



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-373

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

ERVIN: Un entrenador virtual para los incendios forestales

GONZALVO MORALES, V.¹, HOMBRADOS CARRILLO, E.², AGUIRRE BRIONES, F.¹ y CARRILLO PATIÑO, A.¹

¹ Empresa de Transformación Agraria S.A., TRAGSA.

² Tecnologías y Servicios Agrarios S.A., TRAGSATEC.

Resumen

Un reto de la lucha contra los incendios forestales es la formación de diferentes perfiles del personal de extinción, en todas las escalas. Tragsa, basándose en anteriores prototipos, ha desarrollado una herramienta de formación en incendios forestales, que a partir de un motor de propagación del fuego, simula incendios en tiempo real dentro de un entorno virtual interactivo en 3D, permitiendo la realización de ejercicios de extinción conjuntos, en los que los diferentes roles participantes interactúan entre sí de forma coordinada, durante la emergencia simulada, extinguiendo el incendio con el uso de las comunicaciones, vehículos, aeronaves y herramientas que les son propios en cada caso, condicionando tanto las respuestas de los demás como la evolución del fuego.

Se trata de una aplicación “multiusuario”, ejecutable en equipos con hardware convencional, sobre redes locales o internet. Soporta un límite indefinido de usuarios diferentes en cada sesión, enviándose asimismo las acciones ejecutadas a la plataforma de gestión Emercarto.

ERVIN crea un entorno didáctico envolvente, generando una realidad virtual muy similar a la que se vive durante las labores de extinción, favoreciendo el aprendizaje y la evaluación de las mismas por parte del propio alumno, quedando las sesiones registradas de forma individual o conjunta.

Palabras clave

Formación, entrenamiento, simulación, emergencias, fuego.

1. Introducción

La formación es un aspecto fundamental para el personal vinculado a la extinción de incendios forestales en tanto que debe proporcionarle capacitación para el desempeño de sus funciones en un marco de seguridad y eficacia. De esta manera, está demostrado que un trabajador especializado rinde hasta un 40% más que otro que carezca de formación. PORRERO y ORTEGA (en Vélez, 2000).

De acuerdo con PORRERO Y ORTEGA (en Vélez, 2000), “la mayor parte de los accidentes graves se producen cuando se están realizando labores que técnicamente entrañan un pequeño riesgo, pero que el exceso de confianza convierte en peligrosas”. Por ello, con independencia de la experiencia de los alumnos a los cuales va dirigida, la formación tiene una importancia vital y debe ser actualizada y estar ajustada a las necesidades formativas de los sujetos que la reciben, de forma que tanto expertos como inexpertos, participen de la mejora que supone la formación profesional.

Esta importancia de la formación, referida en cuanto implica formación teórica, formación práctica, preparación física, experiencia, ha sido además evidenciada a través de los estudios realizados sobre el rendimiento físico del personal de las brigadas, habiéndose demostrado la relación entre los años de experiencia en combate de incendios forestales con los niveles de esfuerzo soportados en los trabajos de extinción. Según LÓPEZ-SATUÉ (2009), el personal con más de 5 años de experiencia en el sector, presenta una mejor respuesta cardiaca durante la extinción, debido

principalmente a una mayor aclimatación al medio y a una mayor capacidad de autorregulación frente al desempeño de sus labores.

Por tanto, la formación y el entrenamiento de los equipos de extinción de incendios forestales son aspectos fundamentales para garantizar su buen funcionamiento y la ejecución de las operaciones de una forma segura. Además, la formación continua y actualizada en materia de protección civil es derecho de los trabajadores (Ley 2/1985, de 21 de enero, sobre protección civil).

Durante los últimos años el Grupo Tragsa ha promovido actuaciones que permitieran ahondar en el conocimiento de las distintas vertientes de la capacitación del personal de extinción de incendios forestales (CREIF, ELEARNING, SATFOR), y en la búsqueda de su aplicación para mejorar la actuación de los medios que gestiona, en términos de eficacia y seguridad. Si bien el avance paralelo en todas ellas ha permitido alcanzar un nivel de integración elevado, en este artículo se persigue proporcionar un mayor detalle sobre uno de los resultados obtenidos, el entrenador virtual de incendios forestales ERVIN, orientado a la aplicación de métodos capaces de facilitar la comprensión de las lecciones aprendidas a través de la experiencia.

