



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-438

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

El diagnóstico del peligro potencial y la evaluación económica del impacto de los incendios forestales, una integración a través del programa Visual-Seveif.

RODRÍGUEZ Y SILVA, FCO.¹, MOLINA MARTÍNEZ, J.R., ¹, RODRÍGUEZ LEAL, J.²

¹ Laboratorio de Defensa contra Incendios Forestales. Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes. Universidad de Córdoba, Edificio Leonardo da Vinci. Campus de Rabanales. 14071 Córdoba. Correo electrónico: ir1rosif@uco.es

²Facultad de Informática. Universidad de Sevilla.

Resumen

Las necesidades de fortalecimiento del paisaje forestal frente a los incendios forestales, requiere del análisis del territorio. Las decisiones operacionales para acometer la defensa contra los incendios, ha de basarse en estudios de diagnóstico que permitan identificar las diferencias en las propagaciones, así como el cambio neto en el valor de los recursos afectados por los desarrollos espaciales del fuego. Para ello, se ha desarrollado la integración informática del índice de peligro potencial con los algoritmos de evaluación económica del modelo SEVEIF. De esta forma se ofrece una herramienta de gran versatilidad, al permitir estudios de planificación territorial ante diferentes escenarios de propagación. Las utilidades de la herramienta se dirigen, tanto hacia la planificación preventiva, como al uso en tiempo real, facilitando ayuda en la toma de decisión en operaciones de extinción. Por otra parte, al funcionar Visual-SEVEIF (Rodríguez y Silva, et al. 2014) en base a coberturas vectoriales que definen la combustibilidad de las formaciones vegetales, se ofrece también interesantes opciones de estudio en relación con el tratamiento de los combustibles forestales al poder integrar en las simulaciones, los cambios en las variables que determinan el comportamiento fuego y en función de los resultados, definir las actuaciones de protección en zonas de especial importancia.

Palabras clave

Peligro potencial, evaluación económica, programación entorno Qt., simulación

1. Introducción

Los incendios forestales constituyen actualmente unos de los mayores problemas medioambientales, generando importantes consecuencias tanto en lo relativo a la afectación y deterioro del paisaje forestal, como en su depreciación y valoración económica y social. El abandono de los escenarios forestales, como áreas habitadas e intervenidas por las acciones de carácter antrópico relacionadas con la subsistencia y aprovechamiento energético, viene generando a lo largo de los últimos decenios, un incremento en la acumulación de biomasa altamente energética (Rodríguez y Silva y Molina, 2010). Circunstancia que acompañada de la acentuación de las condiciones climatológicas (Piñol et al., 1998), han provocado una elevación en el potencial energética emitido por el fuego y en consecuencia en la virulencia de los incendios forestales, representando ello un aumento de los daños provocados por el fuego sobre los recursos naturales y el medio circundante. Las necesidades de disponer de información de carácter estratégica, en relación a la potencialidad dinámica, energética y expansiva de las carreras de fuego, propició el inicio en el desarrollo de los simuladores tanto analíticos, como gráficos. El avance del conocimiento sobre la ciencia del fuego ha permitido abordar los estudios de predicción y simulación, facilitando ello su aplicación en las actividades de defensa contra los incendios forestales.

El modelo Visual-Seveif, ha sido determinado realizando la programación e integración del conjunto de algoritmos correspondientes al modelo SEVEIF (Molina. 2008), (Rodríguez y Silva et al. 2010), que fueron desarrollados para la determinación y evaluación del impacto del fuego en los recursos naturales en función de los niveles de intensidad emitidos por la propagación del incendio (figura 1).. La integración conseguida entre la simulación del comportamiento espacial de la propagación del fuego y los algoritmos del modelo SEVEIF, permite obtener en tiempo real la evaluación económica de las pérdidas en base a la depreciación post-fuego experimentada por los recursos naturales y servicios ambientales afectados. Desde el punto de vista socioeconómico, es necesario plasmar todos los recursos naturales en términos monetarios. La valoración de daños y perjuicios provocados por los incendios forestales requiere del estudio individualizado de cada uno de los recursos (tangibles e intangibles) y el cambio del valor neto de los mismos en relación a la severidad del fuego y a la resiliencia del ecosistema (Molina et al., 2009).

