

9CFE-1521



FIREGON: Calculadora Rothermel con datos del territorio para el Gobierno de Aragón

ANTÓN ANGULO, J.(1), PÉREZ-RODRÍGUEZ, F.(1), CLAVERO MIRO, J.(2), AGUAROD BERNAT, R.(2), ORTEGA REBOLO, G.(2), ALONSOPONCE, R.(1,3)

(1) Fora Forest Technologies SLL, Campus Duques de Soria s/n, 42004 Soria, Spain

(2) Sociedad Aragonesa de Gestión Agroambiental (SARGA)

(3) Instituto Universitario de Investigación Gestión Forestal Sostenible iuFOR.

Resumen

Firegon es una aplicación *standalone* de Föra para la Sociedad Aragonesa de Gestión Agroambiental (SARGA), que sirve para calcular los valores principales y comportamiento de una simulación de incendio mediante el modelo Rothermel. Esto permite minimizar el impacto actuando sobre las variables/inputs que es posible modificar mediante tratamientos selvícolas. La herramienta tiene una arquitectura compacta y no depende de software de terceros. Está hecho de manera modular y su adaptación a cualquier superficie del territorio sería tan sencillo como introducir la nueva información Raster. La información Raster está comprimida en un formato especial desarrollado por Fora, que permite que dicha información ocupe tan sólo el 20% de lo que ocuparía en formatos convencionales.

Palabras clave

Gestión de incendios, gestión del riesgo de incendio, simulación, software.

1. Introducción

En las últimas décadas es evidente el aumento preocupante del número e intensidad de incendios, particularmente en zonas de clima mediterráneo (ALEXANDRIAN et al. 1999). El cambio climático, el abandono del campo y de sus actividades tradicionales, la renuncia a la madera como materia prima, la insuficiente inversión en labores de prevención, etc., son las causas más visibles del problema. La gestión forestal puede atajar en parte el problema actuando sobre la cantidad y continuidad de combustible disponible para los incendios.

Por otro lado, el estudio de dichos incendios desde un punto de vista científico ha producido diferentes modelos, como es el modelo Rothermel (ROTHERMEL, 1972), para poder simular estos incendios y prever sus efectos, propagación y principales características antes de que se lleguen a producir. Todos estos modelos tienen en común una fase de inicio del incendio, en el que la cantidad, humedad, temperatura, continuidad y distribución del combustible es clave para su desarrollo y una fase de actividad que es durante la que se producen la mayor parte de los daños. El desarrollo actual de la informática y los esfuerzos realizados en dichos estudios hace que cada vez se dispongan de modelos y simuladores más exactos.

Por lo tanto, parece cada vez más necesario crear herramientas informáticas que ayuden al gestor forestal a tomar las decisiones adecuadas para disminuir la probabilidad de incendios y sus consecuencias. Al mismo tiempo, el diseño de estas herramientas debe tener en cuenta la experiencia del usuario: ser lo más sencillas e intuitivas posible e incluso adaptarse a la metodología de trabajo del cliente en particular, buscando el máximo de productividad y reduciendo el período de adaptación a dicho software.