Durante la experiencia que Tragsa ha adquirido impartiendo formación en extinción de incendios forestales, tanto dentro de la propia empresa como para distintos organismos y administraciones públicas, se ha detectado cierta carencia a la hora de tratar de reflejar de forma realista los casos prácticos, que reproducen las distintas actuaciones sobre el terreno llevadas a cabo en su momento por los participantes en la emergencia.

En especial, se detecta en el alumnado una incapacidad de abstracción ante el problema que se le plantea, cuando se pretende mostrar las condiciones reales de comportamiento del incendio, debido fundamentalmente a la insuficiente cantidad de información que se recopila de lo acontecido en su día, sobre todo en lo relativo a material fotográfico y de vídeo, que permita a la persona que recibe la formación obtener una idea clara y completa de la situación y de su evolución.

Para el alumno resulta imprescindible extraer la mayor cantidad posible de datos reales de la emergencia que se plantea como ejercicio, ya que su aprovechamiento formativo pasa por tomar una serie de decisiones que dependen de las circunstancias puntuales de comportamiento del fuego, del territorio y de otros muchos factores que debe tener en cuenta, siendo esta una de las claves que determina la consecución del objetivo pedagógico, por la correcta asimilación de los conceptos expresados en el aula y del proceso ensayo-error que lleva implícito.

Habitualmente trata de suplirse esta deficiencia, la de situar al alumnado en la realidad de una emergencia que no está presente, por medio de planos cartográficos, ortofotos, material multimedia, tablas, índices y demás datos, con lo que se consigue una aproximación lo más realista posible, pero que no permite evaluar en ningún caso la situación y evolución de lo que se muestra, a la manera cómo se ejecuta sobre el terreno.

Unido a lo anterior, debe destacarse que durante la incidencia real, en la extinción del incendio, la toma de decisiones debe llevarse a cabo en un corto espacio de tiempo, adecuándose a la situación de cada momento, y no sólo eso, sino que las decisiones que se toman en la realidad de la emergencia afectan y son afectadas por el resto de unidades intervinientes. Estos dos factores, la inmediatez y la interrelación entre actores, resultan especialmente complejos de transmitir al alumno que se enfrenta a un caso práctico en el aula, hasta el punto de producirse una desafección completa entre este y la situación que se le plantea.

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.

A través del proyecto AF3 ha sido posible avanzar en el desarrollo del nuevo prototipo ERVIN, que incorpora mecanismos para mejorar el rendimiento de la plataforma soportando un mayor número de usuarios durante simulaciones prolongadas, así como nuevas funcionalidades que amplían el tipo de usuarios que pueden ser formados y la interoperabilidad con otras plataformas de gestión y formación, como Emercarto o SimTac.

2. Objetivos

La herramienta se desarrolla, en esta última versión, dentro del proyecto AF3, el cual persigue dotar a las operaciones de extinción de una serie de herramientas tecnológicas que ayuden en la toma de decisiones operativas y tácticas, desde un centro integrado con los sistemas ya existentes. Se focaliza en las áreas siguientes:

- Sistemas de extinción activa innovadores
- Sistemas de defensa pasiva
- Detección y vigilancia
- Gestión integrada de la emergencia
- Canales de información pública avanzados

Dentro de este proyecto, ERVIN, por una parte, participa del objetivo de crear una plataforma de entrenamiento que permita a los usuarios del sistema entrenarse en el uso de esas tecnologías implementadas y que ayude a la toma de decisiones sobre escenarios similares a aquellos en los que se está produciendo la incidencia en tiempo real. Por otra parte permite integrar los resultados de sus simulaciones en los sistemas de posicionamiento y gestión de la incidencia, como EMERCARTO. Es decir, permite hacer ejercicios mientras se gestiona un incendio real para comparar alternativas de extinción.

El objetivo principal de ERVIN, en cualquier caso, es la obtención de una herramienta de formación avanzada, que permita la impartición de cursos y prácticas virtuales de entrenamiento a los distintos roles implicados en la extinción de incendios, que actuarán de forma simultánea y coordinada en emergencias simuladas sobre escenarios 3D, registrando a través de estadísticas las diferentes intervenciones de cada usuario, de una forma útil para la adquisición de lecciones aprendidas.

