7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

Gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-435

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

Sociedad Española de Ciencias Forestales
SECF

Eficacia del nuevo sistema Nub-e en la prevención y extinción de incendios forestales

José Luis Liz Graña[1], Álvaro Escrig del Valle[1], Joaquín Catalá Lloret[1], Miguel Ángel Molina Lázaro[1],

[1] Pyro Fire Extinction,S.L.

Resumen

Dentro del proyecto europeo "Advanced Forest Fire Fighting" (AF3), la empresa PYRO FIRE EXTINCTION, S.L. ha desarrollado el sistema Nub-e de lucha contra incendios forestales.

Este sistema consta de unas cápsulas inteligentes que pulverizan un agente retardante sobre la vegetación cuando son activadas de forma automática por un incendio, sin uso de explosivos, creando una zona húmeda que limita su avance, a semejanza de un cortafuegos químico tradicional, pero con mucha mayor versatilidad y duración que éste.

Gran parte de la investigación asociada al desarrollo de Nub-e se ha basado en la estimación de la concentración y dosis (l/m^2) necesaria de agente retardante para que una zona tratada reduzca y/o extinga el incendio que le afecte. Tras diversos ensayos realizados con diferentes modelos de combustible en quemas prescritas, se ha comprobado que el modo en que Nub-e distribuye el producto sobre la vegetación, es más eficaz que los medios tradicionales, consiguiendo detener fuegos con dosis incluso un 50% menores que las recogidas en bibliografía.

En el presente trabajo se expone la tecnología desarrollada y sus potenciales usos, así como los principales ensayos ejecutados, cuyos resultados han permitido obtener un nuevo sistema de lucha contra incendios forestales rápido de instalar, robusto y altamente eficaz.

Palabras clave

Retardante, cortafuegos, barrera, extintor, cápsula.

1. Introducción

Con el objetivo de mejorar las capacidades para enfrentarse a los Megafuegos o incendios de quinta generación (CASTELLNOU et al. 2010), la Comisión Europea promueve el proyecto "Advanced Forest Fire Fighting, preparedness for and management of large scale forest fires" (AF3), que persigue mejorar la eficiencia y eficacia de las operaciones actuales de lucha contra incendios, de protección de vidas humanas, el medio ambiente y la propiedad, mediante el desarrollo tanto de tecnologías innovadoras como de aquellos medios necesarios para garantizar un alto nivel de integración entre los sistemas existentes y los nuevos.

Entre todos los socios y usuarios finales implicados, Pyro Fire Extinction (PYRO) es el principal responsable del desarrollo de nuevas soluciones en la creación de líneas de defensa para la protección de zonas de interfaz urbano forestal e infraestructuras críticas, mediante el despliegue del sistema Nub-e, que permite la creación rápida de cortafuegos químicos autónomos, de larga duración y muy adaptables al territorio.

Nub-e es una cápsula inteligente (Figura 1) que se activa por temperatura (>60ºC) instantes antes de la llegada del fuego, momento en que pulveriza automáticamente un agente extintor sobre la vegetación, cubriéndola de forma altamente eficaz. Este novedoso sistema no emplea explosivos en su funcionamiento, haciéndolo completamente seguro y de larga duración.

Nub-e no requiere acondicionar o actuar sobre la vegetación de la zona para que sea eficaz, permitiendo instalar líneas defensivas en pocos minutos, creando zonas de seguridad durante un incendio o de forma previa. Cada cápsula, una vez activada, puede proteger una zona de 12 m^2 y hacerlo en 30 segundos.