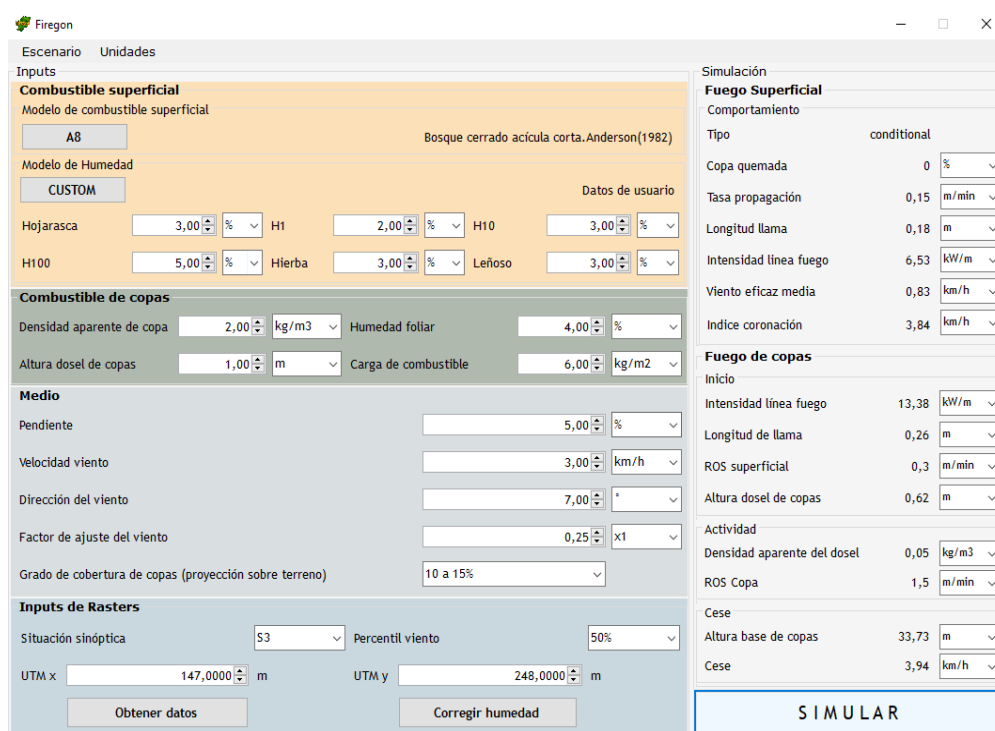
2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de Firegon, una aplicación calculadora

de valores de incendios según el modelo Rothermel para la Sociedad Aragonesa de Gestión Agroambiental (SARGA). Como objetivo secundario, se pretende incluir las funcionalidades principales de la aplicación en librerías para que el software pueda ser adaptado a las necesidades de otros clientes.

3. Metodología

Firegon es la solución informática diseñada por Fora Forest Technologies SLL (föra) para realizar los cálculos del modelo Rothermel, particularizada en la comunidad de Aragón. Es una aplicación *standalone* para Windows que sirve para modelizar un incendio según el modelo Rothermel. A partir de los datos de entrada de dicho modelo (agrupados en Combustible superficial, Combustible de copas y datos del Medio) obtendremos las características de un incendio iniciado en ese punto, y sus principales valores (Figura 1). Entre ellos tienen una gran importancia los valores límites del incendio, que son aquellos valores que producirían el cese de actividad del incendio o incluso su no inicio. Son estos valores límite los que ayudan al gestor forestal a tomar decisiones adecuadas para la prevención y su cálculo es la tarea principal de la aplicación. Toda la aplicación ha sido desarrollada íntegramente en el lenguaje de programación C#



The screenshot shows the Firegon application window. It is divided into several sections:

- Inputs:**
 - Combustible superficial:** Includes a dropdown for 'Modelo de combustible superficial' (set to A8) and a text field for 'Modelo de humedad' (set to CUSTOM). Below are input fields for 'Hojarasca' (3.00%), 'H1' (2.00%), 'H10' (3.00%), 'H100' (5.00%), 'Hierba' (3.00%), and 'Leñoso' (3.00%).
 - Combustible de copas:** Includes input fields for 'Densidad aparente de copa' (2.00 kg/m3), 'Humedad foliar' (4.00%), 'Altura dosel de copas' (1.00 m), and 'Carga de combustible' (6.00 kg/m2).
 - Medio:** Includes input fields for 'Pendiente' (5.00%), 'Velocidad viento' (3.00 km/h), 'Dirección del viento' (7.00°), 'Factor de ajuste del viento' (0.25 x1), and 'Grado de cobertura de copas' (10 a 15%).
 - Inputs de Rasters:** Includes a dropdown for 'Situación sinóptica' (S3), a dropdown for 'Percentil viento' (50%), and input fields for 'UTM x' (147,000 m) and 'UTM y' (248,000 m).
- Simulación:**
 - Fuego Superficial:** Shows simulation results for 'Comportamiento' (conditional), 'Copa quemada' (0%), 'Tasa propagación' (0.15 m/min), 'Longitud llama' (0.18 m), 'Intensidad línea fuego' (6.53 kW/m), 'Viento eficaz media' (0.83 km/h), and 'Índice coronación' (3.84 km/h).
 - Fuego de copas:** Shows simulation results for 'Inicio' (13.38 kW/m), 'Longitud de llama' (0.26 m), 'ROS superficial' (0.3 m/min), 'Altura dosel de copas' (0.62 m), 'Actividad' (0.05 kg/m3), 'Densidad aparente del dosel' (1.5 m/min), 'Cese' (33.73 m), and 'Cese' (3.94 km/h).

