

COSTE Y EFICIENCIA EN LAS OPERACIONES DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES, FUNDAMENTOS Y HERRAMIENTAS PARA SU ESTUDIO Y ANÁLISIS.

Rodríguez y Silva, F. ¹

Resumen

Los costes de extinción representan una parte considerable del presupuesto total disponible en los programas de defensa contra incendios forestales. Esta situación contable es una realidad que se generaliza en la totalidad de los países que presentan una alta incidencia de incendios forestales, el crecimiento tanto del número de incendios como de la superficie afectada, y la mayor sensibilidad e interés social frente a la preservación de los ecosistemas forestales, sobre todo en los países desarrollados económicamente, apuntan hacia un incremento progresivo de las inversiones en extinción en un intento de al menos frenar la inercia creciente de los ratios explicativos del impacto de los incendios forestales. La necesidad racional de hacer un uso eficiente de los presupuestos disponibles, obliga a cuestionar si existe posibilidad de realizar una aplicación de presupuestos basada en modelos de análisis económico, que enfatizando en la optimización, dirija las inversiones en la dirección de los menores costes con los máximos beneficios. La identificación de variables requeridas para el desarrollo de los modelos y algoritmos, la respuesta ante la elección de los recursos y su utilidad, la delimitación de la frontera de la posibilidad de producción eficiente y la incorporación de las funciones de costes permiten establecer los fundamentos sobre los que poder realizar los estudios de costes en la operaciones de extinción.

Con el conocimiento que proporcionan los fundamentos del análisis económico y la disponibilidad de bases de datos asociados a los incendios registrados en un período de tiempo determinado y en una región concreta, se pueden obtener recomendaciones estratégicas obtenidas mediante programación lineal. No obstante si bien estas aproximaciones proporcionan soluciones a la planificación del presupuesto, es posible integrando mayor número de variables implicadas, desarrollar modelos de evaluación de la eficiencia de los programas de extinción que automaticen cálculos y relacionen los costos de extinción con el valor de los recursos naturales a proteger y la depreciación potencial de ellos ante el impacto de los incendios. Esta posibilidad permite el desarrollo de simulaciones en función de las diferentes estrategias operacionales que pudieran plantearse.

Palabras clave: costes de extinción, ratios de producción de línea controlada, costo-beneficio, valor de los recursos naturales, análisis marginal, programación lineal, factor de contracción superficial.

Introducción

La creciente situación de la incidencia de los incendios forestales en el mundo a lo largo de los últimos cincuenta años, aumentando la frecuencia y coincidencia espacial

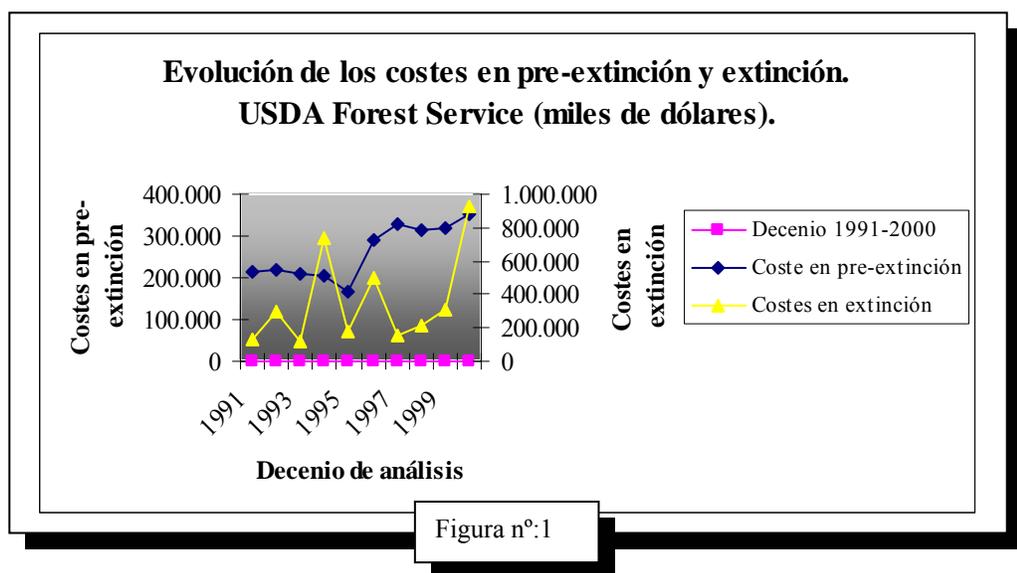
¹ Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. E.T.S. Ingenieros Agrónomos y de Montes. A/. Menendez Pidal s/n. 14071, e-mail: ir1rosif@uco.es.

de los eventos, ha generado un importante estado de preocupación entre las instituciones, agencias y administraciones con responsabilidad en los procedimientos de extinción, máxime cuando el problema se extiende más allá de las masas forestales, llegando a ocasionar importantes pérdidas (incluso vidas humanas) en zonas residenciales, que extendiéndose desde los núcleos urbanos llegan a tomar contacto con las áreas ocupadas por la vegetación forestal.

Esta situación obliga a destinar presupuestos muy elevados para cubrir los costes de extinción, además de los que la propia gestión y conservación de los ecosistemas forestales requiere. La variabilidad en la incidencia y en el impacto del fuego, imposibilita la aplicabilidad de una asignación presupuestaria permanente en la mayoría de los países que presentan problemas de incendios forestales, obligando a fluctuaciones en las cantidades disponibles para atender a las operaciones de extinción.

A título de ejemplo, en la década de los noventa, el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, gastó más de 7 mil millones de dólares en actividades de defensa contra incendios forestales, controlando más de 1 millón de incendios que afectaron más de 15.5 millones de hectáreas de terrenos públicos y privados. Para el mismo periodo, el promedio quinquenal de la segunda parte de la década fue más de 244 millones de dólares más alto que la primera mitad. Cerca del 52 por ciento del total de los gastos de extinción son atribuibles a la extinción directa de los incendios (González-Cabán, 2002).