El reconocimiento y valoración de los recursos naturales es fundamental para la planificación espacio-temporal de las labores preventivas y de restauración post-fuego (Molina, 2008). La incorporación del concepto de vulnerabilidad extiende el estudio más allá de un trabajo de valoración económica, integrando dos conceptos, por un lado el valor del recurso y por otro el comportamiento del fuego. La integración de ambos conceptos se realiza mediante una matriz de ratios de depreciación en base a la intensidad de las llamas, denominada “matriz de depreciación” (Molina et al., 2011; Rodríguez y Silva et al., 2012).

2. Objetivos

El reconocimiento y evaluación de la potencialidad expansiva de las propagaciones, permite múltiples oportunidades en la determinación de acciones dirigidas tanto a la prevención como al mejor conocimiento de las oportunidades de extinción. De acuerdo con lo indicado anteriormente, y disponiéndose de algoritmos y modelos recientemente desarrollados para la determinación del peligro potencial de ocurrencia de incendios (Rodríguez y Silva et al. 2014) y evaluación del impacto económico de los incendios en los recursos naturales y servicios ambientales, modelo Seveif (Molina et al. 2009), (Rodríguez y Silva et al. 2014), el objetivo que ha motivado el presente trabajo ha sido la de realizar una integración de dichas herramientas en un único simulador, capaz de ofrecer resultados en relación con la simulación del comportamiento del fuego, la evaluación del peligro potencial en un determinado recinto (celdas, comarcas, rodales, etc.) y la determinación del impacto económico de los incendios sobre los recursos naturales y servicios ambientales afectados. El producto finalmente obtenido, constituye la versión avanzada del programa Visual-Seveif, herramienta que ofrece múltiples oportunidades para ayudar a la toma de decisión en la gestión de la defensa contra los incendios.

3. Metodología

El proceso seguido en la definición y desarrollo de la arquitectura operacional del programa Visual-Seveif, ha estado determinado por la inclusión en la plataforma informática de tres módulos algorítmicos fundamentales. En primer lugar, el correspondiente al motor de propagación del fuego, en segundo lugar al calculador espacializado del peligro potencial de ocurrencia de incendios forestales y por último el que conforma el evaluador del impacto económico que ocasiona el fuego en su propagación sobre los recursos naturales. A continuación se incluyen los fundamentos metodológicos que han sido consideradas para la conformación e integración de cada uno de los tres módulos indicados anteriormente.

I. Motor de propagación del fuego.

El algoritmo implementado es de tipo determinístico y trabaja sujeto a las condiciones de simulación por contagio y traslado de información de los procesos de la combustión pixel a pixel, de acuerdo a las leyes de progresión de fuegos forestales por combinación de los efectos direccionales que imponen el viento y la pendiente del escenario de la simulación. A nivel específico de cada pixel, la propia conformación topográfica, ya mencionada anteriormente, la tipología de los combustibles forestales en base a modelizaciones previamente elaboradas mediante el uso de herramientas cartográficas digitales (SIG), el estado de humedad y grado de protección que presentan los combustibles, aportan información de carácter fundamental para establecer los diferenciales de combustibilidad que presentan cada uno de los píxeles para propagar el fuego. La velocidad y dirección de máxima propagación en cada punto se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\varphi = (V_0 + V_i \cdot \cos W) \cdot t$$

donde,

(V_0): representa la velocidad de propagación con viento y pendiente cero.

(V_i): representa el incremento de velocidad en la dirección de máxima propagación debido a los efectos combinados del viento y de la pendiente.

φ , representa el radio de propagación desde el origen del incendio

W , representa el ángulo formado con la máxima dirección de propagación

$V_i > V_0$,

El módulo de propagación de fuego, trabaja en relación a la vegetación, mediante coberturas vectoriales de polígonos de combustibilidad, admitiendo tanto el sistema *Behave* de trece modelos agrupados en pastos, matorrales, hojarasca bajo arbolado y restos de operaciones selvícolas (Anderson, 1988) como la modelización avanzada de cuarenta tipos agrupados en pastos, pastos-matorrales, matorrales, hojarasca-pasto-matorrales, hojarasca y restos de operaciones selvícolas (Scott y Burgan 2005), (Rodríguez y Silva, Fco. y Molina Martínez J.R., 2010).