Buttons at the bottom include 'Obtener datos', 'Corregir humedad', and a large 'SIMULAR' button.

Figura 1. Pantalla principal de Firegon. En ella se muestra el formulario principal para la introducción de inputs

Al inicio del desarrollo, se consultó y probó software ya desarrollado para la aplicación del modelo de Rothermel. Fundamentalmente se estuvo probando BehavePlus (HEINSCH et al. 2002) y NEXUS (SCOTT et al. 2003) (este último es el que usaba SARGA hasta el momento). Al ser un software diseñado para aplicar el método en un sentido muy amplio, son productos muy potentes y versátiles, pero poco prácticos. Cualquier usuario que no sea un conocedor avanzado del modelo y del propio manual de uso de la aplicación, será incapaz de manejarlo. Además, este software fuerza al usuario a trabajar con el sistema métrico anglosajón, ya que no todos los datos están adaptados al sistema internacional. Desde el principio, se tuvo



presente que Firegon tenía que estar muy adaptada a las necesidades de SARGA y que su uso debería ser intuitivo. Con estas premisas se desarrolló el módulo de interface de usuario.

La estructura del desarrollo es totalmente modular, es decir, que consta de varias partes (módulos) que se pueden modificar e intercambiar sin que esto influya en el resto de los módulos del programa. Estas partes son el motor de cálculo, el sistema de compresión/descompresión de datos, el sistema de cambios de unidades y el Interface de usuario.

En cuanto al motor de cálculo, se trata de la transcripción directa a C# del modelo Rothermel. Las fórmulas matemáticas, orden de los cálculos, dependencia de los datos, etc., se han codificado al lenguaje de programación. El objetivo es que puedan realizarse de la manera más automática posible a partir de los datos de entrada suministrados.

El sistema de compresión/descompresión de los datos, es un sistema desarrollado por Föra para esta aplicación. Al suministrar SARGA en formato ráster todos los datos geográficos de Aragón necesarios para los cálculos, ocurría que dichos datos ocupaban una gran cantidad de espacio en disco (52 GB). Es un tamaño excesivo, y más si se tiene en cuenta el tamaño de aplicación (2,9 MB). Con el sistema adoptado se ha conseguido reducir 20 veces el tamaño de los datos (2,36 GB).

En cuanto al sistema de cambio de unidades, es un módulo que permite cambiar entre diferentes unidades tanto del sistema internacional como del sistema anglosajón. El objetivo en este caso ha sido desarrollar un software que permita cambios de unidades sin pérdida de precisión. Es decir, si modificamos las unidades de una determinada magnitud y luego las volvemos a modificar a las unidades originales, no se produce el resultado inicial *exactamente*. Con el módulo desarrollado, se pueden realizar todos los cambios de unidades que sean necesarios, que nunca perderemos el dato inicial con la precisión requerida.

El interface de usuario, que es la parte más visual de la aplicación, sigue la estrategia de ser lo más limpio e intuitivo posible. Sobre este módulo se va a hablar de manera más pormenorizada en el siguiente punto: 4. *Resultados*.

Por otro lado, y teniendo en cuenta las posibilidades de reutilización de los tres primeros módulos, se han creado librerías a partir de ellos. Estas partes están listas para integrarse en otras piezas de software o para adaptar este tipo de aplicación a las necesidades de otros clientes.