Para el decenio 1991-2000 y para el caso anteriormente indicado se puede comprobar la variabilidad en la asignación presupuestaria entre las partidas correspondientes a pre-extinción (costes de organización y gestión) y las partidas correspondientes a extinción (figura n°:1). La incertidumbre que rodea la época de máximo peligro en cuanto a la intensidad, virulencia, número de incendios y daños que pudiera ocasionar, es un factor limitante que dificulta considerablemente la planificación y asignación de los presupuestos que van a ser necesarios. Tal circunstancia obliga tradicionalmente a las administraciones a prever de una contabilidad adicional para compensar en forma de gastos extraordinarios los imprevistos generados con la llegada de años de especial gravedad.



En términos promedios y continuando con el caso de los Estados Unidos, se puede indicar que los gastos anuales alcanzaron una media de 265 millones de dólares entre los años 1970 y 1999, mientras que en los años posteriores (período 2000 al 2006), los costes de extinción superaron la frontera de los mil millones anuales, este fuerte incremento es debido a su vez a la mayor intensificación tanto en la ocurrencia como en las superficies recorridas por el fuego. Con independencia de los riesgos inherentes al comportamiento antrópico, la influencia propiciada por el cambio climático acusa una agravada desorganización en los parámetros meteorológicos, generando ello considerables alteraciones en el comportamiento del fuego, intensificando la propagación, dificultando las operaciones de extinción y elevando considerablemente los costes de extinción, 315 millones de dólares en 1999 frente a 924 millones de dólares en el año 2000.

En general se puede afirmar que no existe un modelo único para la planificación y gestión de los presupuestos destinados a la extinción. Realizando una revisión global de los procedimientos que presentan mayor frecuencia se puede indicar entre otros los siguientes:

- Planificación de un presupuesto completo para el programa de defensa contra incendios forestales, en el que la parte correspondiente a extinción se compone de una partida fija que cubre los gastos fijos de la organización, la contratación de los recursos tanto humanos como materiales y una partida variable según el coste de las intervenciones que hayan sido realizadas a lo largo del período de incendios forestales.
- Disponibilidad de partidas presupuestarias para la extinción en el que los costes de intervención están cubiertos haya o no actuaciones de extinción, incluyendo una única partida de reserva en concepto de gastos extraordinarios, para afrontar situaciones complicadas que por motivo de la ocurrencia de grandes incendios, obligue a la contratación suplementaria de recursos.
- Disponibilidad de presupuestos que cubren a priori sólo los gastos fijos de la organización y estructura del dispositivo de extinción, agregándose a éste la suma de partidas que según la evolución de la campaña permitan la ampliación de recursos humanos y materiales. La diferencia con los anteriores modelos radica en que en este caso los recursos no son estables en campaña, partiéndose de unos mínimos y modificándose por agregación de unidades de combate según necesidad. Esta modalidad se corresponde con aquella que no se identifica con el concepto de profesionalidad de los recursos disponibles, estando caracterizada por contrataciones de personal no cualificado y sujeto a rotaciones contractuales.
- En último lugar podríamos citar situaciones alejadas de toda modelización que responden a improvisaciones organizativas que intentan responder a las operaciones de extinción según se van presentando los problemas. Esta situación es propia de países que bien no cuentan con un histórico de ocurrencia de incendios y recientemente se encuentran con el inicio de los mismos o el nivel de desarrollo socioeconómico les impide abordar la planificación estratégica de la extinción con criterios de profesionalidad.

El análisis de los costes de las operaciones de extinción y por consiguiente la planificación de los correspondientes presupuestos, viene siendo tratado por las administraciones responsables, desde una perspectiva bastante alejada de la eficiencia económica, tomándose decisiones de incrementos anuales sin atender criterios de coste-beneficio, rendimientos operacionales de los diferentes recursos de extinción, valoración económica de los recursos y depreciación potencial de los mismos ante el impacto de los incendios que puedan ocurrir. A veces el crecimiento anual de los incendios y/o de la superficie afectada representa en sí la justificación para el incremento del número de efectivos y por consiguiente de los presupuestos para la extinción. Otras el ratio de superficie forestal se ha manejado como referente, no tanto para el establecimiento del número de recursos, sino como herramienta de comparación para decidir la adscripción de recursos en otras áreas colindantes, a partir de una que se ha fijada como tipo o modelo.

En todo caso se puede afirmar que no es frecuente el empleo de herramientas de análisis económico para la definición de los presupuestos de extinción, ello es debido en parte al desconocimiento de las mismas por parte de los usuarios y a la escasez de herramientas diseñadas para ayudar a la toma de decisión en esta línea de la eficiencia económica. Algunos países cuentan con alguna experiencia en el diseño y gestión de modelos de análisis económico de los programas de defensa contra incendios forestales. Entre ellos se pueden citar; Estados Unidos (modelo NFMAS; National Fire Management Analysis System, modelo FPA; Fire Protection Analysis, actualmente en desarrollo), Canadá (modelo LEOPARDS; Level of Protection Analysis System.), España (modelo SINAMI, Sistema Nacional para el Manejo de Incendios Forestales, y su programa de análisis económico ECONOSINAMI, concluido en el año 2006 y actualmente en fase de prueba).