Además de la modelización de la propagación del fuego de superficie mediante la ecuación desarrollada por Rothermel en 1972, el motor de propagación también incluye la determinación de la intensidad crítica umbral (Kw/m) que en comparación con la intensidad lineal que viene desarrollando el fuego de superficie, permite evaluar la posibilidad de la transición del fuego de superficie a la copa de los árboles (Van Wagner, 1977), tanto por antorcheo individualizado, como por propagación continua de copa posterior. La información generada tras la realización de este comparativo de intensidad energética, determina el movimiento del fuego en superficie y/o en el dosel. La propagación a través de la copa del rodal afectado, es determinada mediante una armonización matemática que pondera los resultados de propagaciones de este tipo de propagaciones, mediante la metodología generada por el USDA Forest Service (Rothermel, 1991), (Finney, 1998) y la obtenida por el *Crown Fire Experiment* (Cruz et al. 2006). Dicha armonización matemática además, ha sido ajustada con medición y monitoreo directo de carreras de fuego en propagación de copas generadas en incendios forestales registrados en España entre los años 1991 y 2015.

Con relación a la estructura informática y su programación, el simulador Visual-Seveif ha sido programado en el entorno Qt. Este entorno permite realizar desarrollos multiplataforma, por lo que se dispone de versiones de Visual-Seveif tanto para Windows (XP, Vista, 7, 8 y 10) así como para distintas versiones de Linux. El uso de este nuevo entorno también ha permitido incorporar los últimos estándares del lenguaje C++, usando en esta ocasión C++11, lo que ha facilitado la programación paralela y por tanto una mayor aprovechamiento de las capacidades de los ordenadores actuales, al sacar partido de los diversos núcleos que hoy día componen las CPUs. Por último, el uso del entorno Qt ha permitido internacionalizar el simulador Visual-Seveif, permitiendo seleccionar el idioma de trabajo desde los propios menús del simulador. El tratamiento de la información se realiza píxel a píxel, usando la resolución proporcionada por la cartografía de combustibles y el MDT suministrado. Los valores de dirección e intensidad del viento se pueden

suministrar tanto como valores constantes para todo el territorio, como mediante el suministro de cartografía de campos de viento, como las proporcionadas por el programa Wind-Ninja. Tanto de una forma como de otra, el simulador permite suministrar valores distintos durante la evolución temporal del incendio. De esta manera se pueden simular incendios en los que las características del viento cambian durante el desarrollo del mismo. El entorno gráfico ha sido también tenido en cuenta al objeto de facilitar mayores opciones cartográficas, pudiendo realizarse la simulación sobre coberturas ráster del mapa topográfico a diferentes escalas. Permite la exportación de los perímetros en formato ráster y vectorial, así como la importación de perímetros de incendios o áreas del territorio, medidos con GPS e igualmente en formato vectorial.

II. Motor de evaluación del peligro potencial

La evaluación de la peligrosidad de ocurrencia de incendios forestales, permite analizar a escala de paisaje y de forma diferenciada, la predisposición de los combustibles al inicio, propagación y emisión energética como consecuencia del desplazamiento espacial del fuego. El índice de peligro potencial es el resultado de la suma de tres componentes. Mediante el subíndice de ignición (I_g) se determina la facilidad que representan las acumulaciones de restos vegetales finos muertos para entrar en combustión tras la aplicación de una fuente de calor. Mediante el subíndice de comportamiento dinámico se evalúa la mayor o menor facilidad que tienen los combustibles afectados por la ignición para dar continuidad a las reacciones de oxidación en función de su propia combustibilidad, de la influencia que reciben de la pendiente del terreno, y de la velocidad del viento es pues, un indicativo de la materialización de la evolución espacial que presenta el frente activo en los estadios iniciales de la propagación.

El último componente del modelo, denominado subíndice energético, incluye las salidas que identifican las características propias de la emisión energética que permite la continuidad de la propagación. Es decir, el calor por unidad de área y la longitud de llama. La intensidad lineal del frente de avance, al responder como función inversa de la expresión matemática de la longitud de llama, se considera implícitamente recogida en la información que proporciona ésta. Los datos de entrada para la determinación del peligro potencial son proporcionados por el motor de comportamiento del fuego generados en cada simulación que sea desarrollada a través del programa Visual-Seveif. Dichos datos son convertidos a valores adimensionales mediante la asignación automática de pesos de importancia graduados de 1 a 10, que el programa incluye. Las expresiones que componen el índice de peligro potencial (Rodríguez y Silva, et al. 2014) se indican a continuación (figura 2).

$$I_{ig} = \left[\sum_1^n P_{Imi} \cdot C_{Imi} \cdot A_i \cdot S_i / Stc \right], I_{cd} = \left[\sum_1^n CD_{mi} \cdot S_i / St \right]$$

$$I_{ce} = \sum_1^n \left[2 \cdot I(AI) \cdot I(Cs) / (I(AI) + I(Cs)) \right] \cdot S_i / Stc$$

$$I_{pp} = I_{ig} + I_{cd} + I_{ce}$$

Figura 2. Ecuaciones del índice de peligro potencial IPP

Donde:

(I_{ig}): representa el índice de ignición.