4. Resultados

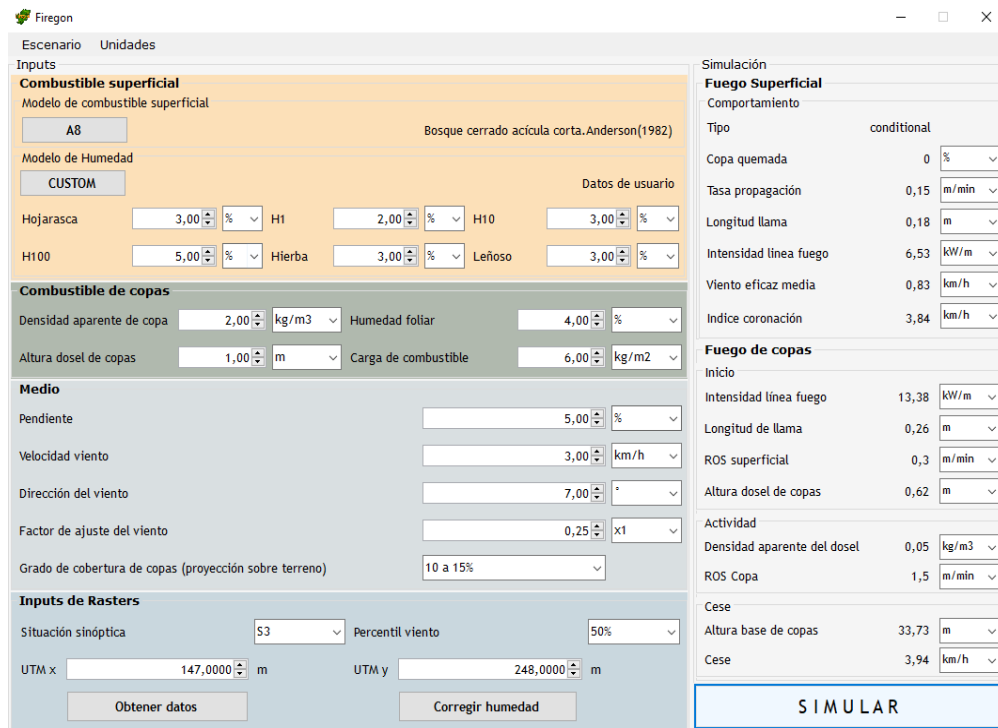
Firegon ha sido desarrollada pensando en que se pueda usar de una manera sencilla e intuitiva. En una aplicación como ésta, en la que los datos de entrada y de salida son numerosos, es importante mostrarlos de manera ordenada o incluso, en el caso de los outputs, sólo mostrar aquellos que el cliente pide. Además, también es necesario mostrar en la misma pantalla todos los datos relevantes para no tener la necesidad de estar cambiando de pantalla o de ventana constantemente. Todo esto se ha tenido muy en cuenta a la hora de crear el interfaz de usuario (Figura 1).

La introducción de los datos de entrada se puede hacer manual, automática o de ambas maneras simultáneamente. La propia aplicación tiene almacenados los datos de la comunidad de Aragón referentes a dirección y velocidad de los vientos (en 8 situaciones modelo o sinópticas y para percentiles de viento del 50%, 75%, 90% y 99% para cada situación) modelos de humedad del combustible (tanto vivo

El usuario puede introducir todos los datos a mano o bien mediante las coordenadas UTM del punto elegido, situación sinóptica (Lázaro Palacios et al. 2016) y percentil de viento (Figura 3). Estos datos se pueden corregir a mano si se desea. También puede crear nuevos modelos de combustible y de humedad y guardarlos en el propio sistema (Figura 2).