En el contexto del mediterráneo se puede indicar que los presupuestos dedicados a la defensa contra incendios forestales también han venido experimentando fuertes incrementos, destacándose el último decenio como período en el que se produjeron los mayores crecimientos, llegándose en la actualidad y en algunos países, a situaciones de cierta estabilidad en las asignaciones presupuestarias, en las que los incrementos anuales viene a recoger básicamente el índice de precios al consumo (IPC). Esta situación normalmente viene a coincidir con aquellos países que han conseguido implantar una organización profesionalizada para atender a la extinción de incendios forestales. En el caso de España el presupuesto específico de extinción se puede considerar que viene a representar un 60%, restando el 40% restante para las partidas destinadas a pre-extinción. Como referencia la media del último quinquenio ha representado un presupuesto de 480 millones de euros, de los que 287 millones de euros han sido destinados a extinción y el resto a pre-extinción. En término de costes unitarios estas partidas proporcionan un ratio de definición presupuestaria por unidad de superficie forestal a defender, como puede ser el presupuesto disponible para extinción y por unidad de hectárea forestal ($P_{\text{extinción/ha forestal}}$), situándose éste en 19,2 €/ha., siendo su repercusión territorial oscilante dentro de un intervalo localizado entre los 10 y los 25 €/ha.

VARIABLES NECESARIAS PARA EL ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ECONÓMICA EN LA EXTINCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES.

El desarrollo de estudios y análisis económicos dirigidos a la búsqueda de la planificación eficiente de los programas de defensa contra incendios forestales, requiere de la disponibilidad de un conjunto de bases de datos, sin las cuales no se puede abordar el trabajo. La gestión anual de las operaciones de control y extinción de incendios forestales proporciona posibilidades para la recolección de datos, sin embargo las dificultades de tomar y registrar la información por los propios actores del sistema de lucha contra incendios, viene siendo la causa de la pérdida continuada de datos. Para solventar esta circunstancia es recomendable la creación y disponibilidad de equipos especializados en la interpretación y toma de datos derivados de las operaciones de extinción de incendios forestales. De acuerdo con ello se consideran necesarias las bases de datos generadas a lo largo de un período temporal concreto (un decenio), en las que se deberán incluir las siguientes variables:

- Identificación de la unidad de trabajo: espacio protegido, monte, comarca
- Información relativa a las zonas de análisis de gestión de los programas de protección y defensa, también llamadas zonas de análisis de manejo de fuegos
- Límites superficiales para incendios escapados del estándar de ataque inicial
- Cartografía temática: modelos de combustibles y coberturas forestales
- Presentación de incendios por año y por niveles de intensidad de los mismos
- Velocidad de propagación al 50 y 90 percentil
- Dimensiones de superficies afectadas en el momento de la detección
- Obtención del histórico de ocurrencia de los incendios referenciados geográficamente a partir de la base de datos nacional de estadística de incendios forestales
- Determinación zonificada de las condiciones meteorológicas más frecuentes a partir de los ficheros históricos.
- Determinación de la herramienta de evaluación potencial de daños y perjuicios para su aplicación en la evaluación económica. Esta aplicación esta dirigida a la evaluación de polígonos del territorio (incluidos en las zonas de análisis y manejo de incendios forestales), tanto previa a la existencia de un incendio como para medición y estimación real en el caso de los acaecidos
- Producción de los medios de extinción, determinado mediante la incorporación de las curvas de rendimientos de apertura de líneas de defensa según modelos de combustibles
 - Sistema de detección
 - Sistema de despacho de medios de combate
 - Tiempos de llegada
 - Tamaño a la detección
 - Frecuencia de incendios por nivel de intensidad de incendio forestal
 - Determinación comparada entre la velocidad de desarrollo de la línea de defensa (en establecimiento de la línea de control) y la velocidad de crecimiento del perímetro del incendio.

- Coste de operaciones de extinción en promedio por hectárea
- Incendios escapados al control esperado
- Coste unitario por misión
- Estimación de efectos del incendio y valoración de los recursos (cambio neto en el valor)
- Obtención de los costes operacionales más el cambio neto en el valor de los recursos

La elección de los recursos de extinción y la función de utilidad asociada.

El problema de la elección de la cantidad y tipología de los recursos de extinción para su incorporación a un modelo organizativo del combate de incendios forestales, así como el tratamiento individualizado según operaciones de extinción, puede ser analizado desde la teoría de la utilidad. Ésta nos proporciona vía maximización el beneficio derivado del consumo de determinados bienes previamente seleccionados.

Ahora bien la aplicación concreta a la realidad operacional de la extinción nos obliga a considerar la ley de utilidad marginal decreciente, quedando caracterizada ésta por:

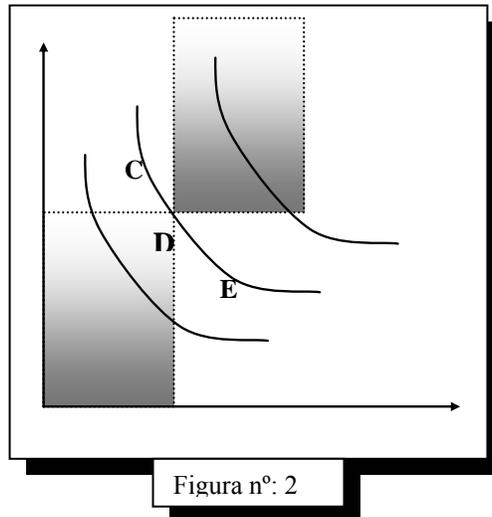
- Las primeras unidades despachadas (unidades consumidas), representan un elevado nivel de utilidad al consumidor (organización definida para el combate).
- Cuando se ha alcanzado un alto nivel de concentración de recursos en el área de las operaciones de extinción (consumo elevado), una unidad más, apenas proporciona satisfacción al consumidor, con lo que la utilidad marginal es muy pequeña, la utilidad total no sufre una mejora sustancial, y sin embargo sí se incrementan los costes.

