



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
juliol · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

AppERIIF, una herramienta para la rápida evaluación del impacto económico por incendios forestales en los recursos naturales.

RODRÍGUEZ Y SILVA, FCO.¹, VIDA LUCENA A.¹, MOLINA MARTÍNEZ, J.R., ¹

¹ Laboratorio de Incendios Forestales. Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba, Email: ir1rosif@uco.es

Resumen

La evaluación económica de las áreas afectadas por incendios forestales representa una tarea de importancia y no fácil, máxime cuando la superficie recorrida por el fuego resulta ser extensa y en la misma se encuentran presentes tanto recursos naturales tangibles, como intangibles. Con los avances en la economía ambiental y la disponibilidad de herramientas para monitorear el comportamiento del fuego, los procedimientos de cálculos y contabilidad del impacto económico han experimentado en los últimos años importantes desarrollos (Rodríguez y Silva et al. 2013, 2017). Por otra parte, en la actualidad se ha producido un importante incremento de herramientas desarrolladas para ayudas en la toma de decisión, que disponibles bajo el sistema operativo Android, ofrecen vía telefonía móvil, innumerables oportunidades de uso dada la portabilidad y las actuales ventajas de conexión a internet. De acuerdo con ello en este trabajo se presenta la herramienta “Evaluación Rápida del Impacto Económico por Incendio Forestal (AppERIIF)”, que integra el nivel de intensidad del fuego con la evaluación algorítmica del valor económico de los recursos afectados y en función de la depreciación ocasionada por el fuego, proporciona el cambio neto por hectárea en el valor individualizado de los recursos afectados.

Palabras clave

Evaluación económica, nivel de intensidad del fuego, depreciación, Smartphone.

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 las alteraciones climáticas, han provocado una elevación en el potencial energético 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.

¹ Laboratorio de 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.

La herramienta AppERIIF, 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 el comportamiento del fuego y los algoritmos del modelo SEVEIF, permite obtener por hectárea y en tiempo real la evaluación económica de las pérdidas a partir de la depreciación post-fuego experimentada por los recursos naturales afectados.

El paisaje forestal se caracteriza por la extraordinaria relevancia de las externalidades que comportan perjuicios o beneficios a terceros de considerable magnitud. 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

En la idea de proporcionar una herramienta de uso versátil, ha sido realizada una integración de los algoritmos de evaluación de las pérdidas y cambio neto en el valor de los recursos naturales tanto de carácter tangible, como intangible por efecto del impacto de los incendios forestales, en plataformas de cálculo de alta portabilidad, como son los actuales y avanzados Smartphone, así como en la nueva generación de ordenadores, tanto de sobremesa como portátiles.

De acuerdo con lo indicado anteriormente, y disponiéndose de algoritmos y modelos recientemente desarrollados para la determinación 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 el de realizar una integración informática de los algoritmos evaluadores en una aplicación App, capaz de ofrecer resultados por hectárea del impacto económico de los incendios sobre los recursos naturales afectados. El producto finalmente obtenido conforma una herramienta utilizable tanto en sistema operativo Windows10 como en Android, ello implica que las evaluaciones pueden ser realizadas tanto en PC como en teléfonos móviles. Ello ofrece múltiples oportunidades para ayudar a la toma de decisión en la gestión de la defensa contra los incendios, con una extraordinaria movilidad y prontitud de cálculos y evaluaciones.

3. Metodología

El proceso seguido en la definición y desarrollo de la arquitectura operacional de la aplicación AppERIIF, ha estado determinado por la inclusión en la programación informática de un conjunto de módulos dirigidos a la determinación de la evaluación económica por cada uno de los recursos naturales considerados en el modelo SEVEIF.

En la determinación del impacto económico por efecto del fuego, los cálculos requieren de la inclusión por parte del usuario de la longitud de llama de carácter modal que por unidad de hectárea identifica el comportamiento energético del fuego, a fin de seleccionar en la matriz de depreciación, el

factor de depreciación en el valor económico del recurso natural y de esta forma poder relacionarlo con la ecuación de evaluación de los daños y pérdidas que se generan.