Modelo de Combustible													
Datos Unidades													
Modelo	Descripción	MT	Carga Hojaresca	Uld	Carga H1	Uld	Carga H10	Uld	Carga H100	Uld	Carga Herba	Uld	Carga
A1	Hierba Cuts (1 lb) Anderson (1982)	Estático	0	t/ha	1.66	t/ha	0	t/ha	0	t/ha	0	t/ha	
A2	Madera (hierba y arbustos) Anderson (1982)	Estático	0	t/ha	4.48	t/ha	2.25	t/ha	1.12	t/ha	1.12	t/ha	
A3	Hierba alta (2.5 lb) Anderson (1982)	Estático	0	t/ha	6.73	t/ha	0	t/ha	0	t/ha	0	t/ha	
A4	Chaparral Anderson (1982)	Estático	0	t/ha	11.23	t/ha	8.98	t/ha	4.48	t/ha	0	t/ha	
A5	Maleza Anderson (1982)	Estático	0	t/ha	2.25	t/ha	1.12	t/ha	0	t/ha	0	t/ha	
A6	Matónal durmiente, restos de conta Anderson (1982)	Estático	0	t/ha	3.36	t/ha	5.61	t/ha	4.48	t/ha	0	t/ha	
A7	Vegetación áspera sureña Anderson (1982)	Estático	0	t/ha	2.54	t/ha	4.2	t/ha	3.961	t/ha	0	t/ha	
A8	Bosque cerrado acicula corta Anderson (1982)	Estático	0	t/ha	3.36	t/ha	2.25	t/ha	5.61	t/ha	0	t/ha	
A9	Bosque pino acicula larga Anderson (1982)	Estático	0	t/ha	6.54	t/ha	0.93	t/ha	0.34	t/ha	0	t/ha	
A10	Madera (hojaresca y arbustos) Anderson (1982)	Estático	0	t/ha	6.73	t/ha	4.48	t/ha	11.23	t/ha	0	t/ha	
A11	Restos corta ligera Anderson (1982)	Estático	0	t/ha	3.36	t/ha	10.09	t/ha	12.35	t/ha	0	t/ha	
A12	Restos corta media Anderson (1982)	Estático	0	t/ha	8.98	t/ha	31.44	t/ha	37.06	t/ha	0	t/ha	
A13	Restos corta intensa Anderson (1982)	Estático	0	t/ha	15.72	t/ha	51.66	t/ha	62.89	t/ha	0	t/ha	
GR1	Césped clima seco, corto y escaso. Scott & Burgan (2005)	Dinámico	0	t/ha	0.22	t/ha	0	t/ha	0	t/ha	0.67	t/ha	
GR2	Césped clima seco baja carga. Scott & Burgan (2005)	Dinámico	0	t/ha	0.22	t/ha	0	t/ha	0	t/ha	2.24	t/ha	
GR3	Carga baja, hierba gruesa, clima húmedo. Scott & Burgan (2005)	Dinámico	0	t/ha	0.22	t/ha	0.9	t/ha	0	t/ha	3.36	t/ha	
GR4	Carga moderada, hierba clima seco. Scott & Burgan (2005)	Dinámico	0	t/ha	0.56	t/ha	0	t/ha	0	t/ha	4.26	t/ha	
GR5	Carga baja, hierba clima húmedo. Scott & Burgan (2005)	Dinámico	0	t/ha	0.9	t/ha	0	t/ha	0	t/ha	5.6	t/ha	
GR6	Carga moderada, hierba clima húmedo. Scott & Burgan (2005)	Dinámico	0	t/ha	0.22	t/ha	0	t/ha	0	t/ha	7.62	t/ha	
GR7	Alta carga, césped clima seco. Scott & Burgan (2005)	Dinámico	0	t/ha	2.24	t/ha	0	t/ha	0	t/ha	12.11	t/ha	
GR8	Alta carga césped grueso de clima húmedo. Scott & Burgan (2005)	Dinámico	0	t/ha	1.12	t/ha	2.24	t/ha	0	t/ha	16.36	t/ha	
GR9	Cargamuy alta, césped clima seco. Scott & Burgan (2005)	Dinámico	0	t/ha	2.24	t/ha	2.24	t/ha	0	t/ha	20.18	t/ha	
G51	Carga baja, clima seco. Césped-abruto Scott & Burgan (2005)	Dinámico	0	t/ha	0.45	t/ha	0	t/ha	0	t/ha	1.12	t/ha	
G52	Carga moderada, clima seco. Césped-abruto Scott & Burgan (2005)	Dinámico	0	t/ha	1.12	t/ha	1.12	t/ha	0	t/ha	1.35	t/ha	
G53	Carga moderada, clima húmedo. Césped-abruto Scott & Burgan (2005)	Dinámico	0	t/ha	0.67	t/ha	0.56	t/ha	0	t/ha	3.25	t/ha	
G54	Clima alta, clima húmedo. Césped-abruto Scott & Burgan (2005)	Dinámico	0	t/ha	4.96	t/ha	6.67	t/ha	0.99	t/ha	7.62	t/ha	