Ante esta situación la organización definida para el combate (modelo o plan de lucha establecido) y dadas las variedades y combinaciones de despacho de recursos, el plan debe jerarquizarlas en función de la utilidad que cada una de ellas le genera, mediante un mecanismo de ordenación de las preferencias.

Este mecanismo o sistema de ordenación de las preferencias, ha de cumplir con la propiedades de *completitud* (ha de tener en cuenta todas las posibles combinaciones de recursos de extinción a despachar), *transitividad* (si se prefiere un recurso de extinción (A), frente a otro (B), y a su vez se prefiere éste último a otro (C), entonces el recurso (A) se prefiere al (C), *se prefiere más recursos a menos* (en principio no existe saturación en el consumo de los bienes, si bien existen algunos bienes cuyo consumo tienen un límite, a partir del cual, dejan de proporcionar satisfacción). El sistema de ordenación de las preferencias del consumidor que verifica las condiciones anteriores es el constituido por *las curvas de indiferencia* (Muñoz, 2006).

Una curva de indiferencias manifiestan el mismo grado de utilidad de todas las combinaciones de recursos que pertenecen a ella misma, mientras que

aquellas curvas que se alejan del origen de coordenadas, presentan mayor utilidad que las anteriores (mayor proximidad al origen de coordenadas), en este sentido la utilidad que proporcionan la combinación de recursos C, D y E, proporcionan la misma utilidad (efecto en las tareas de extinción) mientras los puntos o combinaciones localizadas en la curva de indiferencia siguiente en alejamiento proporcionan mayor utilidad (figura nº: 2).



La pendiente de las curvas de indiferencia, representa la relación marginal de sustitución, y viene a indicar la valoración que el consumidor (sistema de extinción o plan de lucha) realiza de un bien frente al otro (es decir de un recurso de extinción frente al otro, o de una combinación de recursos de extinción frente a otra combinación).

$$\text{RMS} = \Delta Y / \Delta X$$

Si el conjunto de recursos de extinción de incendios forestales o combinaciones posibles de ellos (X_i) se integran en la función de utilidad (U), entonces,

$$U = f(X_i), \text{ la relación marginal de sustitución será } \text{RMS} = [\partial X_i / \partial X_j] U$$

Admitiendo la constancia de la función de utilidad, se puede obtener las variaciones de la utilidad del sistema de extinción cuando se modifican las cantidades consumidas de cada uno de los bienes (cantidades despachadas de un recurso de extinción), es decir la utilidad marginal de cada uno de los recursos de extinción, o dicho de otra forma el incremento porcentual que se produce en el nivel de satisfacción (eficacia en la extinción en términos de la disminución de superficie afectada por incendio intervenido) al incrementarse en una unidad la cantidad del recurso sobre el que se analiza la utilidad marginal.

$$\partial U = \Sigma (\partial U / \partial X_i) \partial X_i = 0$$

La solución al problema de la elección entre los recursos disponibles o combinación de ellos, hay que contar con la información necesaria y ésta ha

de estar compuesta por: los recursos de extinción entre los que realizar la elección, la restricción presupuestaria (máximo presupuesto disponible para cubrir los costes operacionales) y el mapa de curvas de indiferencias. La restricción presupuestaria que es tangente en el punto (A) a la curva de indiferencia representa la relación marginal de sustitución del recurso X_j por el recurso X_i , siendo ésta exactamente el cociente entre los precios relativos de X_i (P_i) y X_j (P_j), (figura nº: 3). Lo que se puede expresar de la siguiente forma:

$$UMgX_i/P_i = UMgX_j/P_j$$

De esta forma si el sistema tiene un presupuesto asignado y ha de elegir entre dos recursos o combinaciones de recursos, distribuirá dicho presupuesto entre ellos de forma que las utilidades marginales de los bienes sean proporcionales a sus precios respectivos, de esta forma en condiciones de equilibrio, el sistema (el consumidor en términos económicos), obtiene la misma utilidad marginal por unidad monetaria gastada en el recurso (o combinación de ellos) X_i que en el recurso X_j .

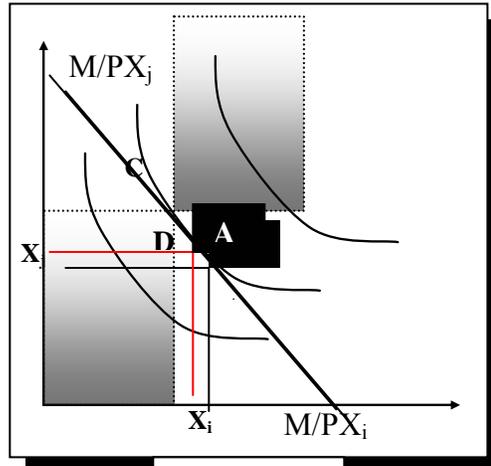


Figura nº: 3

La solución algebraica al problema de la elección se puede determinar mediante el uso de Multiplicadores de Lagrange, para ello a partir de la función de utilidad (por ejemplo mínima superficie afectada), el presupuesto disponible (M), las cantidades de cada uno de los recursos (X_i) y sus correspondientes precios (P_{xi}) se procede algebraicamente mediante la composición de la función de Lagrange, (t_i , representa el tiempo de utilización del recurso (i)).

$$M > \sum P_{xi} \cdot X_i \cdot t_i$$

$$V = u(X_{1,2,3,4,\dots,n}) + \lambda(M - \sum P_{xi} \cdot X_i)$$

$$\partial V / \partial X_i = \partial U / \partial X_i - \lambda P_{xi} = 0$$

$$\partial V / \partial \lambda = M - \sum P_{xi} \cdot X_i = 0$$

El multiplicador de Lagrange indica como varía la utilidad cuando se incrementa el gasto monetario en X_i , mide por tanto la utilidad marginal del presupuesto de extinción disponible.