Con relación a estructura informática y su programación, la AppERIIF ha sido desarrollada para su uso utilizando las opciones de dos sistemas operativos, Windos10 y Android. Las ecuaciones y ventanas de usuario han sido programadas en Java y con estructura de bases de datos Sqlite. El diseño funcional y operativo permite el uso compartido y la exportación de la información. Los resultados obtenidos de evaluación del impacto económico en €/ha del recurso natural considerado, pueden ser enviados a través de internet (correo electrónico, WhatsApp, mensaje, etc).

El conjunto de recursos naturales y servicios ambientales que han sido incluidos en la AppERIIF, son los disponibles en el modelo SEVEIF y se corresponden con los siguientes: madera, arbolado (leña y frutos), corcho, aprovechamiento cinegético, pastoreo, biodiversidad, paisaje, erosión y fijación de carbono (figura nº 1).



Figura 1. Pantalla de acceso a la AppERIIF.

La evaluación económica de los daños y perjuicios que genera el fuego como consecuencia de la propagación es determinada por la aplicación AppERRIF, 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, la AppERRIIF incluye una serie de ventanas a través de las cuales se establece el diálogo con el usuario, lo que permite incorporar los valores de entrada para generar la correspondiente evaluación del impacto económico. La valoración económica de los recursos naturales considerados comprende a los recursos tangibles, servicios ambientales y bienes paisajísticos. La valoración de los recursos tangibles incluye productos madereros y productos no madereros. 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) (figura nº2).

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 la fijación de carbono comprende tanto la cantidad fijada en el momento del incendio como la cantidad sin fijar a partir de dicho momento, y en consecuencia, requiere del volumen con corteza, biomasa aérea e incremento anual (tabla 1). La cantidad de carbono correspondiente a la biomasa seca se estima en el 50%.

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 (tabla 1) 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).

Tabla 1. Formulaciones matemáticas utilizadas para la valoración económica en Visual-Seveif programadas en la AppERIIIF.

Recurso	Fórmula	Estado del recurso	Fuente
Madera	$V_{mad} = (1,7 * E * B) / (E + 0,85 * B)$	Maduro e inmaduro	Rodríguez y Silva et al., 2012
	$E = C_0 * p [i^n + g(i^n - 1)] + A * (i^n - 1)$	Inmaduro	
	$E = (C_0 * t [i^n + g(i^n - 1)] + (C_0 / z) * 0,5 * (i^n - 1))$	Latizal	
	$E = [P * V * P_1 * V_1] + P * V [(i^{(t-1)} - 1) / (i^{(t-1)} - 1)]$	Fustal	
	$B = [(V * P * 1,025^t / 1,04^t) * [1 - (1,025 / 1,04)^t] * [1 + X * h * p]$	Inmaduro	
	$B = V * h * [R * P + (1 - R) * P_1]$	Maduro	
Aprovechamiento de leñas	$V_{leñas} = P_1 * R_1 * [(1+i)^n - 1] / (i * (1+i)^n)$	Maduro	Martínez, 2000; Molina et al., 2011
Cinegético	$V_{cin} = P_1 * R_1 * [(1+i)^n - 1] / (i * (1+i)^n) + S$	Coto de caza	Zamora et al., 2010
Fijación de carbono	$V_{carb} = CF * PM + IF * PM * RC * [(1+i)^t - 1] / (i * (1+i)^t)$	Masa arbolada	Molina, 2008
Control de la erosión	$V_{eros} = R_1 * P_1 + R_2 * P_2 [(1+i)^n - 1] / (i * (1+i)^n)$	-	Molina et al., 2009
Biodiversidad faunística; Recurso paisajístico; Recurso ocio y recreo; Recurso no uso	$V_{biod/pais/ocio/recreo} = R_x * [(1+i)^n - 1] / (i * (1+i)^n)$	Presencia especies singulares	Molina, 2008