Se persigue, a su vez, la creación de una plataforma capaz de reproducir situaciones reales, a través de simulacros virtuales, proporcionando un instrumento innovador para el aprovechamiento de la experiencia, con el fin de interiorizar protocolos de seguridad y de coordinación entre unidades, integrando un nivel de realismo y tensión en la toma de decisiones cercano a los reales y muy superior de los obtenidos a través de métodos tradicionales de formación o de realización de simulacros.

Asimismo, es objetivo de la plataforma la impartición de cursos online, sin limitaciones en las condiciones de conectividad, pudiendo realizar ejercicios con intervención de usuarios en ubicaciones remotas, evitando la movilización de personal, maximizando con ello el alcance formativo y su eficiencia.

3. Desarrollo de la herramienta

Existe un reciente auge de las plataformas e-learning, enfocadas a la formación pedagógica en Internet, en las que usuarios con una contraseña adecuada pueden acceder al contenido de cursos online y ser evaluados según distintos criterios.

Un sistema de gestión de aprendizaje es un software instalado en un servidor web que se emplea para administrar, distribuir y controlar las actividades de formación no presencial (o aprendizaje electrónico) de una institución u organización.

Las principales funciones del sistema de gestión de aprendizaje son: gestionar usuarios, recursos así como materiales y actividades de formación, administrar el acceso, controlar y hacer seguimiento del proceso de aprendizaje, realizar evaluaciones, generar informes, gestionar servicios de comunicación como foros de discusión, videoconferencias, entre otros.

La mayoría de los sistemas de gestión de aprendizaje funcionan con tecnología web.

Hoy en día existen programas de simulación del comportamiento del fuego en incendios forestales, todos basados en las leyes de Rothermel al respecto. La principal herramienta de simulación en este sentido es Behave, de la que partieron los desarrollos posteriores de amplia implantación, como son Farsite, Flammap. Tragsatec a partir de estos ha creado un nuevo simulador específico para las características de los incendios que se producen en el territorio nacional.

En el campo de la creación de juegos y escenarios virtuales orientados a su uso en Internet por una comunidad de usuarios de forma simultánea, existen actualmente numerosos ejemplos, como Second Life o Travian, enfocados a un público que utiliza estas herramientas de forma lúdica, contruidos generalmente en entornos de programación Java Webstart y C++, con herramientas como Ogre 3D.

Empresas como Google o Skyline Software han desarrollado en los últimos años herramientas de modelado del terreno en vistas aéreas, que pueden consultarse a través de Internet.

Se pueden hallar algunos instrumentos, en Francia o EEUU, que sirven para el adiestramiento de las brigadas de extinción, siempre enfocados a su uso en red local o en aula de forma presencial. Una experiencia similar se desarrollada con posterioridad en España, a través de la plataforma Seilaf del Grupo Faasa, que actualmente ofrece un plan formativo basado en incendios simulados.

http://www.youtube.com/watch?v=-V84EomX_Ws

<http://vimeo.com/11873733>

<http://vimeo.com/24090396>

<http://www.seilaf.com/>

En base a todas estas experiencias, Tragsa decide desarrollar una herramienta de entrenamiento virtual para incendios forestales, online y multiusuario. En cuanto a la plataforma de desarrollo a utilizar, de las disponibles en el mercado, se elige Unity por su facilidad para la creación de escenarios, la ligereza de su modelización y su perfil de multiplataforma.

Se realiza un estudio previo sobre el estado de la tecnología en los distintos ámbitos implicados: formación elearning, simulación, videojuegos y motores gráficos, comunicaciones y

modelización de propagación de incendios. De acuerdo con ello, la herramienta se construye alrededor de 3 módulos principales:

- Escenarios e interfaces 3D. Construidos en Unity 3D, en el que se modelan los terrenos reales, a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT) de la zona, de los modelos de combustibles presentes, de la red de carreteras, pistas y cortafuegos, así como de las zonas urbanas y los puntos de abastecimiento de agua. Sobre este escenario se hace correr el motor de propagación del incendio, que simula el comportamiento del fuego en tiempo real en función de las variables topográfica, meteorológicas y de combustible introducidas. El escenario es totalmente editable y configurable, pudiéndose adaptar a diferentes realidades o situaciones preestablecidas, sin más que incorporar diferentes MDT, teselas de vegetación, a las que incorporar sus características de propagación, infraestructuras y demás elementos. El escenario modelado se encuentra georreferenciado, de manera que se garantice la correspondencia con el territorio real que representa.