Aproximación a la medición de costes de extinción y efectividad en las operaciones de extinción. Utilidades de la programación lineal.

En el proceso de optimización de despacho de recursos tras la detección y localización del área inicialmente afectada, se han de generar previamente bases de datos que permiten posteriormente la aplicación de algoritmos de programación dinámica, herramientas éstas elaboradas con objetivos específicos dirigidos a planificar las acciones de defensa bajo las premisas de alcanzar la menor superficie afectada con el menor coste de extinción y la mayor protección de los recursos naturales del sistema forestal afectado. El tiempo de llegada de los recursos (tiempo de viaje desde la base de procedencia), los costes de desplazamiento, los ratios de producción de línea de fuego controlada y los costes de funcionamiento operacional en extinción, conforman los datos imprescindibles para la aplicación de las técnicas de optimización. El tiempo transcurrido entre la llegada de los recursos y la de contención del incendio determina la cantidad de línea de fuego que puede ser construida (Wiitala, 1997). Este tiempo también proporciona el coste total de construcción de línea de fuego controlada obtenida sobre la suma de todos los recursos individuales despachados al incendio. La determinación del coste más eficiente es el resultado de la combinación de recursos que permitirá realizar la construcción de línea con el menor coste, y en un tiempo de contención establecido. La disponibilidad de la tabla de rendimientos según los diferentes modelos de combustibles es imprescindible para realizar todo análisis económico. Como referencia en la definición de las herramientas necesarias, se ha considerado oportuno incorporar los recientes resultados que en el proyecto de investigación SINAMI (Rodríguez y Silva, 2004), han permitido obtener ratios de producción de línea de fuego controlada para medios aéreos y vehículos de extinción (figura nº: 4). Estos resultados se han incluido junto con los rendimientos de los medios humanos (Porrero M., Chico F., 2000), permitiendo disponer de una variada gama de medios de combate para realizar las diferentes opciones de combinaciones de recursos que son analizadas según costes operacionales (costes de desplazamiento y costes trabajo en extinción) para los distintos tiempos de contención de perímetro.

Modelo de comb.	Brigada m/min	Grupo de extinción m/min	Vehículo extinción m/min	Bell 212 m/min	Tractor D6 m/min	Anfib. m/min	ACT802 m/min	Bell 412 m/min
1	15	11	25	95	65	120	100	95
2	11	8	20	95	65	120	100	95
3	10	6	20	85	45	110	90	85
4	5	4	10	25	25	40	30	25
5	8	6	18	45	45	60	50	45
6	7	5	10	30	40	50	45	30
7	7	5	9	20	35	35	25	20
8	7	5	8	50	15	90	70	50
9	6	5	8	50	15	90	70	50
10	6	4	7	45	15	80	65	45
11	5	3	7	35	12	45	35	35

Figura n: 4

En el algoritmo de programación lineal, cada recurso de extinción representa una variable (i) en el proceso secuencial de cálculo, dicho recurso si es seleccionado en la combinación de recursos definida como opción (j), aporta su ratio de producción de línea de fuego controlada, tal que la sumatoria de los esfuerzos individuales de los recursos proporciona una capacidad operacional en términos de generación de la línea envolvente al perímetro del incendio. De acuerdo con ello, el algoritmo requerido para poder realizar el análisis mediante programación dinámica, puede tomar el siguiente formato,

$$\Phi_i(j) = \min[x_i C_i + \Phi_{i-1}(1-x_i R_i)]$$

En la que (R_i) representa el rendimiento en producción de línea que dicho recurso proporciona al esfuerzo conjunto, (C_i), es el coste que representa la utilización del recurso (i), (x_i) parámetro que toma valor 0 ó 1 si el recurso en cuestión no es o si es seleccionado en la combinación (j) (Wiitala, 1997). Para el desarrollo de la aplicación es necesario definir previamente las condiciones del escenario en donde se quiere realizar el análisis, para ello la definición del modelo de combustible de mayor representatividad (o la combinación de los tres de mayor presencia), permite conocer la combustibilidad, posteriormente la selección de los valores más frecuentes de los parámetros meteorológicos, y la influencia del relieve topográfico, proporciona la información necesaria para determinar la velocidad promedio de avance del fuego en metros por minuto (Rothermel, 1984). Con el establecimiento de diferentes posibilidades de tiempos de contención, se calculan las correspondientes superficies y perímetros afectados. Las estrategias de extinción de acuerdo con lo anterior se basan en la selección de distintas combinaciones tanto en cantidad como en tipos distintos, de entre los recursos disponibles. Si del territorio o zona de análisis se considerase que la totalidad de superficie está cubierta por un modelo de combustible caracterizado por matorral bajo y denso (modelo 5 de la clasificación Behave, (Anderson, 1982)), se establecieron cuatro posibles tiempos de control 2, 4, 6 y 8 horas, y las condiciones promedio de propagación se pronosticaron para 15,4 m/min, con estas condiciones y para los tiempos de contención anteriormente indicados, se obtendrían los siguientes áreas y perímetros afectados, (figura nº:5).

Tiempo de contención (horas)	Superficie afectada (ha.)	Perímetro (m.)
2	92,3	4.213,4
4	369,3	8.426,8
6	830,8	12.640
8	1.477	16.853,5

Figura nº:5

El modelo operacional realiza la combinación de recursos de extinción, teniendo en cuenta los ratios de producción de línea controlada (figura nº:6) y enfrenta el perímetro construido con el perímetro desarrollado por el fuego para el tiempo de contención seleccionado.