(A_i): representa el factor de inflamabilidad (determinado a partir de la abundancia (sumatorio) de especies inflamables multiplicado por el índice de inflamabilidad (tablas de inflamabilidad, valor (1 a 5)) de cada una de ellas, ponderado a la superficie de estudio.

- (Icd): representa el índice de comportamiento dinámico de la propagación tras la ignición
- (Pimi): representa el peso correspondiente a la probabilidad de ignición del modelo de combustible (mi)
- (Si): superficie que ocupa el modelo (mi) en el polígono de análisis.
- (Sct): superficie total forestal del polígono de análisis.
- (Cimi): coeficiente de ignición característico de cada modelo.
- (Cdmi): peso asignado según tabla para la velocidad de propagación
- (Ice): índice de comportamiento energético.
- l(AI): representa el peso de la longitud de llama
- l(Cs): representa el peso del calor por unidad de área desarrollado por el fuego en su propagación

La integración del motor de evaluación del peligro potencial en el programa informático Visual-Seveif, permite de forma automática conocer de forma diferenciada la predisposición espacializada de la dinámica y energética que genera la cobertura vegetal existente en el escenario forestal que se analiza. Ello ofrece extraordinarias posibilidades para, en base a los resultados obtenidos, establecer prioridades en relación con el programa de defensa contra incendios forestales (figuras 3 y 4).

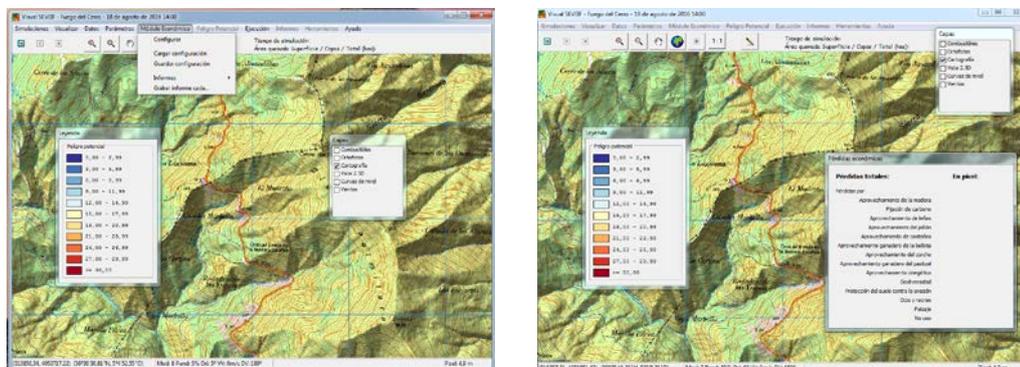


Figura 3. Pantallas de activación de los motores de Peligro Potencial y Evaluación Económica

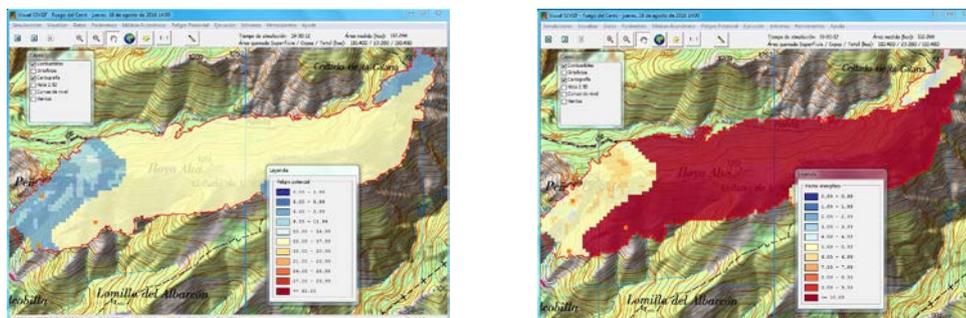


Figura 4. Pantallas de resultados del motor de Peligro Potencial. Se muestran las ventanas correspondientes a los subíndices de ignición y comportamiento energético

III. Motor de evaluación del impacto económico

La evaluación económica de los daños y perjuicios que genera el fuego como consecuencia de la propagación es determinada por el programa Visual-Seveif, mediante un proceso que combina de forma simultánea, la evaluación económica de los recursos naturales y los servicios ambientales existentes en la zona en estudio, (recursos naturales tangibles e intangibles) y la depreciación económica que dichos recursos sufren por efecto del incendio. Este procedimiento metodológico

requiere previamente de la incorporación de los diferentes inputs que son necesarios para poder realizar los cálculos de los diferentes algoritmos que en el modelo Seveif (Molina et al, 2009) (Rodríguez y Silva et al. 2010, 2013) permiten determinar las pérdidas económicas ocasionadas por el incendio. Para ello, el programa incluye una serie de ventanas a través de las cuales se establece el diálogo con el usuario, lo que permite generar la correspondiente cobertura de carácter económico.