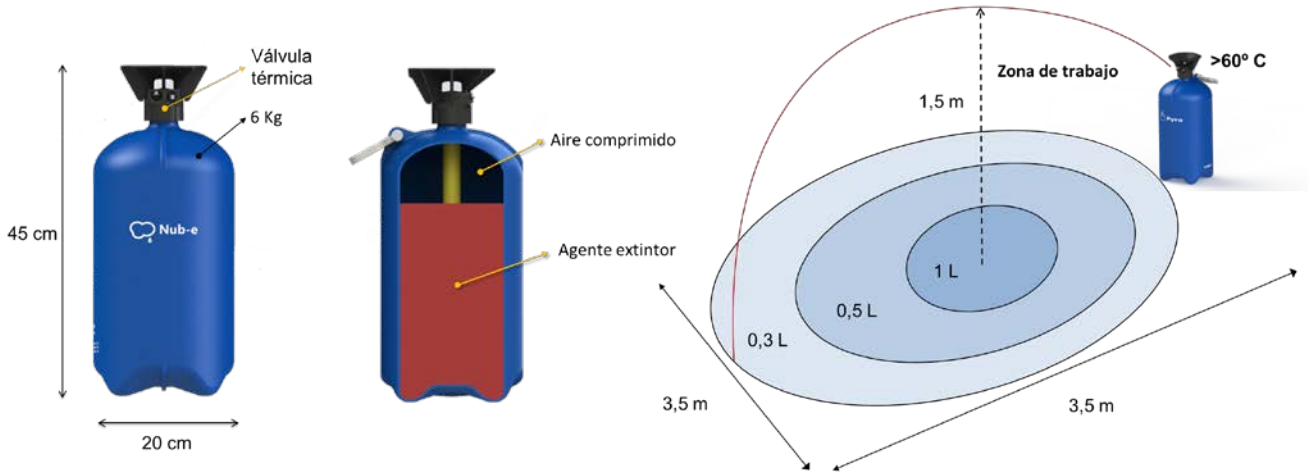

Figura 1. Esquema de cápsula Nub-e y zona de protección efectiva

Durante el año 2016, se han realizado numerosos test en quemas prescritas con la colaboración de instituciones responsables de la prevención y extinción de incendios forestales a nivel nacional e internacional. Los test, desarrollados con fuego real en diferentes condiciones y lugares, han seguido una metodología inspirada en la literatura existente con el fin de observar los parámetros de comportamiento del fuego y otras variables experimentales relevantes. Los resultados preliminares de estas experiencias muestran claramente que este nuevo sistema es capaz de crear barreras contra el fuego eficaces con dosis significativamente más bajas de producto retardante (l/m^2) que los valores típicamente indicados en la bibliografía, debido principalmente a la forma innovadora de aplicación del producto y su óptima distribución sobre la vegetación.

2. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es evaluar la eficacia del sistema Nub-e y poder determinar si los cortafuegos químicos realizados con esta nueva herramienta son más o menos eficaces que los creados por métodos tradicionales, como autobombas o medios aéreos.

Para alcanzar esto objetivo general, es clave alcanzar los siguientes objetivos parciales:

- Identificar y caracterizar las técnicas más comunes de dimensionamiento de un cortafuegos químico, principalmente en su ancho (m), dosificación (l/m^2) y ratio de mezcla del retardante (%).
- Desarrollar una metodología que permita evaluar el efecto del cortafuegos químico de una manera sencilla y fiable, y hacerlo en diferentes condiciones de ensayo.
- Evaluar la eficacia del despliegue de Nub-e contra un frente de llama, principalmente mediante la comparación del comportamiento de éste antes, durante y después de haber alcanzado la zona protegida.
- Comparar el tamaño del cortafuegos químico recomendado por técnicas bibliográficas con el generado por las cápsulas y cuantificar su efecto.
- Demostrar la seguridad del sistema para los bomberos y la población civil, así como su compatibilidad e integración con las operaciones y técnicas actuales de lucha contra el fuego.

3. Metodología

Existen pocos estudios que evalúen la eficacia de los cortafuegos químicos en la bibliografía científica. Ciertas investigaciones se han desarrollado para analizar la eficacia de los productos retardantes de incendios forestales a escala de laboratorio. La mayoría de los aditivos usados para aumentar la eficacia del agua han sido ampliamente probados en laboratorio (HERNANDO et al.,

2009) y en pruebas parciales con fuego real. Sin embargo, estudios de sus efectos sobre el comportamiento del fuego a escala de campo es escasa, sobre todo en los incendios que afectan a zonas de matorral denso y continuo (VEGA et al. 2007).

Con el fin de desarrollar una metodología para evaluar el rendimiento de Nub-e como herramienta para la creación de barreras defensivas, Pyro propone una metodología basada en el trabajo desarrollado por Vega (VEGA et al 2007) para comparar la eficacia de diferentes productos retardantes en quemas prescritas (MONTIEL Y KRAUS, 2010).

En el trabajo presentado, los autores emplean quemas prescritas para comparar el efecto de diferentes retardantes en la propagación del fuego, empleando una cuadricula rectangular de combustible. Básicamente esta metodología consiste en la delimitación de una parcela forestal y el despliegue del sistema de cápsulas sobre un extremo de la misma en oposición al avance del fuego.

A continuación, esta cuadricula será quemada de forma controlada, con el fin de comparar el comportamiento del fuego dentro y fuera de la zona tratada con el producto retardante (Figura 2). Mediante la medición de variables del fuego como la longitud de llama y la velocidad de propagación, se realiza la evaluación de la eficacia del cortafuegos químico ensayado.

Dentro de esta parcela de ensayo, se emplean distintos elementos como jalones, de altura y distancia conocidas, que permiten obtener las variables del comportamiento del fuego antes mencionadas, mediante un análisis de imagen de la grabación de la prueba (Figura 2).