Cost-efficiency in wildland FIRE management. Coste y eficacia en las operaciones de extinción de incendios forestales, fundamentos y herramientas para su estudio y análisis- Rodríguez y Silva;

Recursos de extinción	Coste	Ratio de producción	Tiempo de respuesta
Maquinaria	47,77 €/ h	45 m/min	120 min
Grupo de especialistas (7 personas)	97,29 €/ h	6 m/min	25 min
Brigada de especialistas (12 personas)	181,48 €/ h	10 m/min	70 min
Vehículo autobomba	46,34 €/ h	18 m/min	45 min
Helicóptero semipesado de transporte y extinción (Bell 412)	1.850 €/ h	45 m/min	45 min
Helicóptero de extinción y transporte de retenes (Bell 212)	1.175 €/ h	45 m/min	25 min
Avión de carga en tierra semipesado (AT-802)	2.146 €/ h	50 m/min	70 min
Avión anfíbio CL215T	3.200 €/ h	60 m/min	90 min

Figura nº: 6

Considerando que el coste representa el gasto que genera el recurso desde que es activado hasta que éste deja de estar en funcionamiento (coste de viaje más el coste de extinción), se pueden obtener los resultados para los cuatro tiempos posibles de contención, dependiendo del tiempo total de trabajo y del número de cada uno de los tipos de recursos que fueron seleccionados. Así para el caso que se ha planteado, se han obtenido los siguientes resultados (figura nº:7).

Recursos de extinción	2 horas	4 horas	6 horas	8 horas
Combinación de recursos nº	1	2	3	4
Maquinaria	-	1	1	1
Grupo de especialistas (7 personas)	1	1	-	1
Brigada de especialistas (12 personas)	-	1	1	1
Vehículo autobomba	1	1	1	1
Helicóptero semipesado de transporte y extinción (Bell 412)	-	-	-	1
Helicóptero de extinción y transporte de retenes (Bell 212)	1	-	-	-
Avión de carga en tierra semipesado (AT-802)	-	-	1	-
Avión anfíbio CL215T	-	-	-	1
Costes operación (viaje + extinción)	2.539,24€	1.291,68€	9.789,30€	22.778,508€

Figura nº: 7

La combinación de los recursos seleccionados en cada una de las opciones proporciona, para cada uno de los tiempos de contención y en función del tiempo de trabajo necesario el coste en euros de la operación de extinción. El análisis se puede reforzar si se dispone de una base de datos consistente en la que se contemple el “*factor de contracción superficial*” (FCS) (Rodríguez y Silva, 2005), éste ratio representa la eficacia en los trabajos de extinción, cifrado en la reducción de la superficie afectada por el incendio en evolución libre con relación a la superficie afectada final conseguida con la intervención de los medios de extinción, ambas para el tiempo en el que se alcanza el control del

incendio. Dicho factor consigue pronosticar una disminución en los costes operacionales, al reducir la superficie por efecto de los antecedentes históricos en la eficacia de los medios de extinción. Con independencia de la disponibilidad de la base de datos, se incluye a continuación una tabla de orientación obtenida en el seguimiento del comportamiento de este ratio en Andalucía (España), durante los últimos seis años y sobre los resultados proporcionados por la eficacia de los medios de actuación del Plan de Lucha contra Incendios Forestales de dicha comunidad autónoma (Plan INFOCA) (figura nº: 8).

Tasa efectividad Ext.	Clasificación
0-0,28	Bajo
0,281-0,48	Moderado
0,481-0,8	Alto
0,81-1	Muy alto

Figura nº: 8

Como ilustración del análisis se ha incluido un gráfico (figura nº: 9) que permite comparar entre las cuatro opciones de recursos seleccionados y los diferentes tiempos de contención, los resultados de costes que se obtienen. Una variante del modelo de programación lineal es el que se obtiene cuando estableciendo un tiempo de contención fijo, se analizan las diferentes combinaciones de medios de actuación con el fin de seleccionar aquella que representa el menor coste operacional.



Figura nº: 9

El enfoque completo del análisis económico de los costes operacionales, no debe quedar limitado a un comparativo de costes según la eficacia obtenida con las combinaciones de medios de extinción. Es necesario profundizar más en la cualificación del proceso de análisis y diagnóstico. Para ello es importante incorporar al procedimiento de análisis, la valoración de los recursos naturales existentes en los ecosistemas forestales, ésta valoración socioeconómica matizada por la depreciación que resulta tras el impacto del incendio de características media, enriquece considerablemente la información que se obtiene, permitiendo incluso simular múltiples combinaciones de medios de extinción y comprobar cual es la opción mas eficiente. En este análisis se combina los costes de extinción, la depreciación en la valoración de los recursos naturales y el

presupuesto disponible, de la integración de todos ellos se obtiene la función que proporciona el coste agregado de extinción y depreciación socioeconómica de los recursos naturales, el valor mínimo de esta función proporciona el punto de mayor eficiencia económica.

Modelización de algoritmos para la evaluación económica de programas de defensa contra incendios forestales.

La modelización de algoritmos que permiten realizar evaluaciones económicas de los programas de defensa contra incendios forestales, responden a una estructura y composición que se puede identificar con lo indicado en el párrafo anterior. La utilización de métodos basados en análisis marginal, en programación lineal o en la obtención del equilibrio por intersección de curvas de demanda (necesidades de protección del ecosistema forestal) y de oferta (combinación de medios de extinción disponibles), proporcionan herramientas de gran utilidad para establecer la planificación de presupuestos con una visión prolongada en el tiempo (anualidades futuras).

Para el caso de ecosistemas mediterráneos, se ha concluido recientemente en España, el desarrollo de un modelo de evaluación (ECONOSINAMI) (Rodríguez y Silva, 2006), que integra variables que permiten incorporar la valoración socioeconómica de los recursos naturales (tangibles e intangibles) y su depreciación por impacto del fuego, los costes de las operaciones de extinción, la caracterización de las áreas de análisis y los rendimientos operacionales de los medios de extinción en la consolidación de líneas de control. Este programa ofrece al usuario las posibilidades de seleccionar de forma personal las distintas combinaciones de medios de extinción y con ellas realizar las simulaciones de análisis económico que proporcionan de forma comparada la solución más eficiente (menor coste operacional, mayor protección de los recursos naturales y menor superficie afectada).