A la hora de realizar los cálculos, el proceso es tan sencillo como pulsar un botón: el botón “Simular”. Y si se van a usar los datos de ráster de Aragón, simplemente basta con poner las coordenadas UTM de un punto, elegir situación sinóptica y percentil de viento y pulsar el botón de “Obtener datos” (Figura 3).



The screenshot shows the Firegon software interface with the following sections:

- Escenario**: Unidades
- Inputs**:
 - Combustible superficial**: Modelo de combustible superficial (A8), Bosque cerrado acícula corta, Anderson(1982).
 - Modelo de Humedad**: CUSTOM. Datos de usuario: Hojarasca (3,00 %), H1 (2,00 %), H10 (3,00 %), H100 (5,00 %), Hierba (3,00 %), Leñoso (3,00 %).
 - Combustible de copas**: Densidad aparente de copa (2,00 kg/m3), Humedad foliar (4,00 %), Altura dosel de copas (1,00 m), Carga de combustible (6,00 kg/m2).
 - Medio**: Pendiente (5,00 %), Velocidad viento (3,00 km/h), Dirección del viento (7,00 °), Factor de ajuste del viento (0,25 x1), Grado de cobertura de copas (proyección sobre terreno) (10 a 15%).
 - Inputs de Rasters**: Situación sinóptica (S3), Percentil viento (50%), UTM x (147,0000 m), UTM y (248,0000 m).
- Simulación**:
 - Fuego Superficial**: Comportamiento (conditional), Tipo (Copa quemada: 0 %, Tasa propagación: 0,15 m/min, Longitud llama: 0,18 m, Intensidad línea fuego: 6,53 kW/m, Viento eficaz media: 0,83 km/h, Índice coronación: 3,84 km/h).
 - Fuego de copas**: Inicio (Intensidad línea fuego: 13,38 kW/m, Longitud de llama: 0,26 m, ROS superficial: 0,3 m/min, Altura dosel de copas: 0,62 m), Actividad (Densidad aparente del dosel: 0,05 kg/m3, ROS Copa: 1,5 m/min), Cese (Altura base de copas: 33,73 m, Cese: 3,94 km/h).
- Buttons**: Obtener datos, Corregir humedad, SIMULAR.

Figura 3. Detalle de caja de selección de datos de Aragón

Además, se puede corregir de manera automática la humedad del modelo de combustible a la situación climática más adversa: día claro de sol sin nubes a mediados de agosto y a las 15 horas. Este cálculo se basa en las fórmulas del Servicio Forestal Canadiense (Anderson, K., 2009), en los que, según la insolación, temperatura, fuerza del viento, etc. es posible tanto el secado como la humectación instantáneos del combustible fino y muerto.

Otro aspecto importante de la aplicación ha sido el desarrollo de un sistema propio de cambio de unidades sin pérdida de precisión. Una de las dificultades con la que se enfrentaban los técnicos de SARGA era la obligación de introducir la mayor parte de los inputs en sistema anglosajón para finalmente volver a cambiar las unidades de los outputs a sistema internacional. Esto es debido a que la mayor parte de las fórmulas y aplicaciones informáticas del modelo han sido desarrolladas en Estados Unidos y Canadá y usan el sistema anglosajón. Con este sistema de cambio de unidades, los cambios de unidades son exactos e inmediatos, tan sólo con hacer un clic en la unidad deseada, e incluso el juego de unidades puede ser grabado y recuperado cuando el usuario lo requiera (Figura 4).