donde,

“E” es la valoración del recurso madera en base al planteamiento tradicional español (€/ha), “B” es la valoración maderera adaptada del modelo americano (€/ha), “Co” es el coste de repoblación de una hectárea de terreno (€/ha), “p” es el porcentaje de la masa afectada por el fuego, “i” es el tanto por uno de interés anual, “g” es anualidad dependiente del turno de la especie, “A” es el valor de una hectárea de suelo sin arbolado (€/ha), “e” es la edad estimada de la masa en el momento del incendio, “V” es el volumen de madera expresado en m³/ha, “P” es el precio del m³ de madera apeada (€), “n” es el número de años que restan hasta el hipotético turno de corta, “X” es el coeficiente de mortalidad dependiente de la severidad de las llamas, “h” es el porcentaje de la especie en el dosel, “z” es la reducción del coste de repoblación por el fenómeno autorregenerativo

en función del turno, " P_1 " es el precio de la madera dañada con aprovechamiento comercial (€/m³), " V_1 " es el volumen de madera dañada con aprovechamiento (m³/ha), " P_x " es el precio por unidad de medida del recurso (€), " R_x " es la renta anual por unidad de superficie, " S " es el stock reproductivo por unidad de superficie (€), " CF " es la cantidad de CO₂ retenida en el momento del incendio (t/ha), " PM " es el precio de la tonelada fijada (€/t), " IF " es el incremento anual de CO₂ retenido (t/ha), " RC " es la renta generada al fijar una tonelada de carbono en un año (€), " R_1 " es la cantidad de suelo media perdida el primer año (t/ha), " P_1 " es el precio estimado para la tonelada (€), " R_2 " es la cantidad de suelo media perdida hasta la recuperación de la cobertura original (t/ha).

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)

En el caso de la biodiversidad, la valoración de daños se realiza en base al "valor subrogado" del gobierno (programas de recuperación y/o conservación) o al valor concedido por la población (valoración contingente). Los valores obtenidos para este recurso incluyen ajustes en base a los costes post-fuego invertidos por las administraciones responsables, para evitar la huida y migración de las especies mediante medidas de suplementación de alimento, eliminación de depredadores, reducción de competencia, (Molina, 2008). Los ratios de depreciación de los bienes relacionados con el ocio-recreo, paisaje y no uso son complicados de validar. 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.

4. Resultados

Las utilidades pueden ser consideradas tanto en tiempo real, siempre que sea necesario conocer las expectativas crecimiento del impacto económico de un determinado incendio en curso, como en la realización del análisis post-incendio. Sin duda, la opción de cálculos y re-cálculos en la evolución expansiva de un determinado incendio, puede ofrecer novedosas oportunidades estratégicas para decidir las prioridades en las acciones de supresión. De los resultados obtenidos mediante los cálculos realizados con la aplicación AppERIIF, se puede construir una base de datos lo que facilita la elaboración de tablas informativas acerca de las experiencias registradas en los planes de extinción elaborados y aplicados. Ello permite disponer de un archivo de consultas de impactos potenciales en aquellos incendios que puedan ocurrir en un futuro y evolucionen bajo condiciones ambientales similares.

La integración de los algoritmos de evaluación económica en la arquitectura de la aplicación AppERIIF, ha posibilitado el cálculo de las pérdidas económicas, y su uso abre una ventana a la posibilidad de realizar cálculos y relaciones que vinculen las operaciones de extinción y sus costes, con el valor de los recursos naturales y las pérdidas económicas derivadas de las propagaciones. 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).

