

# Evaluación de las Compensaciones Económicas del Tratamiento de Combustibles y Supresión de Incendios en el Angeles National Forest Utilizando el Fire Effects Tradeoff Model<sup>1</sup>

Mark D. Schaaf,<sup>2</sup> Marc A. Wiitala,<sup>3</sup> Maarten D. Schreuder,<sup>4</sup> David R. Weise<sup>5</sup>

## Resumen

En este estudio, se utilizó el Fire Effects Tradeoff Model (FETM) para evaluar las compensaciones económicas entre el tratamiento de materiales combustibles y la supresión de incendios en el Angeles National Forest situado al sur de California en los Estados Unidos. FETM utiliza datos históricos meteorológicos, datos de historia de incendios, mapas actuales de vegetación, datos de planificación de fuegos prescritos, costes y beneficios del tratamiento de combustibles e incendios forestales, y datos de superficie y stand composición para simular la superficie futura anual quemada de terreno forestal, composición del paisaje, la emisión de humos, y el valor neto actual de supresión de incendios y tratamiento de combustibles en cualquier periodo de tiempo. Se evaluaron cinco alternativas de supresión de incendios y tratamiento de materia combustible, combinando una de las dos opciones de programa de supresión de incendios con cinco intensidades de incendio controlado, entre un 0 y un 52 por ciento de la superficie disponible de chaparral por década. Nuestros resultados demuestran que mantener un programa de supresión más grande con un bajo nivel de tratamiento de combustible reduce sustancialmente la superficie quemada de los incendios forestales. Sin embargo, los mayores costes asociados con este programa no se consiguen con una reducción commensurada en pérdidas de recursos y costes de supresión. De manera similar, nuestros resultados demuestran que un programa de supresión de incendios pequeño asociado a una opción de tratamiento agresivo de fuego controlado reduce sustancialmente al superficie quemada del incendio forestal, pero que los mayores costes de tratamiento no vienen acompañados con la correspondiente reducción en pérdidas de recursos y de los costes de supresión. En su lugar encontramos que un programa de supresión de incendios menor y menos costoso, asociado con un programa de tratamiento de combustibles de intensidad moderada dirigido únicamente a las clases de chaparral con mayor carga, proporciona la estrategia de protección frente a incendios con mejor relación coste-beneficio para el área de estudio.

---

<sup>1</sup> Se ha presentado una versión abreviada de este artículo en el segundo simposio internacional sobre políticas, planificación y economía sobre la defensa contra los incendios forestales: una visión global, 19–22 de Abril de 2004, Córdoba, España.

<sup>2</sup> Científico principal, Air Sciences Inc., 421 SW 6th Avenue, Suite 1400, Portland, Oregon 97204.

<sup>3</sup> Analista de investigación de operaciones, Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, 620 SW Main, Suite 400, Portland, Oregon 97205.

<sup>4</sup> Ecólogo forestal, Air Sciences Inc., 421 SW 6th Avenue, Suite 1400, Portland, Oregon 97204.

<sup>5</sup> Investigador forestal supervisor, Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, 4955 Canyon Crest Drive, Riverside, California 92507.

## Introducción

En los Estados Unidos hoy día, una superficie estimada de 79 millones hectáreas de bosques y pastizales estatales y federales, una superficie que duplica la de California, afrontan un elevado riesgo de incendios forestales a gran escala, y necesitan una restauración del ecosistema. Una prevención y supresión de incendios eficaz a lo largo de las últimas décadas ha dado lugar a la presente acumulación de maleza densa, vegetación arbustiva, y de restos de madera muerta y caída no característica de ecosistemas de bosque y pastizal adaptados al fuego (GAO 1999). Este poco saludable estado del ecosistema, combinado con las recientes condiciones de sequía, enfermedad e infestaciones por insectos, e invasión de especies exóticas, hace a los bosques y pastizales en muchas zonas del país vulnerables a costosos y medioambientalmente dañinos incendios forestales. Hay actualmente en marcha una iniciativa a gran escala para identificar y tratar zonas con acumulación de materia combustible que suponga el mayor riesgo de incendio forestal catastrófico (USDA Forest Service 2000).

Las pendientes montañosas cubiertas de chaparral del sur de California están entre las más propensas a los incendios de todo Estados Unidos. El chaparral es una comunidad vegetal compuesta en su mayor parte de arbustos perennifolios de hoja ancha con una altura comprendida entre 1 y 4 metros. Estas comunidades ocupan normalmente las pendientes más abruptas y los suelos más esqueléticos en las zonas montañosas del sur de California por debajo de los 2.000 metros de altura. Las hojas de las especies de chaparral son esclerófilas y aromáticas, y resisten la descomposición después de su caída de las ramas. A medida que envejecen las plantas, la proporción entre madera muerta y brotes y ramas activas aumenta fuertemente, haciendo posibles incendios de matorral a gran escala (Minnich 1988; Schoenherr 1992). Cuanto mayor es el periodo entre incendios, mayor es la magnitud e intensidad del incendio subsiguiente.