- Base de datos. Elaborada en PostgreSQL, que recoge los datos de los distintos usuarios intervinientes, los roles desempeñados, las acciones realizadas por estos sobre el escenario y sobre el frente de fuego, con los que luego confeccionar las estadísticas de evaluación del ejercicio, para cada rol y para las distintas unidades. Estas estadísticas de evaluación representan el proceso más importante desde el punto de vista didáctico, ya que son las que permiten realizar un análisis posterior del ejercicio con el que obtener unas lecciones aprendidas, conclusiones fundamentales para cualquier proceso formativo.

- Servidor VoIP. En TeamSpeak, que simula los canales de comunicación por voz establecidos en el incendio entre las distintas unidades, para que los roles participantes en el entrenamiento puedan disponer de la misma red de comunicaciones presente en la emergencia real, entre sus terminales informáticos. En el servidor de TeamSpeak el número y configuración de canales es editable, simulándose a su vez canales de comunicación tridimensionales, que tienen en cuenta la distancia entre el foco emisor y el receptor, dentro del escenario 3D.

Por otra parte fue preciso realizar un trabajo de análisis de los procedimientos de gestión de emergencias por incendios forestales más extendidos mundialmente y de la normativa legal existente en el ámbito nacional y comunitario, en lo referente a la gestión del combate de incendios forestales, la cual establece la operativa en el territorio, así como los recursos de extinción (Planes Especiales de Emergencias por Incendios Forestales, Directrices Generales, convenios entre regiones y países), y en general de toda aquella información que permitiese un establecimiento funcional de los roles fundamentales a desempeñar por los usuarios potenciales de la herramienta. A partir de la información indicada fue posible la determinación de roles tipo, detallando sus funciones, capacidades y necesidades formativas, independientemente del Plan al que se encontrasen asignados y de las diferencias operativas entre las distintas regiones. Con ello se consiguen ajustar, de manera sencilla, los ejercicios y la operativa de actuación, a las particularidades de cada territorio.

Finalmente se implementa la interoperabilidad con la plataforma de Gestión de Incendios forestales Emercarto, de modo que se pueda operar con las aplicaciones de su entorno (aplicación Web y aplicaciones móviles), del mismo modo que se haría en un incendio real. Para ello, se habilita en el Tutor una funcionalidad que activa el envío de posiciones georreferenciadas, tanto de las unidades de intervención como del frente de llama.

Para la modelización del comportamiento del fuego se seleccionan algunos de los modelos de propagación clásicos, a los que se añaden determinadas modificaciones para, por un lado, permitir un rendimiento fluido del sistema para celdas de pequeño tamaño (1x1 metros), y por otro, reflejar las acciones de extinción a tiempo real y las variaciones en los datos meteorológicos. El motor de simulación diseñado admite la realización de contrafuegos, simula el fuego de copas y permite al

fuego superar las líneas de control, simulando efecto de la propagación del calor por radiación y convección.

La prioridad en este aspecto era conseguir tamaños de celda de 1x1 metro sin reducir el rendimiento de cálculo, ya que en versiones anteriores se había comprobado que los tamaños de celda mayores no eran muy útiles a la hora emular las acciones de extinción. Existe algún ejemplo descrito en bibliografía que persigue la reducción del tiempo de cálculo para modelos de propagación de incendios forestales, como es el caso de ACHTEMEIER (2003). Además, los efectos de las acciones deben tener respuesta a tiempo real, de forma que el usuario pueda comprobar en todo momento el efecto de estas, en un tiempo inferior a 1 o 2 segundos desde su ejecución. Los modelos matemáticos de propagación tradicionales no permiten esta interactividad de usuario, por lo que necesariamente se introducen distintas modificaciones en los utilizados por el sistema.

Para el cálculo básico de la intensidad de propagación en cada celda se utiliza la fórmula de BYRAM (1959), $I \text{ (kW/m)} = H \text{ (kJ/kg)} * w \text{ (kg/m}^2) * r \text{ (m/min)}$, por su sencillez de aplicación y su respuesta de simulación contrastada.