4.1. Recurso madera

La pantalla de usuario para el cálculo del impacto económico en el recurso madera, incluye las diferentes variables que conforman la ecuación de evaluación del impacto económico y que descritas en el modelo SEVEIF, se incluye en la tabla 1 insertada en el epígrafe de la metodología (figura nº 2). La valoración del recurso maderero requiere del conocimiento del cambio de valor neto del mismo, como consecuencia de la afección de las llamas. La cantidad de madera muerta con capacidad de aprovechamiento tras el paso del fuego se puede fijar en un 40% del total dañada, aunque dependerá de la intensidad del fuego. Este valor medio es fruto de los señalamientos y cubicaciones de madera efectuados en los trabajos de saca y restauración en grandes incendios acontecidos en Andalucía en el último decenio. El porcentaje de mortalidad de la masa tras el paso del fuego y de mortalidad posterior del arbolado dañado parcialmente tras el fuego (“coeficiente de mortalidad”) se estimaron en función del Nivel de Intensidad del Fuego (NIF). La aplicación AppERIIF requiere que por parte del usuario sea previamente determinada la longitud de llama como parámetro del comportamiento del fuego modelador de los daños y perjuicios. La longitud de llama puede obtenerse mediante mediciones “in situ” (valoraciones post-fuego) o de simulaciones del comportamiento de fuego potencial, realizadas con alguno de los simuladores y herramientas disponibles para la predicción del comportamiento del fuego.

Figura 2. Recursos naturales y servicio ambientales incluidos en la AppERIIF.

Como ejemplo de resultados de cálculos realizados para el recurso madera, se muestra la información que devuelve la aplicación, en la que se incluye, la valoración del recurso (sin afectación), el importe económico de la pérdida (afección) y la ganancia en el caso de que la hubiera (para bajos niveles de intensidad del fuego, pueden producirse beneficios que incrementen el valor del recurso) (figura nº 3).

Figura 3. Valoración de los productos madereros mediante la aplicación AppERIIF.

4.2. Recurso leñas

Algunos ecosistemas forestales, como los del género *Quercus* o *Fraxinus*, son muy apreciados para el aprovechamiento de leña o carbón vegetal. La leña puede diferenciarse en tres categorías en función de su diámetro: leña gruesa, leña fina o “chasca”. Cada vez se emplea menos la leña de pequeño diámetro por la baja rentabilidad de su transporte y uso, por lo que se recomienda incluir en la valoración sólo la leña gruesa (diámetro superior a los 7 cm). El volumen de leñas se calcula para cada rodal y localización geográfica a partir de tarifas de cubicación y funciones de interpolación mediante SIG. A falta de información local se pueden utilizar las tarifas de cubicación del inventario forestal nacional, fundamentadas en el diámetro normal. El precio de la leña se fija por estéreo y especie en base a los precios establecidos en las adjudicaciones de los montes públicos (Figura nº 4). Un estéreo se corresponde con 0,65 m³ de madera apilada sin huecos, representando entre 450 y 580 Kg de leña dependiendo del número de huecos y del tamaño y la densidad de esta.

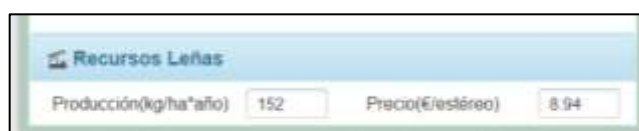


Figura 4. Valoración del aprovechamiento de leñas.

4.3. Recurso fruto (piñón y bellota)

Las masas maduras de *Pinus pinea* aportan una producción comercial sostenible cuando se encuentran entre los 40 y los 120 años (Montero et al., 2004). La vecería o variabilidad anual de la producción de piña (generalmente en ciclos de siete años) no hace fácil su estimación, por lo que se ha de recurrir al registro histórico y al control anual de la producción de piña. La estimación de la producción media anual de piña por hectárea se puede realizar a partir de las tablas de producción (Montero et. al., 2004). La depreciación de este recurso fue estimada a raíz de la experiencia de grandes incendios en masas de pino piñonero, sin embargo, es compleja debido a la vecería anteriormente indicada de la especie. La recuperación de la producción en el arbolado no muerto es progresiva, pudiendo establecer unos valores medios similares a los del aprovechamiento de leña (figura nº: 5)



Figura 5. Valoración del aprovechamiento del piñón en una masa madura.

La formulación de perjuicios del aprovechamiento de la bellota responde a la misma expresión que en el caso de las leñas, si bien en este caso “Px” es el precio por kilogramo en base a considerarlo alimento sustitutivo o de lujo (€) y “Rx” es la productividad aprovechable por el ganado (kg/ha) (Figura 6).

Figura 6. Valoración y pérdida del aprovechamiento de la bellota.