En todos los Estados Unidos, pero especialmente en el sur de California, es cada vez más frecuente ver nuevas viviendas y otros tipos de estructuras construidas en entornos salvajes (Minnich 1988). Esto ha creado una expansión de la superficie de la interfase urbana - forestal en las cuales, las estructuras se sitúan al lado de vegetación altamente inflamable. Debido a su localización, estas estructuras son muy vulnerables al fuego si se produjera uno en una zona próxima. En 1999, se perdieron casi 750 estructuras en nueve incendios en California. Un evento particularmente devastador fue el incendio Jones cerca de Redding, California, en el que se perdieron 428 estructuras en un único incendio de 10.500 hectáreas. El trágico incendio de Oakland en 1988, y los incendios forestales de Octubre de 2003, centraron la atención nacional sobre el recurrente peligro natural de los incendios forestales de las áreas urbanas de California.

Los gestores de territorios y el personal contra incendios del sur de California han intentado desde hace mucho tiempo reducir el peligro de incendios forestales mediante una combinación de métodos, incluyendo: educación, elaboración de normas que requieran el uso de materiales resistentes al fuego, capacidad mejorada de extinción de incendios, y programas de tratamiento de materias combustibles en los terrenos federales y en la interfase urbana - forestal. Una cuestión persistente para el público y los gestores de territorios es la eficacia general de los programas a gran escala de reducción de materiales combustibles, destinados principalmente a reducir el tamaño e intensidad de los incendios forestales antes de que se desarrollen en zonas más pobladas.

La modelización de simulación de paisajes de procesos de perturbación ofrece un marco objetivo para valorar los riesgos a corto plazo respecto a los beneficios a largo plazo de los programas de tratamiento de materiales combustibles y otros programas de restauración en terrenos de elevada prioridad. En esta investigación, utilizamos el Fire Effects Tradeoff Model (FETM) para explorar las consecuencias económicas de cinco alternativas de programas de quemas controladas y extinción de incendios en el Angeles National Forest (ANF) en el sur de California. Las consecuencias a corto y largo plazo de estas medidas de gestión también se miden en términos de reducción de la superficie de los incendios forestales y emisiones de humos.

## Métodos

### Área de estudio y vegetación

El área de estudio es una zona de 234.061 hectáreas del ANF, administrada por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). El ANF se sitúa en las San Gabriel Mountains al nordeste de Los Angeles, California, EEUU, (fig. 1). La vegetación de la zona es en su mayor parte chaparral (Ottmar y otros 2000), que consta de cuatro grupos separados de especies: chaparral mixto norteño, chaparral de semidesierto, chaparral de chamise (*Adenostomum*), y chaparral montano (tabla 1). Aproximadamente la mitad de la vegetación restante (el 23 por ciento) está formado por bosques de coníferas (sobre todo *Juniperus* spp. y *Pinus* spp.), y el resto (21 por ciento) está compuesto de maderas duras y artemisas, o no presenta vegetación.



**Figura 1**—Mapa de vecindad del Angeles National Forest en las San Gabriel Mountains del sur de California, EEUU. El área de estudio comprende la totalidad de los Distritos Forestales de Los Angeles River y San Gabriel River, y la parte del Distrito Forestal de Santa Clara / Mojave Rivers al sudeste de la Autopista 14. Nota: 10 millas = 16 km.

**Tabla 1**—Composición de la vegetación del área de estudio de Angeles National Forest.

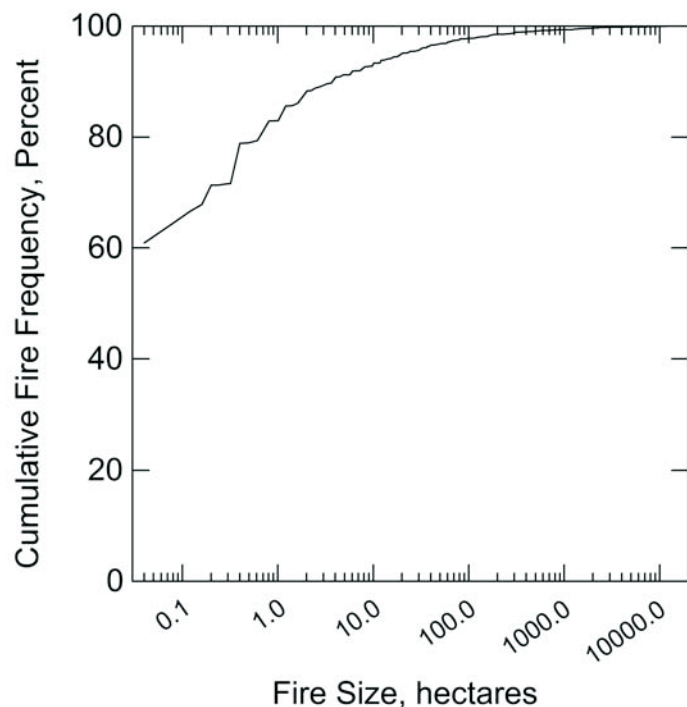
Tipo de vegetación	Superficie (hectáreas)	Por ciento de la superficie total
Chaparral mixto norteño	92.972	40
Chaparral de semidesierto	21.741	9
Chaparral de chamise	8.206	4
Chaparral montano	7.393	3
Bosque de coníferas	54.424	23
Hardwoods	19.958	9
Artemisas	15.044	6
Hierba	333	0,1
Sin vegetación	13.990	6
Total	234.061	100

El chaparral está muy adaptado a las perturbaciones por fuego. Debido a su capacidad de brotar del tronco, el chaparral restaura rápidamente la cubierta de un lugar tras el fuego. Muchas especies del chaparral son dependientes de incendios frecuentes para su reproducción y renovación (Vankat 1979). Unos incendios frecuentes han dado lugar a un mosaico de distintas edades de vegetación, que varían en composición de especies, altura de la vegetación, y biomasa.