El procedimiento metodológico para la valoración del impacto sobre el recurso maderero se basa en un algoritmo integrador de las herramientas de valoración, que incluyen tanto la procedencia de origen natural como artificial del arbolado (Rodríguez y Silva et al., 2012). La valoración de los recursos no madereros se fundamenta en las expresiones del Manual de Valoración de Pérdidas y Estimación del Impacto Ambiental por Incendios Forestales (Martínez Ruíz, 2000). La evaluación del impacto sobre el recurso cinegético se realiza a través de la adaptación propuesta en Zamora et al., 2010. La valoración de los servicios ambientales incluye un total de seis recursos: paisaje, ocio, no uso, fijación de carbono, control erosivo y biodiversidad faunística (Molina et al. 2009).

La evaluación económica en relación con el control de la erosión es determinada en renta económica afectada en base a la cantidad potencial de suelo perdido por unidad de superficie. La expresión utilizada para la valoración incorpora un sumando en relación con las pérdidas sufridas durante las primeras lluvias (suelo desnudo) y un segundo sumando que incluye las pérdidas de suelo progresivas hasta la recuperación de una vegetación con similar protección a la quemada (Molina et al., 2009). La valoración de la biodiversidad faunística o de especies singulares se realiza mediante el coste de los programas de recuperación de las especies, o en caso de no disponer de programa específico, mediante el método de la valoración contingente (Molina, 2008). La Identificación espacial de los diferentes niveles de afectación y del cambio neto en el valor de los recursos, requiere de la determinación de las pérdidas en los recursos naturales, tanto tangibles como intangibles, lo que por diferencia al valor económico de partida en cada recurso, permite conocer el valor remanente, es decir el "cambio neto en el valor de los recursos" (Rodríguez y Silva y González-Cabán. 2010). Este concepto requiere de la incorporación de la depreciación de los recursos en base al nivel de intensidad del fuego (NIF). La asignación de la depreciación de cada recurso en función del nivel de intensidad del fuego se realiza en base a ratios de depreciación o niveles porcentuales, dada su mayor sencillez y aplicabilidad práctica (Rodríguez y Silva et al. 2013, 2014).

Los niveles de depreciación de los recursos naturales fueron obtenidos por levantamiento parcelas circulares de 10 m de radio para diferentes tipologías vegetales y grados de afectación en los siguientes incendios: Huetor (1993), Aznacollar (1995), Estepona (1995), Los Barrios (1997), Cazorla (2001, 2005), Aldeaquemada (2004), Minas de Rio Tinto (2004), Alajar (2006), Gaucin (2006), Obejo (2007), Orcera (2009), Cerro Vértice (2011), Mijas (2012) y Coín (2013). En ellas fueron, en base a la mortalidad del arbolado y al nivel de consumo de la biomasa aérea a partir de mediciones efectuadas en árboles quemados y no quemados con similares características dendrométricas, determinadas las interrelaciones causa-efecto derivadas de la intensidad lineal del fuego evaluado a través de la longitud de llama. La valoración económica de los daños erosivos, o conversión de biomasa pérdida a unidades monetarias, se determinó en base al estudio realizado en el incendio de Obejo (2007), donde se analizaron los costes asociados a la pérdida de diferentes cantidades de suelo (toneladas por hectárea). A través de los proyectos de investigación FIREMAP(2002), SINAMI (2004) e INFOCOPA (2009), fueron determinados en el Laboratorio de Defensa contra Incendios Forestales de la Universidad de Córdoba (LABIF-UCO), los ratios de depreciación para estos bienes mediante las técnicas de preferencias sociales y de percepción del paisaje por comparación entre un territorio pre y post-quemado. En función del comportamiento del fuego, el programa Visual-Seveif, determina para cada recurso su ratio de depreciación y lo aplica sobre el valor económico, devolviendo tanto el montante en euros por hectárea de las pérdidas económicas ocasionadas por el incendio, como por diferencia con el valor económico inicial, el

cambio neto en el valor de cada recurso afectado. La suma de las afectaciones económicas individuales en los recursos existentes en el interior del perímetro del incendio, proporciona el balance final de las pérdidas ocasionadas por el incendio en cuestión (figura 5).