4.4. Recurso corcho

El aprovechamiento periódico de este recurso (9-10 años) determina la necesidad de conocer la posibilidad media anual, es decir, la producción de corcho en un año. En la posibilidad media anual de corcho (kg/ha), interviene la superficie de descorche (m^2/ha), el peso seco del corcho (kg/m^2) y el turno de descorche. La estimación de producción de corcho real exige realizar una corrección de la superficie de descorche, es decir la sustracción del bornizo que no tiene uso comercial y del área de descorche en mal estado o con enfermedades, plagas, vejez u otros factores presentan el corcho no apto para un aprovechamiento. Una vez corregida, se dispondrá de la superficie de descorche en unidades de superficie, necesitando de un factor corrector para la conversión a unidades de masa. La cantidad de corcho por cada m^2 de superficie descorchada se incorpora a la expresión mediante el peso seco. El peso seco del corcho es uno de los factores determinantes de la renta alcanzada por la venta del recurso. En base a condicionantes ambientales, el peso del corcho presenta valores comprendidos entre los 6 kg/m^2 y los 12 kg/m^2 (figura nº 7).

Figura 7. Inputs requeridos para la valoración del aprovechamiento del corcho y resultados proporcionados de evaluación del impacto por la aplicación AppERIIF.

4.5. Recurso pasto

El impacto sobre los pastizales, al estar asociado directamente a la ganadería, ha sido incluido mediante la a carga sustentada media o índices de productividad climática. Por tanto, se requiere establecer el concepto de calidad de pasto y de los múltiples factores que afectan a la producción animal basada en el pastoreo, siendo los más importantes: la producción disponible, el valor nutritivo

del pasto y la cantidad de este que el animal es capaz de ingerir. El valor calculado responde a pérdidas anuales, pero puede que tras el paso de las llamas sea necesario un acotamiento del pastoreo, con objeto de una recuperación o regeneración del ecosistema. Las pérdidas finales para este tipo de hábitat son estimadas mediante el algoritmo del modelo SEVEIF dependiente de la renta perdida (€/ha) y del número de años sin pastoreo (acotamiento en masas arboladas) (figura nº 8).

Pastoral (NO Acotamiento)		Pastoral (SI Acotamiento)	
Acotamiento	NO	SI	
Valor Nutritivo Pastoral (UF/ha)	64.0	64.0	
Precio Heno (€/kg)	0.08	0.08	
Valoración		Valoración	
Valoración Recurso (€/ha)	17.81	126.13	
Nivel de Afectación (0-1)	0.0	0.85	
Pérdida (€/ha)	0.0	107.72	
Ganancia Final (€/ha)	0.0	0.0	

Figura 8. Pérdidas y ganancias con diferentes intensidades sobre el recurso pasto.

4.6. Recurso cinegético

El efecto más directo de los incendios forestales sobre la caza es la muerte de aquellos individuos que no pueden escapar de las llamas. La huida ante un peligro inminente puede suponer la despoblación de la zona o una migración. En áreas acotadas, la existencia de mallas cinegéticas interrumpe la actividad migratoria o huida de los animales (caza mayor) provocando la muerte de muchos individuos estrangulados o golpeados (Zamora et al., 2010).

Los impactos económicos en este recurso, a igual que en el pastoral, se corresponde con pérdidas a corto plazo. La suspensión de la actividad cinegética por un período de tiempo en una superficie quemada es una práctica habitual. Conocido el valor del stock y la renta anual cinegética, las pérdidas en el año del incendio serían los valores actualizados de las rentas perdidas en los años de suspensión de la actividad, dependiendo de la renta cinegética anual sostenible (€/ha), del número de años de acotamiento o suspensión de la actividad y del stock cinegético anual sostenible (€/ha) (figura nº 9).