Para los propósitos de este análisis, el área de cada uno de los cuatro tipos principales de chaparral se subdividió en cinco clases de carga de combustible. Para el chaparral mixto norteño y el chaparral de semidesierto, las clases de carga fueron: I—menos de 2,2 toneladas métricas por hectárea, II—2,2 a 22 toneladas métricas por hectárea, III—23 a 40 toneladas métricas por hectárea, IV—41 a 54 toneladas métricas por hectárea, y V—55 a 72 toneladas métricas por hectárea. Para el chaparral de chamise y el chaparral montano, las clases de carga fueron: I—menos de 2,2 toneladas métricas por hectárea, II—2,2 a 16 toneladas métricas por hectárea, III—17 a 29 toneladas métricas por hectárea, IV—30 a 38 toneladas métricas por hectárea, y V—39 a 45 toneladas métricas por hectárea. Estas clases de carga se utilizaron para establecer prioridades para los tratamientos de quemas controladas.

### ***Frecuencia y magnitud de los incendios***

Durante el periodo de 29 años, de 1970 a 1998 (USDA Forest Service 1997), un total de 4.439 incendios consumieron 142.379 hectáreas de chaparral y otra vegetación dentro del ANF. Esto da un promedio anual de 153 incendios y 4.910 hectáreas (desviación típica de  $\pm 2.450$  hectáreas) consumidas. La mediana de tamaño de los incendios fue de 0,04 hectáreas. El tamaño máximo de incendio fue de 19.179 hectáreas (*fig. 2*).



**Figura 2**—Frecuencia de distribución acumulada de incendios en el Angeles National Forest para el periodo entre 1970 y 1998 (USDA Forest Service 1997).

### **Alternativas de quema controlada y extinción de incendios**

Se evaluaron cinco alternativas, implicando cada una de ellas un nivel distinto de tratamiento por quemas controladas en combinación con una de las dos opciones programa de supresión de incendios (*tabla 2*). La alternativa 1 incluye el mayor de los dos programas de supresión de incendios (C20) asociado con la menor superficie de tratamiento por quema controlada (cero hectáreas anuales). La alternativa 3 contiene el menor de los dos programas de supresión (M30) asociado con la mayor superficie de tratamiento mediante quema controlada (12.141 hectáreas anuales). Las otras tres alternativas asocian el programa de supresión C20 o M30 con niveles intermedios de tratamiento mediante quema controlada.

**Tabla 2-** *Tratamiento de materia combustible y alternativas de programa de supresión para el Angeles National Forest*

<b>Alternativa</b>	<b>Superficie anual de tratamiento controlado (hectáreas)<sup>†</sup></b>	<b>Opción de programa de supresión (coste anual del programa)</b>
1 – Programa de supresión grande C20 / Ninguna quema controlada	0	C20: Actual + 20 por ciento (14,4 millones de \$)
2 – Programa de supresión grande C20 / Menor superficie de tratamiento de quema controlada	3.035	C20: Actual + 20 por ciento (14,4 millones de \$)
3 – Programa de supresión pequeño M30 / Mayor superficie de tratamiento de quema controlada	12.141	M30: Nivel más eficaz - 30 por ciento (10,3 millones de \$)
4 – Programa de supresión pequeño M30 / Superficie intermedia de tratamiento de quema controlada	6.070	M30: Nivel más eficaz - 30 por ciento (10,3 millones de \$)
5 – Programa de supresión pequeño M30 / Superficie variable de tratamiento de quema controlada	<6.070	M30: Nivel más eficaz - 30 por ciento (10,3 millones de \$)

<sup>†</sup>Dirigida únicamente al chaparral.

Los dos programas candidatos de supresión de incendios (C20 y M30) fueron seleccionados por personal del ANF de una lista de 32 opciones disponibles. Las dos opciones difieren en el número de personas de extinción manual, máquinas, y recursos de extinción aérea disponibles para responder a los incendios.

El chaparral fue la única categoría de vegetación destinada a un tratamiento mediante quemadas controladas. Cada uno de los grupos de chaparral se seleccionó en una proporción aproximada respecto a la proporción de la superficie total de chaparral que ocupa cada uno (*tabla 1*). El chaparral mixto norteño, con la mayor superficie inicial (92.972 hectáreas, o el 71 por ciento de la superficie total de chaparral), recibió la mayor área de tratamiento de incendio controlado (8.855 hectáreas anuales, o 73 por ciento del total bajo la alternativa 3). El chaparral montano, con el área inicial más pequeña (7.393 hectáreas, o un 5,7 por ciento de la superficie total de chaparral), recibió la menor superficie de tratamiento por incendio controlado (650 hectáreas anuales, o 5,4 por ciento del total bajo la alternativa 3).

Se asignaron a los tratamientos de material combustible niveles de prioridad desde la clase de carga de combustible más alta a la más baja. Primero se trató la clase más alta (V), seguida de la segunda clase más alta (IV) y así sucesivamente hasta que la superficie tratada era igual a la superficie anual planificada. En el caso de la alternativa 5, sólo las dos clases de carga más altas (IV y V) se destinaron a tratamiento en cada grupo de especies. Con el tiempo, este tratamiento agotó la superficie disponible en las clases de carga de chaparral disponibles, lo que causó que la superficie actual de incendio controlado cayera por debajo de la superficie planificada de 6.070-hectáreas. Los procesos de sucesión fueron insuficientes para compensar la carencia en la superficie disponible para el tratamiento.