Este modelo compara el perímetro de fuego con la línea producida por los medios de extinción, considerándose este último como un polígono curvilíneo envolvente de la superficie afectada. Los recursos combinados de forma diferente de acuerdo a filosofías de ataque definidas por el usuario tienen un costo total de extinción, y la superficie afectada por el fuego mediante la simulación, presenta un costo total en las pérdidas o cambio en el valor neto de los recursos naturales por impacto del fuego. Ambos costes conforman la curva de la demanda ($D = C + CNV$). El presupuesto más eficiente se obtiene aplicando el criterio de análisis marginal a la función de demanda definida.

$$R = \sum_i^n q_i \times p_i \times t_i + \sum_j^n CNV_j$$

Con,

(q_i) número de medios de extinción del tipo (i)

(p_i) coste por unidad de tiempo del medio (i)

(t_i) tiempo del funcionamiento del medio (i)

(CNV_j), cambio en el valor de los recursos naturales por impacto del fuego

El valor mínimo de la curva de demanda ($D = C+CNV$), es el presupuesto más eficiente de las filosofías de extinción establecidas. Mediante la aplicación del análisis marginal, se obtiene este presupuesto con la función siguiente:

$$\frac{\partial R}{\partial q_i} = 0$$

Es posible al considerar dos opciones, primero limitar el tiempo de ataque inicial o limitar la superficie del fuego máximo. Cuando el perímetro del fuego es superior al de la línea de control de perímetro, realizado por los medios de extinción, entonces el modelo selecciona de la base de datos histórica de costes de incendios, el valor equivalente al incendio simulado, en este caso el fuego tiene la consideración de incendio escapado. Cuando el perímetro del fuego es más pequeño que el de la línea de control de perímetro, realizada por los medios de extinción, entonces el modelo calcula la función $C+CNV$ para obtener el presupuesto más eficiente. El modelo ha sido programado en C++ y presenta un formato modular, incorporando facilidades para la agregación futura de nuevas variables al proceso de análisis económico, (figuras nº: 10, 11 y 12).

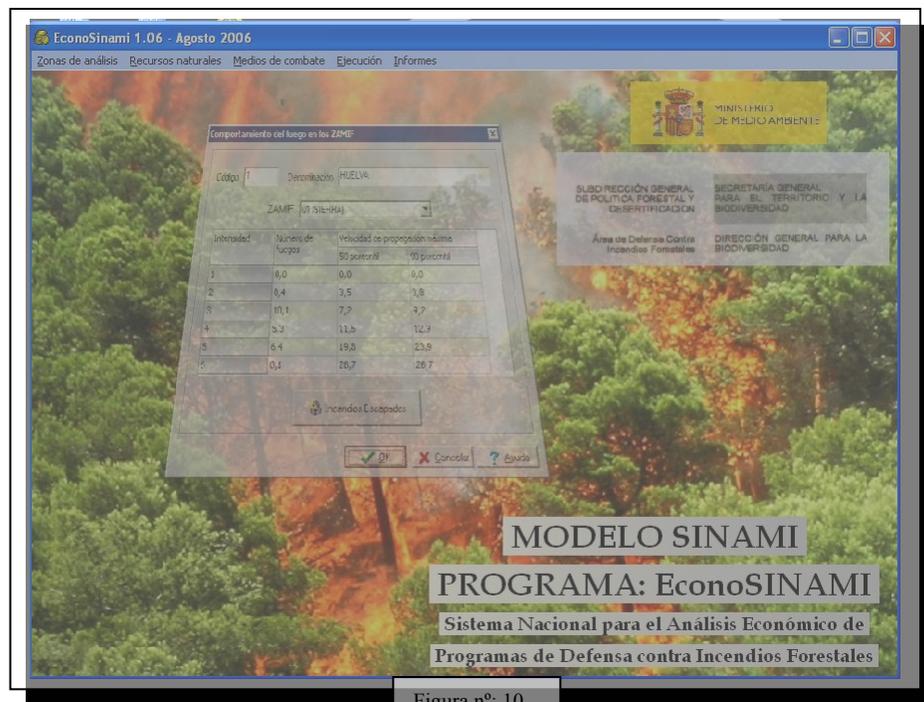


Figura nº: 10

Cost-efficiency in wildland FIRE management. Coste y eficacia en las operaciones de extinción de incendios forestales, fundamentos y herramientas para su estudio y análisis- Rodríguez y Silva;