Cinegético	
Renta Anual (€/ha)	14.0
Stock (€/ha)	20.0
Recuperación (años)	5.0
Valoración	
Valoración Recurso (€/ha)	125.81
Nivel de Afectación (0-1)	0.85
Pérdida (€/ha)	81.85
Ganancia Final (€/ha)	0.0

Figura 9. Valoración del recurso cinegético, que requiere de la renta anual y el stock reproductor

4.6. Recurso fijación de carbono

Los daños sobre el recurso de carbono se corresponden con la cantidad de fitomasa fotosintética eliminada. Los perjuicios económicos se fundamentan en el incremento medio anual en

volumen (IVCC) que puede ser obtenido a través de datos de inventario, tarifas de cubicación propias o las tarifas generales por provincia del Inventario Forestal Nacional. La valoración incluye tanto la cantidad fijada en el momento del incendio (daño), como la cantidad sin fijar a partir de dicho momento (sacrificio de cortabilidad o perjuicio) (Molina et al., 2019b). La biomasa aérea de un área matorralizada puede ser estimada a partir de la caracterización de los modelos de combustible. Se considera la fórmula de valoración para el estrato arbustivo similar a la del estrato arbóreo en el primer sumando (la cantidad fijada en el momento). No así en su segundo sumando, puesto que no es posible conocer fácilmente la edad de este, y por tanto no tendría sentido la última parte de la expresión. Los factores de expansión aérea y radical son sustituidos por el factor de conversión de fitomasa fotosintética (figura nº. 10).

Caracterización Forestal

Especie: Lon. (leña m):
 Cobertura(%): Estado: Edad (años):
 Modelo: Turno (años): Vol. Madera Sema (m³/ha):

Recurso Fijación Carbono

Densidad Madera (t/ha): Incremento volumen Anual (m³/ha/año):
 Biomasa seca aérea (t/ha): Precio Fijación (€/t):
 Factor de conversión en Biomasa radical: Factor de conversión en Biomasa aérea:

Valoración

Valoración Arbolado (€/ha)	Valoración Matorral (€/ha)	Valoración Final (€/ha)
864.54	87.2	951.74
Nivel de Afectación (0-1)	Pérdida (€/ha)	Generancia Final (€/ha)
0.5	725.56	0.5

Figura 10. Valoración y pérdidas de la capacidad de fijación, tanto del estrato arbóreo como del matorral.

4.7. Recurso erosión

Los beneficios de la protección del suelo pueden ser considerados mediante programas de compensación, balances de pérdidas de productividad, valoración contingente o registro histórico de los costes asociados a las medidas urgentes de rehabilitación para el control de la erosión. A través del análisis de los costes de las labores o medidas urgentes contra la erosión desarrolladas en grandes incendios, se determina el precio por tonelada perdida, basado en la transformación de la cobertura original en suelo desnudo (otoño) y pastizal (primavera) al cabo de un año y posteriormente la paulatina recuperación de la vegetación original en base a su resiliencia. La evaluación del impacto económico de acuerdo con lo anterior es obtenida en el modelo SEVEIF, en función de las pérdidas económicas anuales en base al registro histórico de costes en relación con la diferencia de las pérdidas del modelo USLE pre y post-fuego (€/ha), el tanto por uno asimilable a la recuperación de la cobertura vegetal y el número de años necesarios para recuperar la protección previa al impacto ocasionado por el incendio (figura nº: 11).

Protección Erosión

Intervalo Pendiente (%):

Valoración

Valoración Recurso (€/ha)	71.16
Nivel de Afectación (0-1)	0.55
Pérdida (€/ha)	46.37
Generancia Final (€/ha)	0.5

Figura 11. Valoración del recurso erosivo mediante los costes asociados a las tareas de restauración.