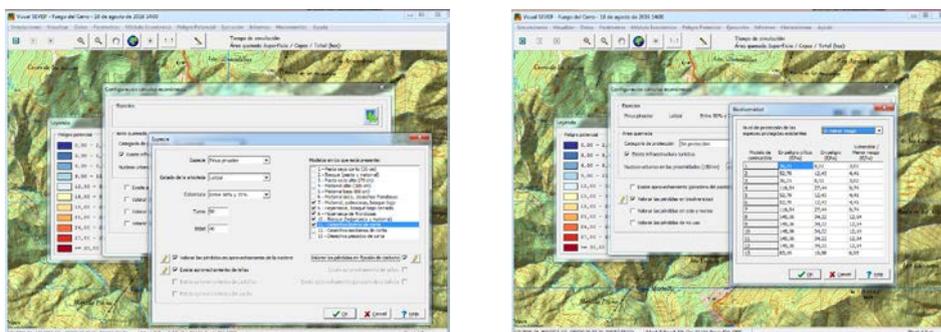


Figura 5. Pantallas del motor de Evaluación Económica, en las que se insertan los inputs para la evaluación del recurso madera y biodiversidad

4. Resultados

El programa Visual-Seveif, proporciona resultados que ofrecen tras la simulación, la información de las condiciones generadas por el comportamiento del fuego en cada pixel, en términos de la velocidad de propagación (m/min), intensidad lineal (kw/m), longitud de llama (m) y el calor por unidad de área (kjul/m²), los resultados obtenidos son reutilizados por el propio programa para evaluar de forma geo-referenciada el peligro potencial de ocurrencia de incendios así como las pérdidas económicas (€/ha). Los resultados son mostrados de forma numérica y mediante ventanas emergentes que traducen e interpretan los diferentes colores por graduación diferenciada de niveles en la diferentes variables que conforman el conjunto de output generados en la simulación. La secuencia de fases en el proceso de cálculo algorítmico que realiza el programa Visual-Seveif, es la siguiente:

- 1.- Determinación del comportamiento del fuego y del peligro potencial derivado de éste
- 2.- Determinación de la proporción de cada uno de los recursos naturales en cada pixel
- 3.- Introducción de los inputs incluidos en cada uno de los algoritmos de evaluación económica
- 4.- Determinación por cada pixel del nivel de intensidad de fuego y del grado de afectación
- 5.- Selección del porcentaje de reducción del valor económico de cada recurso, de acuerdo a la matriz de depreciación
- 6.- Cálculo de los algoritmos de valoración económica de cada uno de los recursos naturales
- 7.- Presentación de resultados finales de cálculo de la vulnerabilidad económica de los recursos con identificación de los valores monetarios de las pérdidas y la representatividad con relación a la superficie total afectada por el incendio

Las utilidades pueden ser consideradas tanto en tiempo real, siempre que sea necesario conocer las expectativas de las tendencias expansivas de un determinado incendio en curso, como en la realización del análisis post-incendio. En esta segunda opción, el programa Visual-Seveif, al incluir la herramienta de importación de contornos vectoriales, permite visualizar el perímetro final del incendio y con ello se abren interesantes opciones dirigidas a la reconstrucción del comportamiento del fuego y el análisis de los resultados obtenidos por los distintos planes de ataque aplicados para conseguir la extinción. De los resultados obtenidos mediante la simulación, se puede construir una base de datos en la que se pueden interrelacionar la superficie afectada simulada en evolución libre de la propagación dinámica es decir, sin la inclusión de acciones de combate, y la superficie real final obtenida tras la extinción del incendio. El cociente entre ambas superficies determina la tasa de control de propagación y su valor en diferencia con la unidad proporciona el *factor de contracción superficial* FCS (Rodríguez y Silva, González-Cabán, 2016). Este parámetro facilita la elaboración de

bases informativas acerca de las experiencias registradas en los planes de extinción elaborados y aplicados. Ello permite disponer de un archivo de consultas de aquellos incendios que puedan ocurrir en un futuro y evolucionen bajo condiciones ambientales similares. Sin duda los estudios de eficiencia sobre los resultados de las operaciones de extinción ayudarán en la definición de las opciones presupuestarias y los mejores resultados en la planificación de la defensa contra los incendios forestales (Rodríguez y Silva, González-Cabán, 2016).