Para estimar el calor de ignición y con ello el tiempo de inicio de combustión en cada celda, se utiliza FRANSEN (1971) y ROTHERMEL (1972). El tiempo de residencia se toma de FONS et al (1962).

BYRAM (1959) proporciona a su vez una buena estimación de la longitud de llama $L_f \text{ (m)} = 0.0775 * I^{0.46} \text{ (kW/m)}$, descartándose las de otros autores al comprobarse menos aplicables al sistema propuesto.

Igualmente, al comparar los distintos modelos ofrecidos en la literatura, para el cálculo de la inclinación de la llama se adapta la proporcionada por PUTNAM (1965).

Para las variaciones de la humedad del combustible en función de los datos meteorológicos, se contrastan principalmente los trabajos de VINEY (1991), GFDM/NOBLE (1980) y VEGA y CASAL (1986), así como algunos otros, seleccionando finalmente este último, al adaptarse mejor al algoritmo de propagación desarrollado.

Para simular el fuego de copas se opta en un primer momento por el modelo de CRUZ et al (2002), pero se concluye como demasiado complejo para su implementación informática para el sistema propuesto, por lo que se opta por una solución propia basada en el calor de radiación y convección recibidos por la celda.

La simulación de los efectos producidos en cada celda de propagación por efecto del vertido de agua se basa en el trabajo de HANSEN (2012). Para el caso de vertidos de agua desde medios aéreos, se modelan unos patrones de descarga basados en las experiencias del USDA Forest Service, EEUU y del Bushfire Cooperative Research Centre of Melbourne, Australia.

Se realiza un estudio previo de los dispositivos de extinción nacionales, con el fin de seleccionar los distintos roles a diseñar en la plataforma, así como para determinar sus funcionalidades. Se diseñan dentro de Unity distintas interfaces de usuario que responden a las funcionalidades de esos distintos roles.

Para las comunicaciones se elige la herramienta TeamSpeak, de rendimiento contrastado, al ser ampliamente utilizada dentro del mundo de los videojuegos online para reproducir canales de voz entre participantes.

4. Descripción básica del uso

Sobre la combinación de los módulos descritos anteriormente, se ejecutan los simulacros virtuales colaborativos, en los que, sobre el escenario elegido, se representa gráficamente un incendio forestal que avanza de forma similar a la real, y sobre el que los usuarios dados de alta ejecutan las acciones que son propias del rol que desempeñan en el ejercicio, las cuales tienen incidencia sobre el comportamiento del incendio, sobre el escenario y sobre el resto de participantes.

El motor de propagación del fuego y las acciones de extinción tienen efecto sobre porciones de terreno o fuego con una resolución de 1 metro cuadrado, lo que permite simular de forma coherente los efectos de las herramientas utilizadas por las distintas unidades. Sobre estas celdas de terreno o fuego pueden ejecutarse 5 tipos de acciones, con las distintas herramientas de extinción:

- Encender fuego
- Sofocar llamas
- Eliminar combustible hasta suelo mineral
- Cortar combustible en pie
- Enfriar con agua

El motor de propagación del incendio simula fuego de copas y contrafuegos, además, reacciona a las variables meteorológicas, topográficas y de combustible a tiempo real, según modelos de comportamiento conocidos, modificados por Tragsa.

Previamente a la realización de ejercicios el Administrador puede crear distintos escenarios, de tamaño variable según necesidades, en los que escenificar distintas situaciones topográficas y de combustible, sobre las que luego simular distintos focos de fuego, que pueden cubrir todos los rangos de intensidad y velocidad de propagación, de forma que luego el ejercicio cumpla los objetivos previstos acorde al alumnado al que va dirigido.

Al inicio del ejercicio se presenta para todos los alumnos una interfaz de entrada a modo de sala de espera en la que estos aguardan a que el tutor les asigne el rol adecuado y les permita el acceso al mismo, momento que variará para cada rol, con el fin de simular los diferentes tiempos de llegada a la emergencia de los medios actuantes.