4.7. Recurso biodiversidad

El impacto de las llamas sobre la biodiversidad del modelo SEVEIF se limita exclusivamente a las especies protegidas de fauna. Los incendios son el principal mecanismo perturbador de la fauna del bosque mediterráneo. La valoración de un impacto directo sobre la biodiversidad puede realizarse mediante el coste asociado a cada animal en la normativa correspondiente de cada Comunidad Autónoma. El perjuicio que se produce por el incendio es una alteración del hábitat de las especies que repercute en su alimentación y refugio. El modelo SEVEIF utiliza dos metodologías para el cálculo de este valor: asignación directa o indirecta. asignación directa se basa en el coste de los programas de recuperación de especies amenazadas, realizados por Gobiernos elegidos libremente por la sociedad. Dentro de sus asignaciones presupuestarias estos programas son un valor “subrogado” de la disposición del público a pagar para la conservación de especies. La asignación directa se puede aplicar cuando se conocen, tanto el presupuesto destinado a la conservación de las distintas especies como el tamaño de la población beneficiada por los programas de recuperación. La asignación indirecta radica en la variante clásica del método de valoración contingente. Este método consiste en preguntar a una muestra de personas situaciones hipotéticas (contingentes) sobre su posible reacción ante un cambio en la población de especies protegidas, tratando de traducirla en términos monetarios.

En el modelo SEVEIF la valoración de las pérdidas sobre el hábitat potencial de especies protegidas atiende al valor otorgado a la superficie potencial o hábitat de la especie protegida actualizado a los años de recuperación o resiliencia de este tipo de especies (dada la experiencia de los grandes incendios en Andalucía) y es dependiente del valor de biodiversidad por unidad de superficie (€/ha), del tanto por uno de interés anual y del número de años desde el incendio hasta la recuperación de este tipo de fauna en base a que la vegetación recupere su protección y alimento. A estas pérdidas habría que añadirle el valor unitario de los individuos muertos por el fuego. La aplicación AppERIIF utiliza unos valores medios por defecto en función del modelo de combustible (tiempo medio de recuperación del alimento y refugio proporcionado por la vegetación) y la categorización de las especies protegidas existentes en la zona afectada.

Figura 12. Valoración del recurso biodiversidad.

4.8. Recurso paisaje y recreación

La aplicación AppERIIF integra el procedimiento del modelo SEVEIF y realiza una estimación integral del uso de un área, es decir una valoración coste-viaje del monte, sin diferenciación acerca

del valor paisajístico o recreativo. Una vez calculado el excedente del consumidor medio para cada área y el número de usuarios anuales, se procede a la diferenciación entre el valor del paisaje y el valor de ocio y recreo. El estudio social (encuestas “in situ”) desarrollado en el marco de los proyectos de investigación del modelo SEVEIF identificó la importancia relativa de cada una de las actividades recreativas para la elección de un lugar por el visitante. El análisis de más de 500 visitantes estableció una importancia del recurso paisaje del 33,56% del excedente del consumidor y del 66,44% de las posibilidades recreativas que brindaba la zona (recurso ocio y recreo). La estimación de los impactos de los incendios sobre los recursos paisajísticos requiere de la determinación de un período orientativo de restauración del ecosistema o resiliencia. Se entiende por resiliencia de un paisaje, el tiempo necesario para que el ecosistema recupere su calidad paisajística o recreativa original. De acuerdo con ello en función del modelo de combustible, la longitud de llama, la existencia o no de infraestructura turística, la proximidad de núcleos urbanos el grado de protección del área afectada, la existencia o no de rutas de ocio, el período de recuperación la pendiente y la exposición, proporciona la valoración del recurso, la pérdida y si la hubiere, la ganancia (caso de bajo niveles de intensidad) (figura nº 13).

Figura 13. Valoración del recurso paisaje y recreación.

5. Discusión

La aplicación AppERIIF, permite la determinación inmediata del impacto económico que ocasionan los incendios forestales. El beneficio de las utilidades que aporta esta herramienta, capaz de evaluar la depreciación económica de los recursos naturales y servicios ambientales afectados, es tanto mayor cuanto mayor es la dimensión de la superficie afectada, dada 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. Por otra parte, al estar las evaluaciones basadas en la determinación de la depreciación económica de los recursos naturales y servicios ambientales, en función del nivel modal de la intensidad del fuego (NIF) registrado por cada hectárea del escenario afectado, la definición y precisión de la presencia de los diferentes recursos naturales valorables es alta. En trabajos que se viene realizando por parte del Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad de Córdoba, relacionados con la aplicación de la herramienta en la evaluación económica de los efectos de incendios forestales en incendios, se ha podido constatar un nivel de precisión del 94,66% en la calidad final de las evaluaciones realizadas, cuando éstas son comparadas con las realizadas por métodos tradicionales.