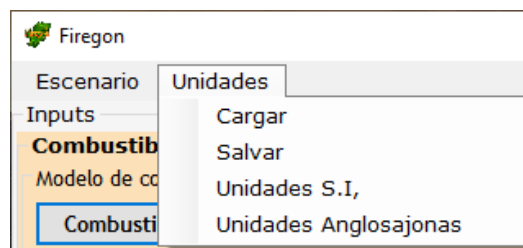


Figura 4. Menú de unidades

Si se desean guardar los resultados de la simulación actual para seguir trabajando sobre ella en otro momento, la aplicación también brinda la posibilidad de grabar

el escenario para cargarlo posteriormente. La grabación del escenario guarda todos los datos: datos de entrada, datos de salida y juego de unidades (Figura 5).

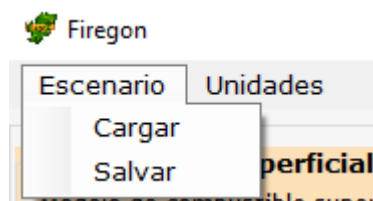


Figura 5. Menú de escenarios

Durante el proceso de desarrollo se han hecho varias pruebas con el cliente en los principales hitos del desarrollo y se ha utilizado su feedback para adaptar el software a sus necesidades.

5. Discusión

El desarrollo de aplicaciones forestales como Firegon facilita el uso de modelos científicos y los pone al alcance de técnicos y gestores forestales. Su sencillez de uso es tal que el usuario final sólo tiene que conocer los principales conceptos del modelo Rothermel para poder entender los resultados y poder tomar las decisiones adecuadas en base a los mismos.

Además, el desarrollo de librerías informáticas para reutilizar las funcionalidades principales del programa es importante para una empresa como föra, en la que el desarrollo de software forestal es clave en su actividad. En este sentido es importante señalar que Firegon no depende de software de terceros, por lo que puede ser mantenida y ajustada íntegramente por föra.

6. Conclusiones

El desarrollo de aplicaciones que ayuden en la gestión forestal es relevante para poder mejorar en la toma de decisiones. Especialmente en cuestiones tan delicadas como las que pueden incidir en mitigar los efectos de incendios forestales.

También es importante contar con librerías de cálculo basadas en estudios científicos para hacer herramientas cada vez más complejas y precisas, tanto si se usan dichas fórmulas o métodos de manera directa (como es el caso de Firegon) como para formar parte en aplicaciones más complejas en los que estos cálculos sólo sean un paso intermedio.

7. Agradecimientos

Los trabajos formaron parte del proyecto ForManRisk (Forest Management and Natural Risks), cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional dentro del Programa Interreg SUDOE 2014-2020.

8. Bibliografía

ALEXANDRIAN, D.; ESNAULT, F.; CALABRI, G.; 1999. Incendios forestales en el área del mediterráneo. Unasylva 50(197), 35-41

ANDERSON, K.; 2009. A Comparison of Hourly Fire Fuel Moisture Code Calculations within Canada. Canada Forest Service.

HEINSCH, F.A.; ANDREWS, P.L.; BEVINS, C.D.; 2002. BehavePlus, Systems of Environmental Management (SEM) with funding provided by the U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station; U.S. Forest Service, Fire and Aviation Management, Washington, DC; and the Joint Fire Science Program.



LÁZARO PALACIOS, M.Á.; CORTÉS RABINAD, F.J.; HERNÁNDEZ VILLAMAYOR, R.; LÓPEZ DEL RÍO, R.; MARTÍN MARTÍN, V.; 2016. Meteorología Sinóptica y comportamiento del fuego en Aragón. Dirección General de Gestión Forestal, Caza y Pesca; Servicio de los Incendios Forestales y Coordinación, Gobierno de Aragón.

ROTHERMEL, R.C.; 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. Res. Pap. INT-115. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 40 p.

SCOTT, J.H.; REINHARDT, E.D.; 2003. NEXUS, a crown fire hazard assessment system. Pyrologix. Width funding provided by USDI Interior Fire Coordination Committee Research Working Team, Seymour Johnson Air Force Base and US Forest Service, Rocky Mountain Research Station.