Cada simulación de modelo se ejecutó para un periodo de 100 años y con 200 iteraciones por año. Los resultados representan por tanto el resultado “esperado” de tratamiento de combustibles y supresión de incendios en cada paso temporal.

### **El Fire Effects Tradeoff Model**

Se utilizó el FETM<sup>6</sup> versión 4.8.8 para simular los efectos a corto y largo plazo de las cinco alternativas de programa de tratamiento por quema controlada y supresión de incendios (Schaaf y otros 2004). El FETM es un modelo de efectos de perturbaciones a escala de paisaje diseñado para simular los efectos relativos de prácticas alternativas de ordenación del territorio a lo largo de prolongados periodos y en diversas condiciones medioambientales, regímenes naturales de incendio, y estrategias de gestión de materiales combustibles e incendios. El modelo se basa en una formulación estacionaria clásica de Markov (Feller 1968). Los modelos estacionarios de Markov son modelos matemáticos que utilizan matrices de probabilidades determinadas empíricamente para predecir sustituciones de clases de vegetación, y por tanto, la composición, según transcurre el tiempo. Las probabilidades de transición en un modelo estacionario de Markov son análogas a los coeficientes de flujos en un modelo de simulación de Stock y Flow (Forrester 1961). Más específicamente, se podrían interpretar el FETM como que representa un ecosistema como un sistema de primer orden, homogéneo, de ecuaciones diferenciales lineales con coeficientes constantes (Luenberger 1979).

La ecuación diferencial de primer orden utilizada en FETM para describir el cambio del paisaje con el tiempo es:

$$\tilde{a}_{t,p} = \mathbf{S} \left\{ \left( \tilde{a}_{t-1,p} + \sum_{r=1}^8 \tilde{s}_{t,p,r} (\mathbf{M}_r - \mathbf{I}) \right) + \tilde{w}_{t,p} \right\} \quad (1)$$

donde  $a_{t,p}$  es un vector de superficie ( $\sim$ ) de las clases de características de combustible (FCC) (Sandberg y otros 2001) en el año de simulación  $t$  para el nivel de incendio controlado  $p$ ,  $\mathbf{S}$  es una matriz de sucesión natural,  $s_{t,p,r}$  es un vector de superficie programado para el tratamiento mediante FCC,  $\mathbf{M}_r$  es una matriz de efectos para la perturbación  $r$  (intervalo de 1 a 8),  $\mathbf{I}$  es la matriz de identidad, y  $w_{t,p}$  es un vector de cambio neto de superficie de incendio forestal, dado por:

$$\tilde{w}_{t,p} = \sum_{i=1}^4 (\mathbf{W}_i - \mathbf{I}) \tilde{F}_{t,p,i} \quad (2)$$

donde  $\mathbf{W}_i$  es una matriz de efectos de incendios forestales para la clase de gravedad meteorológica de incendio  $i$  (intervalo de 1 a 4), y  $F_{t,p,i}$  es un vector de columna de superficie esperada de FCC quemada para el año  $t$ , nivel de tratamiento de incendio controlado  $p$ , y clase meteorológica de incendio  $i$ . El FETM calcula el vector  $F_{t,p,i}$  cada año sobre la base de la composición actual del paisaje, número de inicios de incendio, y tamaños predichos de incendios forestales de evento único para un conjunto de condiciones ambientales y comportamientos asociados de los incendios.

El FETM es dinámico, y predice cambios anuales en la composición y efectos sobre el paisaje para cualquier periodo de tiempo entre uno y 300 años. Para cada ejecución independiente, la composición de partida en cualquier año de simulación se vincula a los resultados del año anterior. El modelo es estocástico; las variables

<sup>6</sup> sitio web del FETM [www.fs.fed.us/r6/aq/fetm](http://www.fs.fed.us/r6/aq/fetm)

aleatorias incluye las frecuencias de incendio forestal en cada uno de las cuatro clases de meteorología del Sistema nacional de Clasificación de Peligro de Incendio (NFDRS; Bradshaw y otros 1983), y el tamaño potencial del incendio forestal en el caso de que las cargas de combustible sobrepasen el rango de variabilidad histórica. El FETM es un modelo no espacial, capaz de predecir efectos de perturbaciones dentro de un área por clase de vegetación, pero que no es capaz de predecir dónde se producirán dichos impactos sobre el terreno o si los impactos son contiguos o dispersos.

Una característica que diferencia al FETM de otros modelos de paisaje es su uso de algoritmos de comportamiento del fuego para determinar el tamaño e intensidad de los eventos de incendio. En vez de basarse exclusivamente en datos históricos de incendios como la base para determinar futuros tamaños y efectos de los incendios, el FETM integra aspectos de modelización de comportamiento físico de incendios en sus simulaciones. Esta integración de modelización clásica de comportamiento de incendios en la modelización de simulación de paisajes permite a los usuarios del FETM evaluar las consecuencias de los cambios en el entorno del incendio (p. ej., carga de combustible, estructura del dosel, meteorología, topografía) en la superficie del incendio y otros efectos del fuego. Por ejemplo, el FETM puede evaluar el efecto de un cambio en carga de combustible en superficie o configuración de vegetación en el potencial de fuegos propagados por las copas. La integración de modelización del comportamiento de los incendios también ofrece una oportunidad para cuantificar el nivel de consumo de materiales combustibles y emisiones de humos con el tiempo, que es un factor cada vez más importante en la ejecución de actividades de ordenación en el paisaje.