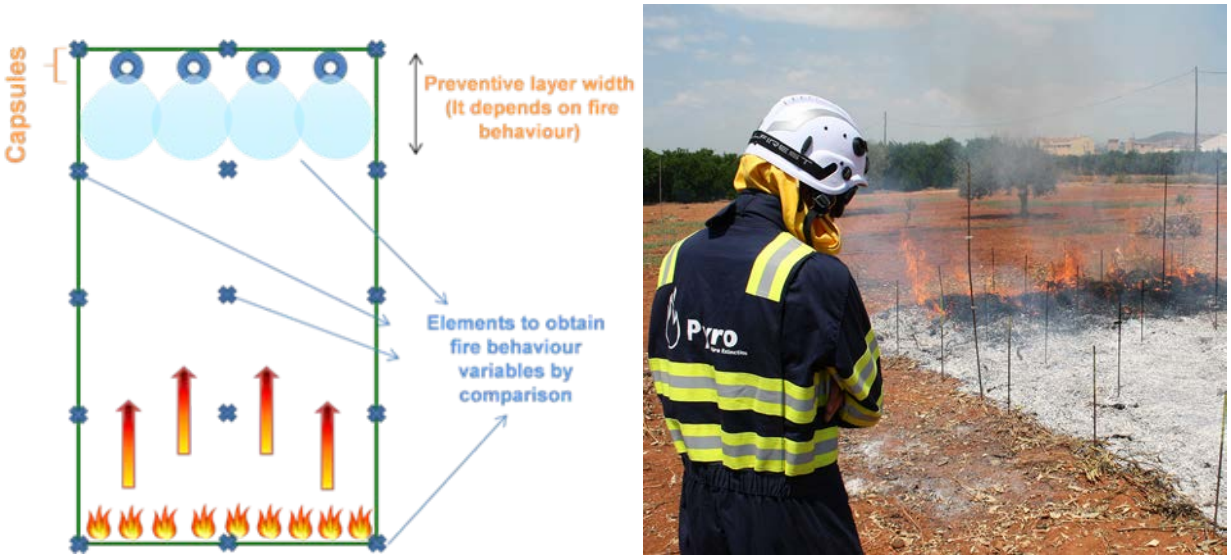

Figura 2. Esquema de parcela de ensayo planteada y parcela real durante ensayo

En base a esta simple metodología de trabajo, que permite realizar pruebas y mediciones en zona forestal sin grandes y complejos equipos de medida, Pyro ha podido realizar pruebas con fuego real en diferentes lugares de España y Grecia, dentro de los trabajos y ensayos enmarcados en el proyecto europeo AF3 (www.af3project.eu). Para cada una de las pruebas realizadas, se ha recopilado la siguiente información (Tabla 1):

Tabla 1. Modelo de ficha de ensayo y datos referentes a prueba realizada en A Gudiña – Ourense - España

DESCRIPCIÓN GENERAL					
ID	02	**Fecha**	29/04/2016	**Hora**	12:00 – 13:00
Lugar	A Gudiña (Ourense, Spain)	**Partners:**	TRAGSA, Servizo de Prevención e Defensa Contra Incendios Forestais (Ourense), Galician Regional Government, PYRO		

TIPO DE FUEGO PRESCRITO			
Clasificación:	Forestal	**Patrón:**	Viento a Favor

CONDICIONES DE FUEGO Y AREA DE CONTROL											
Parcela	**Tamaño**	>1 ha	**Pendiente (%)**	35			**Orientación**	Este			
Vegetación (Fuel)	**Modelo Combustible**		6 Para la simulación de Behave se ha incrementado el lecho de 0.76 a 1 m								
	Características		Erica sp; 50% FCC; 1,5 m Carqueixa (*Genista tridentata*); 35% FCC; 0,6 m Retama (escoba) (*Cytisus scoparius*); 10% FCC; 1,5 m *Hellianthemum* sp.; 5%; FCC 0,4 m								
	Humedad		Moderada - Alta								
			Combustible muerto	**1-h**	10	**10-h**	11	**100-h**	12		
			Humedad combustible vivo	**Herbáceo**	100	**leñoso**	130				
Condiciones ambientales	**Temperatura (C°)**		19	**Viento**		**Velocidad (km/h)**		17 (Máx > 25)			
	Humedad (%)		45			**Dirección**		Norte			

CORTAFUEGOS QUÍMICO									
Nub-e	**Ataque**	Directo							
	Agente Retardante	**Producto**	FR CROS 161 T		**Mezcla**	1:9	**[P_2O_5]**	30.8	
	Huella retardante	**Ancho (m)**	6	**Dosis (l/m²)**	0.8-1	**Gr P_2O_5/m²**		24.6-30.8	
Teórico	**Agente Retardante**	**Product**	FR CROS 134 T		**Mix ratio**	1:4	**[P_2O_5]**	92.4	
	Huella retardante	**Author**	**Ancho (m)**	**Dosis (l/m2)**	**Gr P_2O_5/m²**				
		Arnaldos et al. 2004	3-6	1.2	110.9				
		Velez (2009)	4.5	2	184.8				
		Lacuey and Carrera (2011)	4	1	92.4				
		George (1981)	4.5	2.44	225.5				

COMPORTAMIENTO DEL FUEGO			
	FL (m)	**I (kw/m)**	**ROS (m/min)**
Antes de zona Humeda	3.5	3911	3
Dentro de zona Humeda	0	0	0
Después de zona Humeda (Behave)	2.8	2348	31.5

Indicadores clave de comportamiento (KPI)	FL reducción (%)	I reducción (%)	ROS reducción (%)
	100	100	100

Esta información permite estudiar el efecto de la barrera creada con Nub-e sobre el fuego y conocer el cortafuegos químico teórico que habría sido necesario distribuir para reducir la misma intensidad de fuego, según la bibliografía.