5. Discusión

La aplicación del programa Visual-Seveif, permite la determinación inmediata del impacto económico que ocasionan los incendios forestales. El beneficio de las utilidades que aporta esta herramienta combinada, capaz de evaluar la peligrosidad potencial y la depreciación económica de los recursos naturales y servicios ambientales afectados, es tanto mayor cuanto mayor es la dimensión de la superficie afectada. La alta complejidad y demora que supone el levantamiento de los datos necesarios para realizar la valoración de los daños y perjuicios por métodos convencionales basados en monitoreo de campo y cálculos matemáticos, contrasta con la alta rentabilidad y ahorro de tiempo y costes que representa realizar dichas evaluaciones, mediante el programa Visual-Seveif a partir de la capa vectorial correspondiente al perímetro final del incendio. Las valoraciones integrales de los daños y perjuicios por incendios forestales arrojan resultados sorprendentes. No en vano, los recursos tangibles sólo representan una parte del total de los impactos económicos sobre las áreas quemadas (Molina 2008; Molina et al., 2009). En el caso del incendio de “Cerro Catena 2009 (Jaén)”, su localización estratégica dentro de un Parque Natural de gran afluencia turística le confiere gran importancia a los bienes paisajísticos. A pesar de que se trata de montes sin infraestructura de ocio y recreo, no implica su posibilidad de uso futuro, valor de no uso. En este sentido y tal como recomiendan otros autores (Borchet et al., 2003; Vélez, 2009; Rodríguez y Silva y González-Cabán, 2010; Molina et al., 2011), la valoración de daños y perjuicios no debe obviar la multifuncionalidad de los montes mediterráneos y reducirla únicamente a las pérdidas sobre el recurso maderero.

Los resultados obtenidos tras la aplicación del programa Visual-Seveif a los recursos naturales y servicios ambientales afectados por el incendio de Cerro Catena, señalaron al recurso de “no uso” como el de mayor importancia (217.865 €). Dado el carácter natural de las masas de *P.pinaster* afectadas, y su longevidad (superior a los 100 años en algunos rodales), el recurso maderero también alcanzó un gran valor (194.093,17 €). El tercer recurso en orden de importancia fue la fijación de carbono, dada la gran cantidad de biomasa aérea de los bosques afectados (69.137,71 €). El valor total de los recursos de los montes afectados por el incendio fue de 661.328,19 €, lo que representa en términos de afectación económica por unidad de superficie un valor de 3164,25 €/ha. Los bienes paisajísticos (recurso paisaje, ocio y recreo y no uso) supusieron el 45,33% del valor de los montes afectados, seguidos por los recursos tangibles (maderero, aprovechamiento de leñas y cinegético) los cuales constituyeron el 39,85%. La ordenación de los montes de la zona afectada por el incendio de Catena, ha perdido el objetivo primario de antaño, la producción de madera, y el secundario, la producción de resina. Su gestión debe fundamentarse en la multifuncionalidad, con alta incidencia en la conservación y puesta en uso del paisaje. La fijación de carbono representa recurso de alta potencialidad en la búsqueda de eficiencia económica. La utilización del criterio de vulnerabilidad en contra del clásico de valoración, responde a la necesidad de una herramienta de gestión que incorpore la incidencia de la mayor perturbación mediterránea, los incendios forestales, en la priorización de actuaciones o elaboración de índices de riesgo (Rodríguez y Silva et al, 2009).

6. Conclusiones

El reconocimiento y valoración de los ecosistemas forestales es fundamental para la planificación espacio-temporal de los programas de defensa contra incendios forestales y manejo del fuego. La importancia de disponer de un modelo evaluador de la peligrosidad potencial de ocurrencia de incendios forestales y de los impactos socioeconómicos, basado en el diagnóstico especializado

del comportamiento del fuego, abarca un amplio rango de posibilidades, facilitando las labores de prevención, capitalización de la experiencia derivada de las operaciones de extinción y diseño de las medidas de reducción del impacto de los incendios. La integración de los tres motores de cálculo y evaluación recogidos en este trabajo, comportamiento del fuego, peligro potencial y evaluación económica, conforman en el programa Visual-Seveif, una avanzada herramienta de ayuda a la toma de decisión altamente polivalente.

7. Agradecimientos

Los autores manifiestan su agradecimiento al proyecto GEPRIF (RTA2014-00011-C06-01), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). De igual modo, manifiestan su agradecimiento a la dirección del Plan INFOCA de la Junta de Andalucía (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio), por el acceso a las bases de datos y el apoyo en los trabajos de monitoreo de campo y de investigación que han sido necesario realizar en la consecución de los objetivos de este trabajo.