Desde el punto de vista de la estrategia a seguir para la mejor eficacia en el uso de la aplicación AppERIIF, resulta recomendable la previa generación de la base de datos de datos de entrada que son necesarios para la realización de los cálculos, haciendo uso de los algoritmos de

evaluación del impacto económico integrados en el modelo SEVEIF para cada uno de los recursos naturales considerados. De acuerdo con ello, atendiendo a las comarcas forestales donde interese la determinación tanto, de las pérdidas reales, como de las potenciales, se ha de realizar la identificación de los recursos naturales existentes, para después proceder a la búsqueda y clasificación digital de los valores numéricos de las diferentes variables relacionadas con las ecuaciones de cálculo. La disponibilidad de los datos de entrada permite una aplicación rápida de la herramienta AppERIIF.

Desde el punto de vista de la caracterización del paisaje forestal, la aplicabilidad de la herramienta AppERIIF, representa una oportunidad para la incorporación del cambio neto en la evaluación de los recursos por impacto de los incendios forestales, en los criterios a considerar en la priorización de las unidades del territorio en relación con la ocurrencia de incendios.

Finalmente hay que indicar que, como se ya se ha manifestado en el presente trabajo, otra de las importantes ventajas de la aplicación AppERIIF, es la disponibilidad de la misma en versión del sistema operativo Android, lo que proporciona la gran utilidad de la portabilidad, al facilitar el uso de dicha herramienta en Smartphone, y por consiguiente la determinación a nivel de campo tanto de la valoración económica de los recursos naturales, como las pérdidas por impacto de incendios forestales. La aplicación AppERIIF, está disponible para su descarga libre en la página web del Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad de Córdoba (LABIF-UCO) en el siguiente enlace: <https://franciscorodriguezysilva.com/laboratorio/software/>

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 de los impactos socioeconómicos, basado en el diagnóstico 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 del comportamiento del fuego, y evaluación económica, conforman la aplicación AppERIIF basada en el modelo Seveif, en una avanzada herramienta de ayuda a la toma de decisión de fácil uso y con proyección en numerosas opciones de aplicación en la defensa de los paisajes forestales frente a los incendios forestales.

7. Agradecimientos

Los autores manifiestan su agradecimiento al proyecto VIS4FIRE (RTA2017-00042-C05-01) del ministerio de Ciencia e Innovación y los proyectos de la Unión Europea CILIFO (Interreg-POCTEP-0753_CILIFO_5_E) y FIREPOCTEP (Interreg-POCTEP-0756_FIREPOCTEP_6_E). De igual modo manifiestan su agradecimiento a la dirección del Plan INFOCA de la Junta de Andalucía (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible), 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

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. Libro 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.

MOLINA J.R., HERRERA M.A., RODRÍGUEZ Y SILVA F., 2019b. Wildfire-induced reduction in the carbon storage of Mediterranean ecosystems: An application to brush and forest fires impacts assessment. *Environmental Impact Assessment Review* 76, 88–97

MONTERO G., CANDELA J.A. Y RODRÍGUEZ A., 2004. El Pino Piñonero (*Pinus pinea*) en Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

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. Genral 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.franciscorodriguezysilva.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>

RODRÍGUEZ Y SILVA FCO.; MOLINA MARTÍNEZ JR.; HERRERA MACHUCA M.; RODRÍGUEZ LEAL J.; 2013. VISUAL-SEVEIF, a Tool for Integrating Fire Behavior Simulation and Economic Evaluation of the Impact

of Wildfires. Proceedings of the Fourth International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: Climate Change and Wildfires. USDA Forest Service. General Technical Report PSW-GTR-245

RODRÍGUEZ Y SILVA, FCO., MOLINA MARTÍNEZ, J.R., RODRÍGUEZ LEAL, J. 2017. El diagnóstico del peligro potencial y la evaluación económica del impacto de los incendios forestales, una integración a través del programa Visual-Seveif. Séptimo Congreso Forestal Español. SECF.

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.