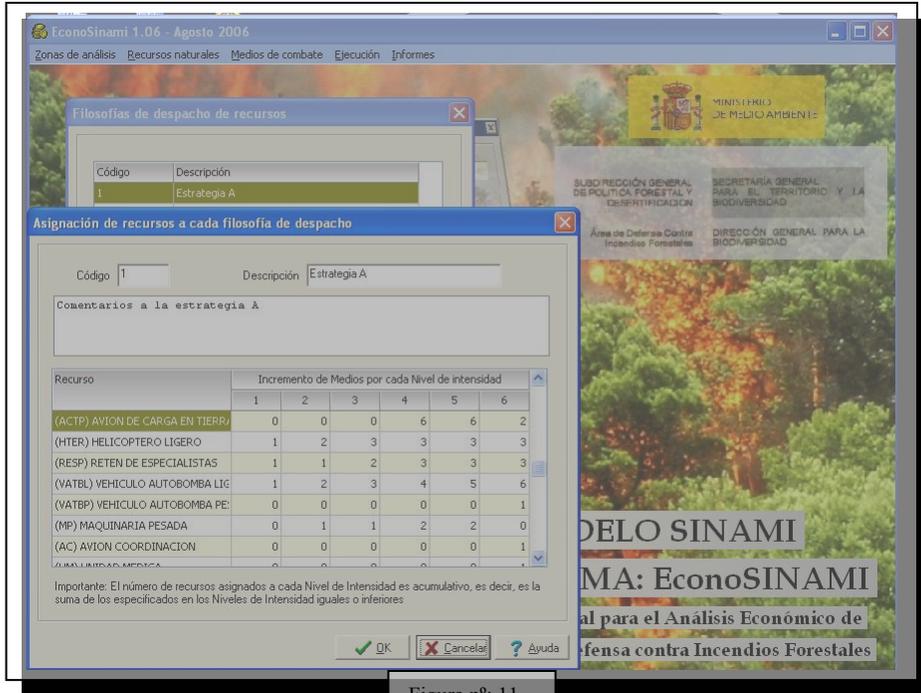


Figura nº: 11

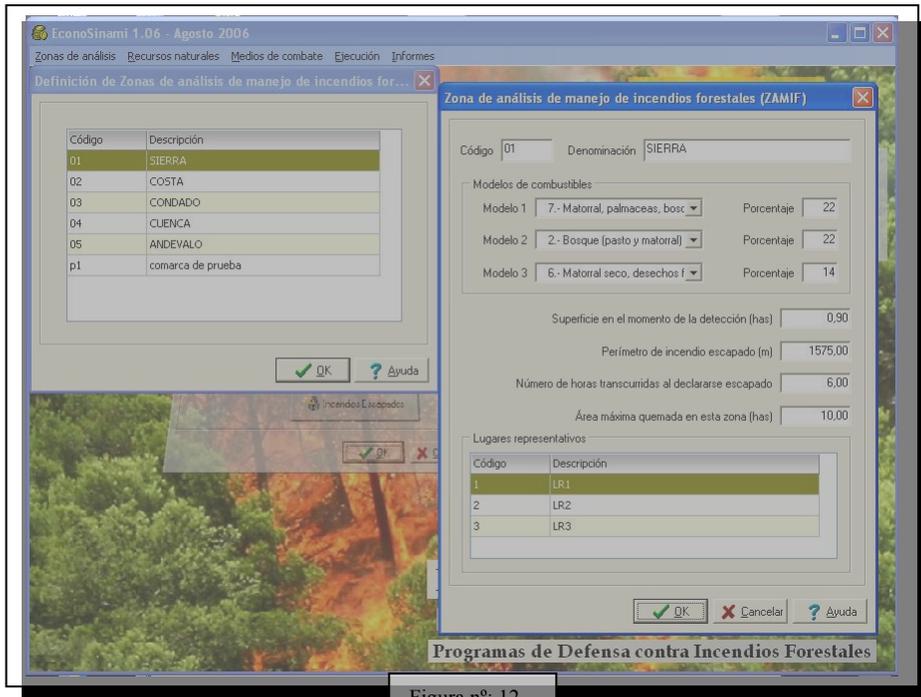


Figura nº: 12

Agradecimientos

El autor quiere expresar su agradecimiento al Área de Defensa contra Incendios Forestales de la Dirección General para la Biodiversidad (Ministerio de Medio

Ambiente) por el material técnico y documental facilitado, así como por la financiación económica asignada mediante el convenio de investigación para el desarrollo de un modelo de evaluación económica de los programas de defensa contra los incendios forestales (SINAMI), suscrito entre dicha institución oficial y la Universidad de Córdoba.

Referencias bibliográficas

- Anderson, H.; 1982. **Aids to determining fuel models for estimating fire behavior.** National Wildfire Coordinating Group. USDA Forest Service. USDI. National Association of State Foresters. General Technical Report INT-122.
- González-Cabán, A; 2002. **Costes de los medios aéreos de combate de incendios forestales en el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos: una primera aproximación.** La Gestión en la Defensa contra Incendios Forestales, I Simposium Internacional. Universidad de Córdoba, Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía).
- Muñoz, A.; 2006. **Introducción a la Economía. Microeconomía.** Master de Economía Aplicada. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Madrid.
- Rodríguez y Silva, F.; 2004. **A model for the financial assesment of forest fire prevention plans in mediterranean forest ecosistemas.** 2nd. Symposium on Fire Economics, Planning and Policy: A Global View. Universidad de Córdoba. USDA Forest Service. Ministerio de Medio Ambiente. Tragsa. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Junta de Andalucía (Consejería de Medio Ambiente). Córdoba. España.
- Rodríguez y Silva, F.; 2005. **Sinami, un método para el análisis económico de los planes de defensa contra incendios forestales mediterráneos, desarrollo de una aplicación desde una perspectiva provincial.** 4º Congreso Forestal Español. La ciencia forestal: respuesta para la sostenibilidad. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Junta de Andalucía. Gobierno de Aragón. Zaragoza.
- Rodríguez y Silva, F.; 2006. **Sinami, a national model to evaluate the economic aspect of the forest fire management programs in Mediterranean ecosystems.** Abstracts of the 5th International Conference on Forest Fire Research. Figueira da Foz. Portugal
- Porrero, M.; Chico, F.; 2000. **Rendimiento del personal de extinción.** La Defensa contra Incendios Forestales, Fundamentos y Experiencias. Coordinador Ricardo Vélez. Editorial McGraw-Hill. Madrid.
- Wiitala, M.; 1999. **A dinamic programming aproach to determining optimal forest wildfire initial attack responses.** Proceedings of the Symposium of Fire Economics, Planning and Policy: Bottom Lines. USDA Forest Service. PSW-GTR-173 San Diego, California.