### **Análisis económico**

En esta investigación, la primera medida de eficiencia económica es el valor valor neto presente (VNP) de costes y beneficios, anualizados a lo largo del periodo de simulación. Más específicamente, el VNP es la suma de 100 años de los costes anuales futuros de supresión de incendios (FSC), los costes anuales de tratamiento de combustibles (FTC), y de los valores de cambio monetario y no monetario del valor neto (CVN) descontados con una tasa de descuento real del 4 por ciento (Forest Service Handbook, FSH 1909.17). El personal del ANF proporcionó los datos del valor de los costes y recursos naturales utilizados en este análisis.

Siguiendo el procedimiento de contabilidad en el Sistema Nacional de Valoración de la Protección Contra Incendios del Servicio Forestal del USDA (USDA Forest Service 1999), los costes de supresión de incendios forestales se calcularon sobre la base de dos costes de componentes: el coste medio por acre (AAC), y el coste de misión por unidad (UMC). AAC es el coste medio por acre producido durante la supresión activa del incendio. UMC es el coste fijo asociado con desplegar un recurso de supresión a un incendio independientemente de si el recurso de supresión incluye la creación de cortafuegos. Los costes por unidad (esto es, por hectárea) para cada uno varía según la clase de tamaño de incendio. Normalmente, los incendios más pequeños tienen el FSC más alto por unidad, y los incendios más grandes tienen el menor FSC por unidad.

Los valores de FTC se computaron tomando como base costes de tratamiento de combustibles por acre proporcionados por el usuario, que típicamente varía según las actividades de tratamientos y las clases de vegetación. El ANF proporcionó un coste medio de tratamiento por incendio controlado de 555 \$ por hectárea.

El NVC resultante de la perturbación por incendios es la suma algebraica de los efectos económicos del incendio al valor de la producción de recursos naturales, tanto positiva como negativa. Aquí, un NVC positivo representa una pérdida económica o coste, y un NVC negativo representa una ganancia económica o beneficio. NVC varía directamente con la superficie quemada según el nivel de intensidad del incendio (FIL). Cuanto más alto es el FIL, mayor es el NVC por unidad. El FIL es una medida de la resistencia a la supresión, y corresponde a distintos rangos de longitud de la llama: FIL 1, longitudes de llama de 0 a 2 pies ; FIL 2, longitudes de llama de 2 a 4 pies; FIL 3, longitudes de llama de 4 a 6 pies; FIL 4, longitudes de llama de 6 a 8 pies; FIL 5, longitudes de llama de 8 a 12 pies; y FIL 6, longitudes de llama de 12 pies o más. El cambio de valor neto se computa para ambos recursos monetarios (recursos de madera y rango) y recursos no monetarios (p. ej., recreación, almacenamiento de agua, fauna, y pesca) únicamente en el Sistema de Bosques Nacionales. Los valores de NVC utilizados en este análisis no incluyen los beneficios o pérdidas de recursos asociados con incendios que queman superficie fuera del ANF; esto es, no se incluyen en esta valoración de las compensaciones económicas los impactos sobre recursos fuera del lugar . De igual manera tampoco se incluyen las pérdidas de propiedad fuera del lugar.

## Resultados

### **Superficie de incendio y emisiones**

En la alternativa 1, la superficie media anual de incendios forestales aumentan de ~3.900 hectáreas en el año 1 hasta las 4.300 hectáreas en el año 40 (fig. 3a). Combinando el programa grande de supresión de incendios con la superficie más pequeña de tratamiento por incendio controlado, la alternativa 2, da lugar a un descenso constante en la superficie de incendio forestal en las tres primeras décadas y a una relativa estabilización tras el año 35 (fig. 3b). Puede observarse un patrón similar para el programa más pequeño de supresión de incendios asociado con la mayor superficie de tratamiento por fuego controlado, la alternativa 3 (fig. 3c). En esta alternativa, la superficie de los incendios forestales disminuye rápidamente durante la primera década, seguido por un aumento en superficie de incendios forestales durante las cuatro décadas siguientes y una relativa estabilización para el año 50. El aumento en superficie de incendio forestal con el tiempo se atribuye al elevado nivel de tratamiento por incendios controlados, que convierte la vegetación predominante de chaparral a hierba. La hierba es ligeramente más inflamable que el chaparral es decir, produce incendios más grandes) en la clase meteorológica de incendios moderados en la que se producen la mayoría de los inicios de incendios cada año.