En este trabajo se detallan un total de 4 ensayos realizados durante los años 2015 y 2016, del total de los test ejecutados por Pyro durante este tiempo. Durante los distintos ensayos realizados, se ha

trabajado con ratios de mezcla desde 1:1 a 1:9 de productos como FR-CROS 134T, FR-CROS 161T y Fire Trol 931.

Se listan a continuación las técnicas más frecuentes utilizadas en el dimensionamiento de un cortafuegos químico de acuerdo a diferentes autores y condiciones del fuego. Se considera que todos los cortafuegos químicos teóricos utilizan el mismo producto retardante (FR CROS 134-T), producto cuya capacidad ignifuga está asociada, especialmente, a su concentración de P_2O_5.

Cortafuegos químicos - dimensionamiento

Los cortafuegos químicos son fajas de combustible tratado e impregnado con mezcla de agua y retardante (MARTÍNEZ, 2001) por medio de medios aéreos o terrestres. Son una línea de defensa temporal que se ejecutan de forma muy rápida, a diferencia de otras técnicas que implican la eliminación de combustible.

Se emplean fundamentalmente en las labores de extinción de incendios como ataque paralelo, cortando la continuidad del combustible, como ataque indirecto, modificando las características de combustibilidad e inflamabilidad de éste (GIMÉNEZ et al. 2004) y como apoyo a la ejecución de contrafuegos (MARTÍNEZ, 2011). De igual forma, presentan gran utilidad en labores preventivas, como es el caso de su utilización para la ejecución segura de quemas prescritas (MARTÍNEZ, 2001), así como para proteger zonas urbanizadas, vías férreas, etc. (XANTOPHOULOS et).

El dimensionamiento y diseño de los cortafuegos químicos, mediante retardantes de largo plazo, se basan en dos variables principalmente: dosis de producto a aplicar sobre la vegetación (l/m^2) y anchura de la línea tratada (m). Estas características están relacionadas con el tipo de vegetación (modelo de combustible), la relación de mezcla empleada y las características del fuego que puede afectar a esa zona, principalmente su longitud de llama (FL) y velocidad de propagación (ROS).

La dosis a aplicar está relacionada con el tipo de vegetación y su estructura, así como la carga, relación de superficie y volumen del combustible. Cuanto mayor sea la carga, la relación de superficie y volumen, mayor debe ser la dosis, siendo por ejemplo mayores en las especies con hojas pequeñas y delgadas (MARTÍNEZ 2012). Los valores más comunes se encuentran en el intervalo de 0.5 a 3 l/m^2. Obviamente, esta dosis depende de la concentración utilizada (porcentaje de P_2O_5 en la mezcla).

Los retardantes de largo plazo son empleados normalmente en una relación de mezcla con agua de 1:4 ó 1:5, según recomendación del fabricante y dependiendo del método de distribución que se vaya a emplear (aéreo o terrestre). A mayor concentración de principio activo, mayor será el efecto extintor sobre el frente de llama del cortafuegos químico.

La anchura generalmente es determinada por las características del fuego (velocidad de propagación y longitud de llama). ARNALDOS et al (2004) propone para condiciones climatológicas normales y según la altura de la vegetación, dosis y anchuras de cortafuegos de 0,5 L/m^2 con 2-3 metros de ancho para vegetación < 0,5 m, 1.2 L/m^2 con 3-6 metros de ancho para vegetación de 1,5 m y 5 L/m^2 con 10 metros de ancho para la protección de copas.

VÉLEZ (2009) propone un rango de dosis en función del tipo de combustible (pastos 0.5-1.5, matorral 1-3, hojarasca bajo arbolado 2, restos de operaciones selvícolas >2. Además, VÉLEZ (2009) sugiere que la anchura del cortafuegos químico debe estar relacionada con la intensidad del fuego, y que debe ser al menos un metro mayor que la longitud de llama. MARTINEZ (2012) comparte este criterio, aunque añade que en caso de condiciones extremas (regla del 30-30-30) esto puede no ser suficiente para extinguir el fuego pero tal vez si para reducir la longitud de llama y permitir realizar un ataque directo.

LACUEY Y CARRERA (2011), proponen una dosis de acuerdo con el tipo de vegetación (pastos, matorral, arbolado), similar a ARNALDOS et al (2004). Por otra parte, LACUEY Y CARRERA (2011) establecen como variable de diseño el ancho del cortafuegos, basado en la tasa de propagación del fuego y la dosis, o un método simplificado incrementando en al menos un metro la longitud de llama, tal y como proponen VÉLEZ (2009) y MARTÍNEZ (2012).