8. Bibliografía

ANDERSON, HE.; (1982). Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA Forest Service Res Pap INT-122

CRUZ, M.G., BUTLER, B.W., ALEXANDER, M.E., FORTHOFFER, J.M., WAKIMOTO, R.M.; 2006. Predicting the ignition of crown fuels above a spreading surface fire. Part I: model idealization. Int. J. Wildl. Fire 15, 47e60.

FINNEY, MA.; 1998. FARSITE: fire area simulator model development and evaluation. USDA For Serv. Res. Pap. RMRS-RP-4

MARTÍNEZ RUIZ, E.; 2000. Manual de Valoración de Montes y Aprovechamientos Forestales. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

MOLINA, J.R.; HERRERA M.A.; ZAMORA R.; RODRÍGUEZ Y SILVA F.; GONZÁLEZ-CABÁN A.; 2011. Economic losses to Iberian Swine production from forest fires. Forest Policy and Economics 13: 614-621.

MOLINA, J.R.; RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; HERRERA, M.A.; ZAMORA, R.; 2009. A simulation tool for socio-economic planning on forest fire suppression management. Forest Fires: Detection, Suppression and Prevention. Nova Science Publishers. USA.

MOLINA, J.R.; 2008. Integración de herramientas para la modelización preventiva y socioeconómica del paisaje forestal frente a los incendios en relación con el cambio climático. Tesis Doctoral.

PIÑOL, J.; TERRADAS, J.; LLORET F.; 1998. Climate Warming, Wildfire Hazard, and Wildfire Occurrence in Coastal Eastern Spain. Climatic Change 38(3): 1480-1573.

RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; 2009. Econosinami, una herramienta informática para la evaluación económica de los programas de defensa contra incendios forestales. 5º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales. www.secf.org

RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; MOLINA J.R.; HERRERA M.A.; ZAMORA R.; 2009. The impact of fire and the socioeconomic vulnerability of forest ecosystems: A methodological approach using remote sensing and geographical information systems. General Technical Report PSW-GTR-227. Pacific Southwest Research Station. Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 151 - 168.

RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; GONZÁLEZ-CABÁN, A.; 2010. "SINAMI": a tool for the economic evaluation of forest fire management programs in Mediterranean ecosystems. *International Journal of Wildland Fire* 19: 927-936.

RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; MOLINA, J.R.; 2010. Manual Técnico para la Modelización de la Combustibilidad asociada a los Ecosistemas forestales Mediterráneos. Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. Córdoba. España. www.franciscorodriguezsilva.com

RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; MOLINA, J.R.; GONZÁLEZ-CABÁN, A.; HERRERA, M.A.; 2012. Economic vulnerability of timber resources to forest fires. *Journal of Environmental Management* 100: 16-21.

RODRÍGUEZ Y SILVA, F., MOLINA J., HERRERA M., RODRÍGUEZ J.; 2013. VISUAL-SEVEIF, a Tool for Integrating Fire Behavior Simulation and Economic Evaluation of the Impact of Wildfires. General Technical Report PSW-GTR-245. Pacific Southwest Research Station. Forest Service, U.S. Department of Agriculture; 163 - 178.

RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; MOLINA, J.R.; GONZÁLEZ-CABÁN, A.; 2014. A methodology for determining operational priorities for prevention and suppression of wildland fires. *International Journal of Wildland Fire*. Vol.23 (4). <http://dx.doi.org/10.1071/WF13063>

RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; GONZÁLEZ-CABÁN A.; 2016. Contribution of suppression difficulty and lessons learned in forecasting fire suppression operations productivity: a methodological approach. *Journal of Forest Economics*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfe.2016.10.002>

ROTHERMEL, R.C.;1991. Predicting behavior and size of crown fires in the Northern Rocky Mountains. Research Paper INT-438. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, USA. 46 pp.

ROTHERMEL, RC.; 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service General Technical Report INT-115. Ogden, UT

SCOTT, J.H.; BURGAN, R.E.; 2005. Standard fire behaviour fuel model: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. General Technical Report INT-153. Ogden, UT

VAN WAGNER, CE.; 1977. Conditions for the start and spread of Crown fire. *Can J Forest Res* 7:23-24

ZAMORA, R.; MOLINA, J.R.; HERRERA, M.A.; RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; 2010. A model for wildfire prevention planning in game resources. *Ecological Modelling* 221: 19-26