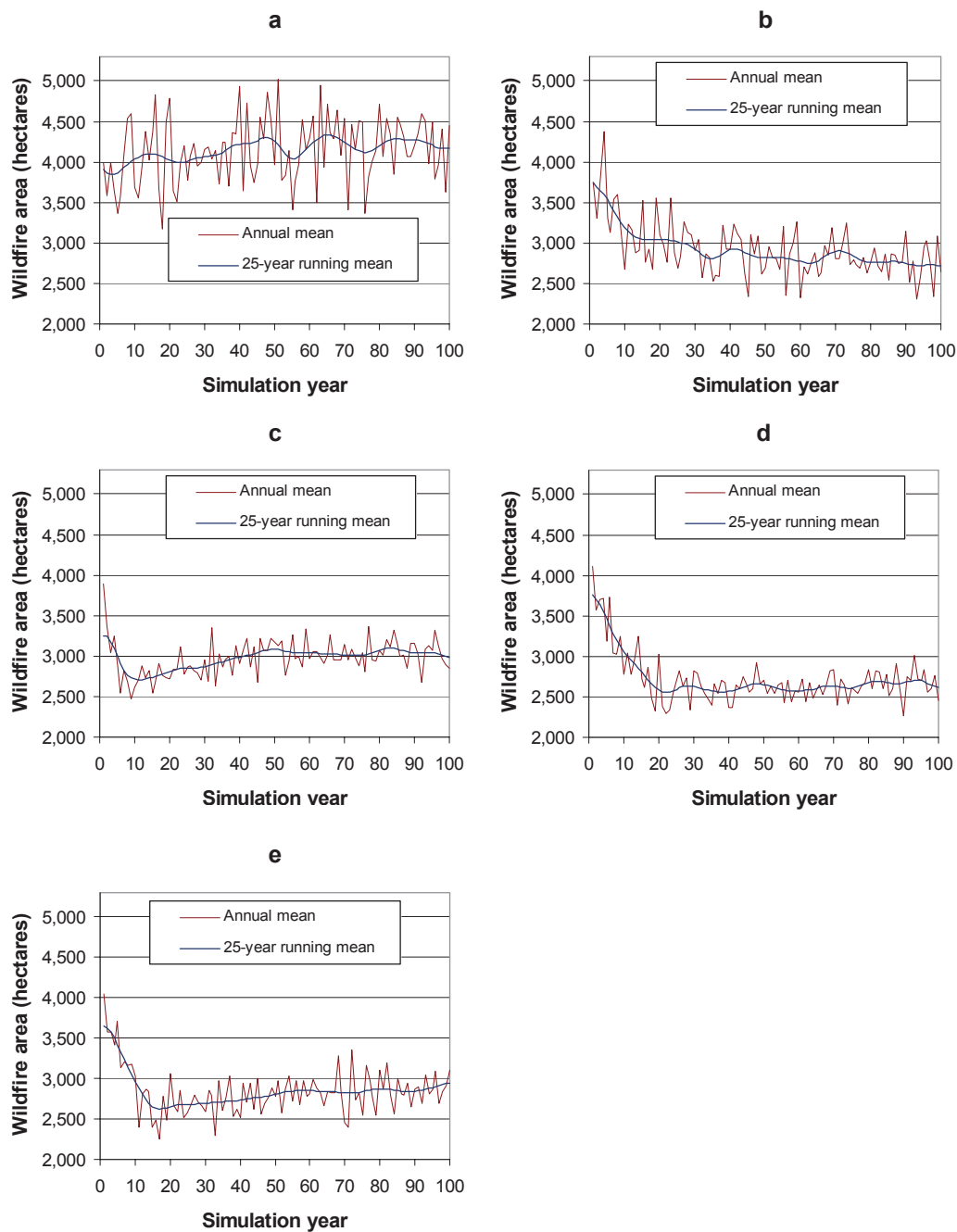
En la Alternativa 4, la combinación de un programa de supresión menor con un nivel intermedio de tratamiento mediante incendios prescritos (6.070 hectáreas por año) da lugar a una rápida disminución de la superficie de incendio en las dos primeras décadas, seguido de una relativa estabilización al nivel más bajo de cualquiera de las alternativas: 2.600 hectáreas por año (fig. 3d).

En la Alternativa 5, dirigida a las clases más altas de carga de chaparral para los tratamientos, da lugar a una rápida disminución en la superficie de los incendios en las dos primeras décadas. Le sigue un pequeño pero significativo aumento en la superficie anual de incendio forestal, de una media de 2,600 hectáreas en el año 20 a 2.900 hectáreas en el año 100 (fig. 3e). En el año 20, 4.166 hectáreas se tratan mediante incendios prescritos comparado a 6.070 hectáreas en la alternativa 4 (tabla 3).

controlado, mayores son las emisiones de  $PM_{2.5}$  (tabla 3). Este patrón es válido para todas las alternativas o una, la alternativa 3. En esta alternativa, el FETM muestra que el tratamiento de incendio controlado más agresivo convierte rápidamente la vegetación consumo que el chaparral, y por tanto produce menos e por hectárea consumida.

**Tabla 3-**Superficie predicha de incendio forestal por el FETM, superficie de incendio controlado, y emisiones de  $PM_{2.5}$  en el año 20.

Alternativa	Superficie del incendio (hectáreas)	Superficie de fuego controlado (hectáreas)	Emisiones de $PM_{2.5}$ (toneladas)
1	4.027	0	939
2	3.040	3.035	1.473
3	2.806	12.141	1.703
4	2.594	6.070	1.826
5	2.651	4.166	1.518



**Figura 3**—Gráfico de series temporales de superficie anual media quemada de incendios forestales para (a) Alternativa 1 – Programa de supresión mayor C20 sin incendio controlado, (b) Alternativa 2 – Programa de supresión mayor C20 con 3.035 hectáreas anuales de incendios prescritos, (c) Alternativa 3 – Programa de supresión menor M30 con 12.141 hectáreas anuales de incendios prescritos, (d) Alternativa 4 – Programa de supresión menor M30 con 6.070 hectáreas anuales de incendios prescritos, y (e) Alternativa 5 – Programa de supresión menor M30 con < 6.070 hectáreas anuales de incendios prescritos.