GEORGE (1981) incluye la propuesta de ROTHERMEL (1978) sobre la estimación de los requerimientos de retardantes para los modelos de combustible NFRDS. La estimación de la dosis está basada en la cobertura de retardante seco que minimiza la propagación e intensidad del fuego. Bajo condiciones de poca intensidad, estos requerimientos quizás sean excesivos, tal y como se ilustra en la diferencia en la dosis para modelos de combustible F, donde la condición del combustible (*degree of curing*) incrementa sustancialmente la dosificación propuesta frente a otros autores.

ENSAYOS

Benadresa (Castellón, España) 15/05/2015

Las primeras pruebas desarrolladas se realizaron mediante quema agrícola, como punto de partida para el diseño del sistema de pulverización de Nub-e. Esta ha sido la única prueba realizada con el producto retardante FR CROS 134-T, siendo todas las demás realizadas con FR CROS 161-T. La aplicación del producto se realizó utilizando un pulverizador de mochila similar al empleado por los bomberos o agricultores y no Nub-e, por lo que como se verá en los resultados, la mejora en la eficacia del retardante es menor a la obtenida por el sistema de distribución de Nub-e, que aporta una mayor eficacia de la barrera como se verá más adelante.

En esta quema controlada, el combustible tenía una estructura y tamaño similar a un modelo 11 (ROTHERMEL ALBINI), pero con mayor carga (>80 Tm/ha), siendo comparable a un modelo 12. Se creó una zona humectada con producto retardante (ratio de mezcla 20%) de 2 metros de ancho, con dosis de 1.5 l/m^2. Estos valores son muy inferiores a los recomendados (>2 l/m^2; > 4 m de anchura). Antes de la llegada del fuego a la zona humectada, la longitud de llama medida era de 3 m y una velocidad de propagación > 1m/min. Sin embargo, el comportamiento del fuego a su llegada a la barrera cambió a longitudes de llama de 0,5m y velocidad de propagación < 0,3m / min.

Los indicadores clave de comportamiento (KPI), muestran que la barrera tuvo un comportamiento altamente eficaz en la reducción de la intensidad de llama y la velocidad de propagación, con reducciones >80% de sus valores iniciales.

A Gudiña (Ourense, España) 29/04/2016

El objetivo de este ensayo fue estudiar la eficacia de Nub-e en la ampliación de una faja de 3,5m de ancho ya existente, pero sin decapado (modelo de combustible 1), en un modelo 6. La barrera contra el fuego generada por Nub-e (6m) es más ancha que lo recomendado por la bibliografía por varios autores (4-6m). Sin embargo, el fuego se detuvo en los tres primeros metros de la zona humectada por el retardante químico.

Por otra parte, la dosis y la relación de mezcla empleadas están muy por debajo de la recomendada en la bibliografía (entre 3.5 y 7 veces menor). Finalmente, el efecto de la barrera no solo redujo la intensidad y longitud de llama, sino que extinguió completamente el fuego (KPI 100%).

Viso del Marqués (Ciudad Real, Spain) 24/05/2016

El objetivo de este ensayo fue estudiar la eficacia de Nub-e en la ampliación de una línea de defensa de manera rápida (instalación de cápsulas). En este caso, la línea de defensa consistía en un camino forestal de unos dos metros de ancho (insuficiente para frenar el avance del fuego). La barrera creada por Nub-e (6 m) es mayor que la recomendada en bibliografía (2-3 m). Por otra parte, la dosis aplicada fue idéntica a la recomendada por ARNALDOS et al. (2004), pero con un tercio de la concentración de P_2O_5. En este caso la disposición de las cápsulas se realizó de forma que la pulverización no estuviera dirigida directamente contra el fuego, sino en la zona más apropiada para reforzar la línea de defensa (configuración en ataque indirecto).

Nub-e fue capaz de detener el fuego antes de alcanzar el camino forestal (KPI 100%), demostrando su utilidad en una situación real, ante la necesidad de ampliación de infraestructuras de prevención de forma rápida y segura.

Skaramakgas (Athens, Greece) 01/06/2016

El objetivo de este ensayo fue estudiar el uso de Nub-e mediante su activación automática por temperatura y apertura manual por personal terrestre. La concentración de P_2O_5 fue ligeramente mayor que en test anteriores al emplear una ratio de mezcla de 1:4, sin aumentar la viscosidad del producto para que no afectara a las variables de pulverización óptimas de diseño.

En ambos test, las características de la barrera son idénticas, con la única diferencia del momento de apertura (ataque indirecto y directo). En ambos casos la barrera creada fue completamente eficaz contra el fuego y consiguió extinguirlo, aunque en el caso de ataque indirecto la penetración en la barrea fue menor que en ataque directo, debido principalmente a en ataque directo el frente de llama debe estar más próximo a la cápsula para producir su activación por temperatura.