Cada rol presente en el ejercicio dispone de una interfaz de usuario diferenciada, que le permite realizar únicamente las acciones y funciones que le son atribuidas, de tal forma que por ejemplo el piloto de una aeronave se encuentra dentro de una cabina y dispone de los mandos para maniobrar su vehículo, mientras que el ayudante de autobomba puede manipular tramos de manguera y ejecutar un tendido. Dentro de las limitaciones funcionales de su interfaz, el rol es libre de moverse o evolucionar libremente por el escenario y de ejecutar cuantas acciones e instrucciones considere necesarias, en función de la herramienta de trabajo seleccionada en cada momento, entre aquellas que le sean características. Además puede comunicarse con el resto de unidades presentes en el ejercicio, por los canales que le hayan sido asignados.



Figura 1. Interfaces de Piloto de aeroplano y Conductor de bulldozer durante las demostraciones del Proyecto AF3 en Atenas, Grecia. Mayo, 2016.

Se establecen distintas acciones de extinción, instrucciones y mensajes entre los distintos roles, de forma cada uno de ellos efectivamente puede ejercitar las funciones que le son atribuidas en la emergencia real. Existen sobre la plataforma los roles de:

- Movilizador de medios
- Director de extinción
- Ayudante del Director de Extinción
- Jefe de Sector
- Coordinador de Medios Aéreos
- Piloto de Helicóptero
- Piloto de Aeroplano
- Técnico de Brigada
- Capataz de Brigada
- Especialista
- Responsable de Autobomba
- Ayudante/Dotación de Autobomba
- Conductor de Bulldozer
- Jefe UME
- Subjefe/Jefe de dotación UME
- Conductor UME
- Conductor nodriza UME
- Dotación UME
- Vigilante
- Tutor del Ejercicio

El Tutor puede determinar el número y tipo de roles que participarán en el ejercicio, así como modificar, en cada momento durante el ejercicio, las condiciones meteorológicas, e iniciar o extinguir nuevos focos de incendio en cualquier parte del escenario, con el objeto de complicar o facilitar las labores de extinción, en aras a cumplir los objetivos didácticos establecidos en cada caso.



Figura 2. Ejercicio durante las demostraciones del Proyecto AF3 en León. Noviembre, 2016.

Tras la finalización del ejercicio, las acciones, instrucciones y comunicaciones ejecutadas son recogidas en la interfaz de estadísticas y evaluación del tutor de manera global, por unidad e individualizadas, en forma de tablas, gráficos y datos, para llevar a cabo el proceso final, el más importante desde el punto de vista didáctico, que es la obtención de unas conclusiones finales, con las que obtener unas lecciones aprendidas que al alumno le puedan servir de apoyo a su proceso formativo.

5. Experiencia adquirida

Del amplio repertorio de acciones formativas llevadas a cabo en Tragsa a lo largo de los años, en lo que a la extinción, prevención e investigación de incendios forestales se refiere, se deduce que existe una brecha imposible de salvar con los medios tradicionales, a la hora de cumplir el objetivo de transmitir al alumno la experiencia acumulada por los docentes, principalmente porque para el oyente de un caso práctico resulta muy difícil llegar a situarse en la realidad de la emergencia que se le plantea, normalmente recreada por medio de datos, vídeos y fotos.

Si bien los medios de formación tradicionales cumplen sobradamente con el objetivo didáctico de transferir conocimientos e información, a la hora de transmitir esa experiencia, como se decía, de forzar la toma de decisiones críticas con un escaso margen de tiempo, como ocurre en la realidad, esos medios tradicionales se quedan cortos, debiendo buscarse otros métodos alternativos de enseñanza que permitan situar al alumno en realidades virtuales cercanas a lo que su futuro desempeño le puedan deparar. En la búsqueda de ese objetivo, por parte de Tragsa, se ha desarrollado una plataforma de entrenamiento virtual en la que se simulan las condiciones de diferentes tipologías de incendios forestales, que se desarrollan sobre un escenario virtual, al que acceden los alumnos tomando el rol que les ha sido asignado dentro de la emergencia, actuando de

forma coordinada con el resto de participantes, asumiendo las funciones que para ese rol son oportunas.

Existe, igualmente, una dificultad en aproximar el aprendizaje al personal de extinción de una manera continuada y flexible, de manera que este pueda contar en los propios centros de trabajo, o en ubicaciones próximas, con herramientas de formación que sean compatibles con el uso de entornos deslocalizados u online, que proporcionen, a su vez, una calidad elevada en cuanto a experiencia de usuario se refiere.