### Valor neto presente anualizado

Los valores de VNP anualizados para las cinco alternativas varían entre 21,3 millones de \$ a 24,9 millones de \$ (tabla 4). Entre un cuarenta a un 60 por ciento del VNP anualizado está en los costes de programa, dependiendo de la alternativa (tablas 2 y 4). El programa de supresión C20 en las Alternativas 1 y 2 tiene costes de programa anualizados sustancialmente más altos que el programa M30 en las alternativas 3 a 5.

**Tabla 4-Valor neto presente anualizado (VNP) de costes e ingresos futuros (miles de dólares).**

Alternativa	Coste del programa	FSC	FTC	NVC incendi o forestal	NVC incendio controlado	PNV total
1	15.019	7.089	0	2.268	0	24.376
2	15.019	5.645	1.758	1.455	994	24.871
3	10.744	5.447	7.033	572	997	24.793
4	10.744	5.558	3.517	926	1.056	21.802
5	10.744	5.643	2.821	999	1.159	21.336

Los costes de supresión de incendios varían en proporción directa con la superficie del incendio forestal consumida por clase de tamaño de fuego. La alternativa 1 no incluye tratamiento mediante fuego controlado y por tanto tiene la mayor superficie anual de incendio forestal y el FSC más alto. La alternativa 3 tiene el FSC anualizado más bajo a pesar del hecho de que tiene una mayor superficie de incendio forestal anual que las alternativas 4 y 5 debido a que la mayor parte de la superficie de incendio está en clases de tamaño menores con unos valores correspondientemente más bajos de FSC por unidad (tablas 3 y 4).

Los costes de tratamiento de combustibles varían en proporción directa respecto a la superficie de incendio controlado. La alternativa 1 no tiene una superficie de incendio controlado ni FTC. La alternativa 3 tiene la mayor superficie de tratamiento por incendio controlado y el mayor FTC (tablas 3 y 4).

El cambio de valor neto asociado con los incendios forestales varía en proporción directa con la superficie del incendio forestal. La alternativa 1 tiene la mayor superficie de incendio forestal y también el mayor NVC anualizado para incendios forestales (N.B. La alternativa 1 incluye el programa más grande pero ningún tratamiento con incendio controlado). La alternativa 3 tiene el NVC anualizado más bajo incluso si su superficie de incendio forestal es mayor que la superficie quemada en cualquiera de las alternativas 4 o 5. Esto se debe a que la mayor parte de la superficie del incendio forestal en la alternativa 3 está en la vegetación herbácea, que se quema con un FIL más bajo que el chaparral y con valores por unidad de NVC correspondientemente más bajos (tablas 3 y 4).

El cambio de valor neto para los incendios prescritos varía en proporción directa con la superficie del incendio controlado. La alternativa 1 no tiene un programa de tratamiento de incendios prescritos y por tanto ningún NVC de incendio controlado. Las alternativas 2 y 3 tienen un NVC de incendios prescritos similar, a pesar del

hecho de que esta última tiene una superficie de incendios prescritos cuatro veces más grande que la anterior. La razón para esto es que con el tiempo, el programa de tratamiento de incendio controlados más agresivo de la alternativa 3 produce a un FIL promedio más bajo, así como un NVC más bajo, que el programa de tratamiento menos agresivo de la Alternativa 2. Puede aplicarse la misma explicación a una comparación de las alternativas 3, 4, y 5 (*tabla 4*).

El VNP total de las alternativas 1 a 3 es similar y comprendidos todos en un dos por ciento (*tabla 4*). Esto se debe a compensaciones en el programa y en los costes de tratamiento de combustible. Por ejemplo, en la alternativa 1 los ahorros de costes en el tratamiento de combustibles son anulados completamente el mayor coste de la supresión de incendios de incendios forestales (*tabla 4*). De manera similar, la alternativa 3 tiene unos costes de programa sustancialmente menores que los de las dos alternativas anteriores, pero estos ahorros son anulados por unos costes de tratamiento de combustibles más elevados. Con las dos alternativas mayores de supresión (C20), los costes totales de NVC son similares, pero difieren en sus contribuciones de incendios forestales e incendios prescritos.

La alternativa 4 tiene un VNP anualizado sustancialmente más bajo de la alternativa 3 debido a los FTC y NVC combinados más bajos.

La alternativa 5 tiene un VNP anualizado más bajo que la Alternativa 4 debido a que los FTC y NVC combinados más bajos más que compensan el FSC más alto (*tabla 4*). La alternativa 5 tiene el VNP anualizado más bajo de todas las alternativas.

## Conclusiones

El examen de este estudio de las compensaciones económicas entre el tratamiento de materia combustible y la supresión de incendios en el ANF encontró que pueden conseguirse ventajas económicas sustanciales en costes totales reducidos de programas de protección contra incendios y una reducción de las pérdidas de recursos naturales con un programa de supresión de incendios menor asociado con un programa de tratamiento de materiales combustibles moderado dirigido únicamente a las clases de chaparral de carga más alta. Estos resultados se basan en la evaluación de cinco alternativas de supresión de incendios y de tratamiento de materia combustible y combinan uno de los dos programas de supresión de incendios (costes anualizados del programa de 14,4 y 10,3 millones de \$, respectivamente) con cinco intensidades de tratamiento mediante incendios prescritos, entre el 0 y el 52 por ciento de la superficie disponible de chaparral por década.