4. Resultados

En todos los ensayos realizados la dosis empleada (l/m^2) y la concentración de retardante (P_2O_5 gr/m^2) ha sido significativamente inferior a la recomendada por la bibliografía o al menos similar a sus valores mínimos recomendados. Los análisis de los resultados obtenidos indican que la distribución del producto retardante realizado por Nub-e (Figura 3) es más eficiente que el realizado por otras técnicas, tales como vehículos autobomba o medios aéreos.

Se muestran los datos comparativos (Figura 4, 5 y 6), para cada ensayo realizado, del dimensionamiento de los cortafuegos químicos recomendados en la bibliografía y los aplicados por el sistema Nub-e, mostrando un importante aumento en la eficacia de este sistema en la creación de barreras contra el fuego, tanto valores de dosis por área, anchura total de la barrera y concentración de P_2O_5 por área empleados.

Las pruebas realizadas se han desarrollado con diferentes modelos de combustible y quemas de distinto grado de severidad. En dichas pruebas, los valores de los fuegos generados desaconsejan o impiden el ataque directo por parte del personal de tierra, teniendo en cuenta su potencia por metro lineal y su longitud de llama. En todos ellos, Nub-e ha sido capaz de extinguir el fuego o reducir su intensidad y longitud de llama a valores aceptables para crear oportunidades de extinción para el personal de extinción.

