7. Agradecimientos

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

8. Bibliografía

AISBETT, B.; NICHOLS, D.; 2007. Fighting fatigue whilst fighting bushfire: an overview of factors contributing to firefighter fatigue during bushfire suppressions. *Aust J Emergen Manage.* 22: 31-39.

APUD, E.; MEYER, F.; MAUREIRA, F.; 2002. Ergonomía en el combate de incendios forestales. Universidad de Concepción. Chile.

ARSLAN, E.; ARAS, D.; 2016. Comparison of body composition, heart rate variability, aerobic and anaerobic performance between competitive cyclists and triathletes. *J Phys Ther Sci.* 28(4):1325-1329.

BARBANY, JR.; Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento. 2016. Paidotribo. Madrid.

BROTHERHOOD, JR.; BUDD, GM.; HENDRIE, AL.; JEFFERY, SE.; BEASLEY, FA.; COSTIN, BP.; 1997. Effects of work rate on the productivity, energy expenditure, and physiological

responses of men building fireline with a rakehoe in dry eucalypt forest. *Int J Wildland Fire*. 7: 87-98.

BUDD, GM.; BROTHERHOOD, JR.; HENDRIE, AL.; JEFFERY, SE.; BEASLEY, FA.; COSTIN, BP.; 1997. Project Aquarius 5. Activity distribution, energy expenditure, and productivity of men suppressing free-running wildland fires with hand tools. *Int J Wildland Fire*. 7: 105-118.

CUDDY, JS.; HAM, JA.; HARGER, SG.; SLIVKA, DR.; RUBY, BC.; 2008. Drinking behavior during wildfire suppression. *Wild Environ Med*. 19: 172-180.

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

GASKILL, SE.; RUBY, BC.; HEIL, DP.; SHARKEY, BJ.; SLIVKA, D.; LANCKFORD, E.; 2003. Seasonal changes in wildland firefighters aerobic fitness. *Med Sci Sports Exerc*. 35(5): S131.

LÓPEZ-SATUÉ, J.; 2009. Influencia de la Condición Física en el Rendimiento y en la Salud del Personal Especialista en Extinción de Incendios Forestales. Tesis Doctoral. Universidad de León. España.

LUCÍA, A.; RABADÁN, M.; HOYOS, J.; HERNÁNDEZ, M.; PÉREZ, M.; 2006. Frequency of the VO₂ max plateau phenomenon in world-class cyclists. *Int J Sports Med*. 27: 984-92.

MCKENZIE, JE.; OSGOOD, DW.; 2004. Validation of a new telemetric core temperature monitor. *J Therm Biol*. 29: 605-611.

PERRONI, F.; TESSITORE, A.; CORTIS, C.; LUPO, C.; DARTIBALE, E.; CIGNITTI, L.; CAPRANICA, L.; 2010. Energy cost and energy sources during a simulated firefighting activity. *J Strength Cond Res*. 24: 3457-3463.

RICHMOND, VL.; RAYSON, MP.; WILKINSON, DM.; CARTER, JM.; BLAKER, SD.; 2008. Physiological demands of firefighter search and rescue in ambient environmental conditions. *Ergonomics*. 51: 1023-1031.

RODRÍGUEZ-MARROYO, JA.; LÓPEZ-SATUÉ, J.; PERNÍA, R.; CARBALLO, B.; GACÍA, J.; FOSTER, C.; VILLA, JG.; 2012. Physiological work demands of Spanish wildland firefighters during wildfire suppression. *Int Arch Occup Environ Health*. (85)2: 221-228.

ROSSI, R.; 2003. Fire fighting and its influence on the body. *Ergonomics*. 46: 1017-1033.

RUBY, BC.; SHRIVER, TC.; ZDERIC, TW.; SHARKEY, BJ.; BURKS, C.; TYSK, S.; 2003. Total energy expenditure during arduous wildfire suppression. *Med Sci Sport Exerc*. 34: 1048-1054.

SHARKEY, B.; DAVIS, PO.; 2008. Hard work. Champaign. Illinois, USA.

TANAKA, H.; MONAHAN, K.; SEALS, D.; 2001. Age-Predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol*. 37: 153-156.

VÉLEZ, R.; 1987. Manual de seguridad personal en los trabajos de defensa contra incendios forestales. ICONA. Madrid.

VILLA, JG.; PERNÍA, R.; RODRÍGUEZ-MARROYO, JA.; LÓPEZ-SATUÉ, J.; ÁVILA, MC.; GARCÍA-LÓPEZ, J.; 2009. Intensidad de esfuerzo realizado en la extinción de incendios forestales. *Arch Med Deporte*. 133: 261-272.

WASSERMAN, K.; VAN KESSEL, AL.; BURTON, GG.; 1967. Interaction of physiological mechanisms during exercise. *J Appl Physiol*. 22:71-85.

WEGESSER, TC.; PINKERTON, KE.; LAST, JA.; 2009. California wildfires of 2008: Coarse and fine particulate matter toxicity. *Environ Health Perspec*. 117: 893-897.

WILLIAMS, FM.; VILLAR, R.; SHARRATT, MT.; HUGHSON, RL.; 2009. Physiological demands of the firefighter Candidate Physical Ability Test. *Med Sci Sports Exerc*. 41: 653-62.