Más concretamente, nuestros resultados demuestran que el programa más grande de supresión C20 asociado con un programa de tratamiento pequeño por incendio controlado (Alternativa 2) reduce sustancialmente la superficie del incendio forestal comparado a la alternativa sin fuegos prescritos (Alternativa 1). Sin embargo, el aumento de coste asociado con este programa de tratamiento de combustibles no se acompaña de una reducción correspondiente en la pérdida de recursos naturales y de los costes de supresión. Al examinar el programa menor de supresión de incendios M30 asociado con un programa agresivo de tratamiento con incendios prescritos (Alternativa 3), nuestros resultados demuestran un ligero incremento de los beneficios de protección respecto a la Alternativa 2. Sin embargo, el incremento de costes asociado con este programa de tratamiento de combustibles sigue sin venir acompañado de la correspondiente reducción en la pérdida de recursos naturales y de los costes de supresión. Encontramos en vez, que un programa menor y menos costoso de supresión de incendios, asociado con un programa de tratamiento de

combustibles de intensidad dirigido únicamente a las clases de chaparra de carga más alta (Alternativa 5), ofrece la estrategia de protección frente a incendios con mejor relación coste-beneficio para el ANF. Tomando como base el proceso de elaboración histórica de presupuestos del servicio Forestal del USDA, que no considera impactos de los recursos fuera del lugar, parece que existe poca o ninguna ventaja económica en adoptar alternativas con el mayor de los dos programas de supresión de incendios. Sin embargo, la experiencia reciente en el sur de California muestra que las pérdidas de propiedad fuera del lugar pueden ser enormes. La inclusión del riesgo de los impactos fuera del lugar y de las pérdidas económicas asociadas alterarían muy probablemente las conclusiones de este análisis.

## Agradecimientos

Este estudio se llevó a cabo como parte de un estudio patrocinado del U.S. Joint Fire Science Program titulado “Comparación basada en riesgos de modelos potenciales de compensación de tratamiento de combustibles,” llevado a cabo por la USDA Forest Service Pacific Southwest Research Station, Riverside, California (investigador principal, David Weise). El FETM se desarrolló en parte mediante una subvención del U.S. Joint Fire Science Program y una asociación con el USDA Forest Service, Pacific Northwest Region, y la Oficina del Estado de Oregon del Bureau of Land Management, U.S. Department of the Interior.

## Referencias

- Bradshaw, Larry S.; John E. Deeming; Robert E. Burgan; y Jack D. Cohen (compilers). 1983. The 1978 national fire-danger rating system: technical documentation. General Technical Report INT-169. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest y Range Experiment Station. 44 p.
- Feller, W. 1968. An introduction to probability theory and its applications. Volume 1, 3<sup>rd</sup> edition, New York NY: Wiley.
- Forrester, Jay W. 1961. Stock and flow concepts are usually associated with system dynamics modeling. *Industrial Dynamics*. The MIT Press, Cambridge. 290 p.
- GAO (U.S. Government Accounting Office). 1999. Western national forests: a cohesive strategy is needed to address catastrophic wildfire threats. Report to the Subcommittee on Forests and Forest Health, Committee on Resources, House of Representatives, GAO/RCED-99-65, 60 pp.
- Luenberger, David G. 1979. Introduction to dynamic systems: theory, models, and applications. 435 p.
- Minnich, Richard A. 1988. The Biogeography of Fire in the San Bernardino Mountains of California: A Historical Study. Berkeley, Los Angeles, and London: University of California Press. Publications in Geography No. 28.
- Ottmar, Roger D.; Robert E. Vihnanek; Jon C. Regelbrugge. 2000. Stereo photo series for quantifying natural fuels. Volume IV: pinyon-juniper, sagebrush, and chaparral types in the Southwestern United States. PMS 833. Boise, ID: National Wildfire Coordinating Group, National Interagency Fire Center. 97 p.
- Sandberg, David V.; Roger D. Ottmar; Geoffrey H. Cushon. 2001. Characterizing fuels in the 21st century. *International Journal of Wildland Fire*. 10: 381-387. (<http://www.fs.fed.us/pnw/fera/jfsp/fcc/index.html>).

- Schaaf, Mark D.; Marc A. Wiitala; Donald Carlton, Roger Ottmar; y Maarten D. Schreuder. 2004. Fire Effects Tradeoff Model (FETM): A Landscape-Scale Disturbance and Succession Model for Land Management Planning (manuscrito en preparación).
- Schoenherr, Allan A. 1992. A natural history of California. Berkeley, Los Angeles, and London: University of California Press. California Natural History Guides No. 56.
- USDA Forest Service. 2000. Protecting people and sustaining resource in fire-adapted ecosystems: a cohesive strategy. General Accounting Office Report GAO/RCED-99-65. 85 p.
- USDA Forest Service. 1999. FSH 5109.18: Wildland fire prevention handbook, WO amendment 5109.18-99-1, effective 06/10/1999, Chapter 10 - wildland fire prevention planning. ([http://www.fs.fed.us/im/directives/fsh/5109.18/5109.18\\_10.txt](http://www.fs.fed.us/im/directives/fsh/5109.18/5109.18_10.txt))
- USDA Forest Service. 1997. National interagency fire management integrated database (NIFMID). USDA National Information Technology Center, Kansas City, MO.
- Vankat, John L. 1979. The natural vegetation of North America: an introduction. New York y otros lugares: Wiley.

Esta página se deja en blanco intencionadamente.