Figura 3. Apertura por temperatura y pulverización de una cápsula Nub-e

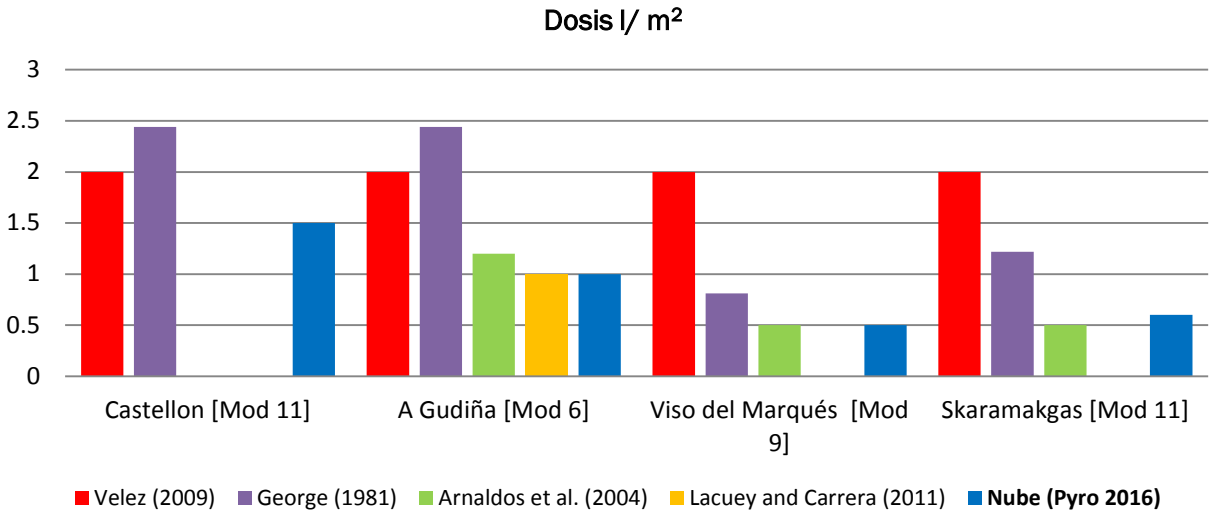

Figura 4. Dosis por metro cuadrado. Nub-e vs bibliografía

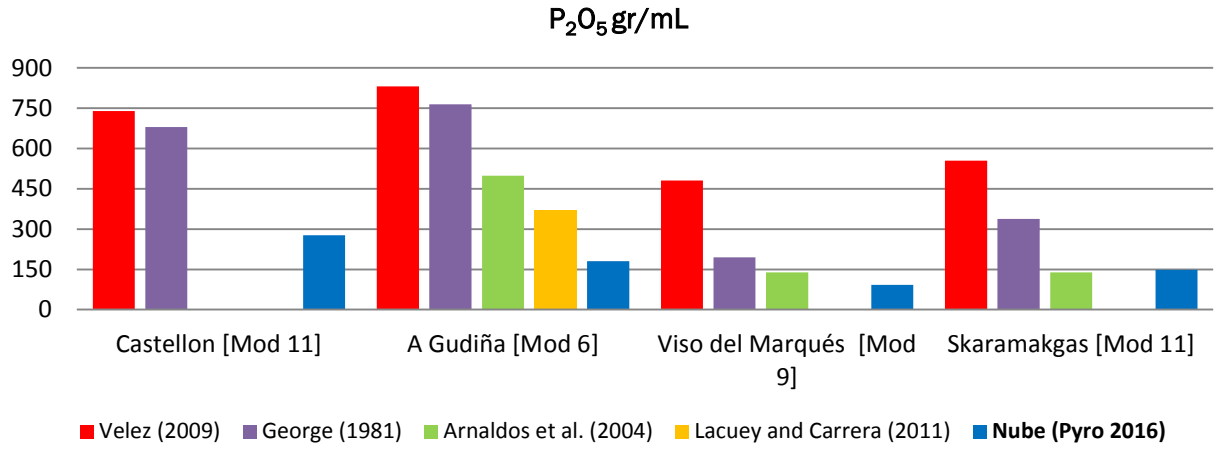

Figura 5. Concentración por metro lineal. Nub-e vs bibliografía

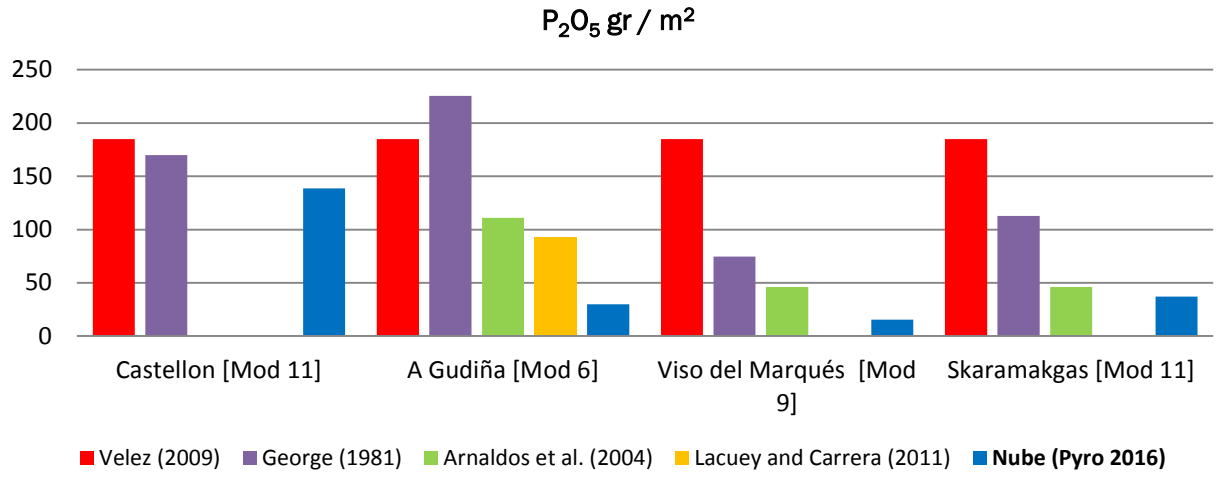

Figura 6. Concentración por metro cuadrado. Nub-e vs bibliografía

5. Discusión

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, es posible inferir que el modo de aplicación de un retardante sobre la vegetación, en términos de tamaño de gota, ángulo de salida, caudal, velocidad, momento de aplicación, etc. es extremadamente importante en relación con su eficacia sobre el fuego. Al elegir la combinación adecuada de estos parámetros de aplicación, es posible utilizar concentraciones más bajas de producto, sin perder eficacia y poder ampliar las zonas tratadas con una misma cantidad de retardante, lo cual es clave en un escenario en la que la disponibilidad y optimización de los recursos es vital para realizar acciones eficaces y rápidas contra el fuego.

Los experimentos presentados en este estudio, deben replicarse y extenderse a otros modelos de combustible, con el propósito de obtener resultados robustos y extensibles a la generalidad de la lucha contra incendios. A pesar de la necesidad de continuar trabajando en este campo, los resultados presentados muestran que el empleo de estas cápsulas extintoras, como herramienta en la creación de líneas de defensa (Figura 7), de rápida instalación, seguras, y eficaces, supone un importante avance para su implementación en el sector, mejorando y aportando nuevas capacidades de lucha contra el fuego.

Figura 7. Cortafuegos químico creado, automáticamente, por cápsulas Nub-e

6. Conclusiones

Las cápsulas Nub-e permiten a los especialistas de la extinción y prevención crear barreras móviles (Figura 8), altamente eficaces y aumentar así las oportunidades de extinción con su uso en un incendio. Permiten reforzar infraestructuras de prevención existentes de forma rápida y segura, facilitando la intervención de medios terrestres en la zona. Puede ser empleado como sistema preventivo en lugares donde la intervención sobre el terreno en difícil o costosa, pues no se requiere de la retirad de la vegetación para que el sistema sea eficaz contra el fuego.