Con todo, es posible asegurar el potencial de la herramienta ERVIN en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

- Profunda asimilación de las acciones y capacidades requeridas para el desempeño de las tareas asignadas en cada posición (habilidades de comunicación, transmisión de órdenes, protocolos de seguridad, consciencia situacional). Las sesiones de entrenamiento en el entorno descrito obligan al alumno a mantenerse activo y en alerta respecto de sus atribuciones, empleando los sistemas de comunicación a su disposición. Esta disposición se consigue de manera natural por la propia interacción con los demás usuarios y con el entorno de extinción planteado.
- Construcción de escenarios de actuación fidedignos, con comportamiento realista del fuego y con respuesta adecuada a las acciones de extinción.
- Interoperabilidad elevada, gracias al diseño de roles en base a procedimientos ampliamente extendidos mundialmente y del estudio de su aplicación en distintos países y regiones (ICS), al uso de entornos que permiten el intercambio de información instantánea con otras plataformas, y a la utilización de escenarios reales georreferenciados.

La herramienta ERVIN es asimismo permeable a la herramienta de gestión del combate de incendios Emercarto, siendo posible incorporar el seguimiento y coordinación de incendios virtuales desde un entorno real de gestión. Al utilizar ambas funcionalidades de manera conjunta se pueden organizar sesiones formativas con distinto alcance, diseñar simulacros virtuales y gestionar emergencias reales con la retroalimentación de unidades simuladas.

6. Agradecimientos

A Eladio Junceda y todo su equipo, por su empuje y dedicación.

7. Bibliografía

PORRERO, M.; ORTEGA, C.; en VÉLEZ, R.; 2000. La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. Mc Graw-Hill.

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.

BYRAM, G. M.; 1959. Combustion of forest fuels. In 'Forest Fire: Control and Use'. McGraw-Hill Book Company Inc. New York.

FRANDSEN, W. H.; 1971. Fire spread through porous fuels from the conservation of energy. Combustion and Flame.

ROTHERMEL, R.C.; 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service Research, paper INT-115.

FONS, W.L.; 1946. Analysis of fire spread in light forest fuels. *Journal of Agricultural Research* 72: 93-121.

FONS, W.L.; CLEMENTS, H. B.; Elliott, E. R.; George, P. M.; 1962. Project Fire Model Summary Progress Report II. USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Southern Forest Fire Laboratory. Macon, Georgia.

PUTNAM, A.A.; 1965. A model study of wind-blown free-burning fires. *Proceedings, 10th Symposium (International) on Combustion*. Combustion Institute, Pittsburgh, Pa., 17-21 Aug. 1964, University of Cambridge, Cambridge.

VINEY, N.R.; 1991. A review of fine fuel moisture modelling. *International Journal Wildland Fire* 1(4): 215-234.

NOBLE I.R.; BARY, G.A.V.; GILL, A.M.; 1980. McArthur's fire-danger meters expressed as equations. *Australian Journal of Ecology* 5:201-203.

VEGA, J. A. y CASAL, M.; 1986. Contraste de estimadores de humedad del combustible forestal fino muerto en montes arbolados de Galicia (NW de España). *Documentos del Seminario sobre métodos y equipos para la prevención de incendios forestales*. Valencia, 30 sep - 4 oct, 1986. 94 - 97.

CRUZ, M. G.; ALEXANDER, M. E.; WAKIMOTO, R. H.; 2002. Predicting crown fire behavior to support forest fire management decision-making. Millpress. Rotterdam.

ACHTEMEIER, G. L.; 2003. Rabbit rules. An application of Stephen Wolfram new kind of science to fire spread modeling. Technical Program of the Joint 2nd International Wildland Fire Ecology and Fire Management Congress and 5th Symposium on Fire and Forest Meteorology.

HANSEN. R.; 2012. Estimating the amount of water required to extinguish wildfires under different conditions and in various fuel types. *International Journal of Wildland Fire*. Csiro Publishing.

HATTON, T.J.; VINEY, N.R.; 1988. Modelling fine, dead, surface fuel moisture. *Proceedings of Conference on Bushfire Modelling and Fire Danger Rating Systems*. 119-125. Canberra, Australian Capital Territory.