Figura 8. Transporte por brigadista de cápsulas en terreno forestal

Finalmente, debe trabajarse intensamente la integración operativa de este sistema, definiendo nuevos y más seguros modos de trabajo, adecuar el diseño a la naturaleza propia del trabajo de las brigadas forestales y sus propias peculiaridades. Esta fase de integración a nivel operativo es imprescindible para disponer de una herramienta útil para el sector. En este sentido el equipo de trabajo de Pyro está colaborando con usuarios finales mediante pruebas piloto que permitirán adaptar este diseño a los requerimientos específicos de los especialistas.

7. Agradecimientos

Durante el desarrollo de esta nueva herramienta para la lucha contra los incendios forestales, el equipo de Pyro ha trabajo y colaborado con numerosos actores del sector, que nos han ayudado a entender, orientar correctamente la problemática y a validar en numerosas pruebas de campo este sistema, permitiéndonos iterar en la mejora continua del mismo. Queremos agradecer especialmente su colaboración y apoyo a la Universitat Politécnica de Valencia, Tragsa, INIA, Generalitat Valencia, Budenheim Ibérica, Divalterra, GEACAM, GRAF, BRIF, así como a nuestros parters del proyecto AF3, con los que hemos trabajado durante estos años en la materialización de este nuevo sistema y sin los cuales Nub-e no sería hoy una realidad. Muchas gracias.

8. Bibliografía

ARNALDOS VIGER J., NAVALÓN NONELL X., PASTOR FERRER E., PLANAS CUCHI E., ZÁRATE LÓPEZ L., 2004. Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales. Mundi prensa. 414 pp.

BYRAM GM, 1959. Combustion of forest fuels. In "Forest Fire: Control and Use". (Ed. KP Davis) (McGraw-Hill Book Company Inc: New York)

DÍAZ PEÑALVER D., CAMPOS LISSÉN J.M., MUÑOZ CAZORLA F., 2006. Desarrollo de retardantes de llama de efecto prolongado para uso forestal. En Ingeniería química, Nº. 437, 2006, págs. 87-102

ENFEDAQUE A, GARCÍA D, ESPASA S. 2013. Estudio de permanencia de la eficacia de los retardantes de largo plazo en aplicaciones preventivas. TECNIFUEGO nº30: 30-33

GEORGE C.W., 1981. Determining air-tanker delivery performance using a simple slide chart retardant coverage computer. Gen. Tech. Rep. INT -113. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Inter- mountain Forest and Range Experiment Station; 1981. 7 p.

GEORGE C.W. AND FUCHS F.A., 1991. Improving Airtanker Delivery Performance. In Fire Management Notes Volumen 52 No 2, 30-39. USDA Forest Service

GIMÉNEZ A, et al. 2004. Long-term forest fire retardants: a review of quality, effectiveness, application and environmental considerations. In International Journal of Wildland Fire, 2004, 13, 1–15.

HANSEN R., 2012. Estimating the amount of wáter required to extinguish wildfires under different conditions and in various fuel types. In International Journal of Wildland Fire

HERNANDO C., GUIJARRO M., MADRIGAL J., 2009. Metodología para la determinación en laboratorio de la eficacia de los retardantes utilizados en la Extinción de Incendios Forestales. Montes 96, 33-38.

LACUEY A., CARRERA M., 2011. Dispositivo mecánico para la lucha contra incendios forestales: "barras de pulverización". PFC. EUITI de Zaragoza

MARTÍNEZ RUIZ E. 2001. Manual de quemas controladas. El manejo del fuego en la prevención de incendios forestales. Mundi-Prensa, 175 pp.

MARTÍNEZ RUIZ E. 2011. Manual del contrafuego. El manejo del fuego en la extinción de incendios forestales. 2ª ed. Mundi-Prensa, 64 pp.

MARTÍNEZ RUIZ E., 2012. Lo que la experiencia recomienda en la dirección de la extinción de grandes y peligrosos incendios forestales. Medidas en situaciones de extrema peligrosidad.

Missoula Technology and Development Center, 2016. Introduction to Wildland Fire Chemicals. USDA Forest

MONTIEL C AND KRAUS D.(eds.) 2010. Best practices of fire use – Prescribed burning and Suppression Fire Programmes in selected case-studies regions in Europe.

SCOTT J.H., BURGAN R.E., 2005. Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model. USDA Forest Service. 80 pp

THOMAS PH, 1963. The size of flames from natural fires. In "Proceedings of the 9th International Symposium on Combustion", 27 August-1 September 1963, Ithaca, NY, pp. 844-859. (The Combustion Institute: Pittsburgh, PA)

USDA Forest Service (1986). Specification for long term retardant, forest fire aircraft or ground application (5100-304-a)

VEGA JA et al. 2007. Comparing the effect of polyphosphate and foam addition to water on fire propagation in shrubland. . WILDFIRE 2007 – 4th International Wildland Fire Conference.

VÉLEZ MUÑOZ R. (coord.), 2009. La defensa contra Incendios Forestales. Fundamentos y experiencias. 2ª ed. Mc Graw Hill, 1320 pp.