



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

Gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

Aproximación metodológica para modelización econométrica de la productividad en la extinción de incendios forestales.

Francisco Rodríguez y Silva

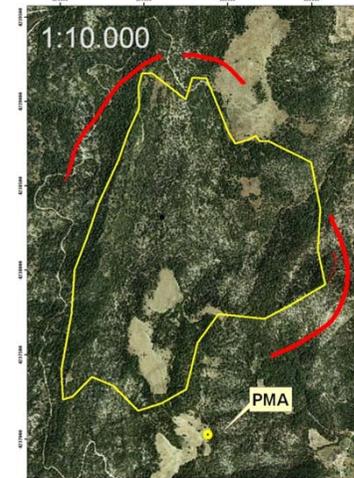
Laboratorio de Defensa contra Incendios Forestales. Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes. Universidad de Córdoba, Edificio Leonardo da Vinci. Campus de Rabanales. 14071 Córdoba. Correo electrónico: ir1rosif@uco.es

29 de Junio de 2017, Plasencia

Introducción

La necesidad racional de hacer un uso eficiente de los presupuestos disponibles, obliga a dirigir las inversiones en la línea de los menores costes con los máximos beneficios. Consideraciones de partida:

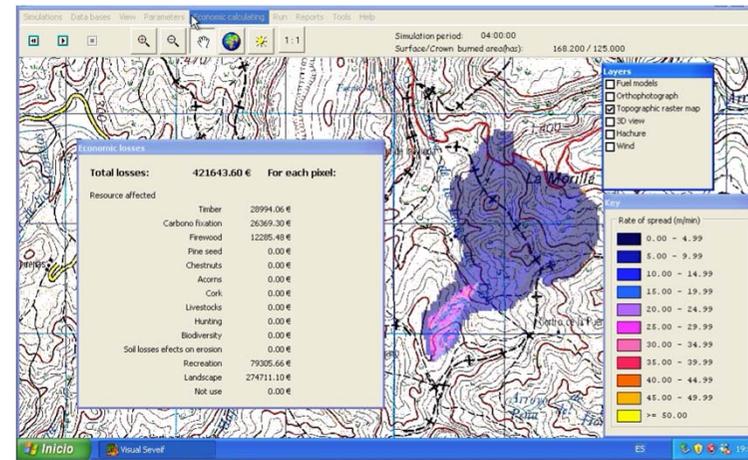
- ❑ la incorporación de herramientas de naturaleza econométrica, permiten implementar modelos y algoritmos que ayudan a establecer criterios de optimización en la asignación de los presupuestos
- ❑ Importancia de la capitalización de la experiencia, ya que del análisis de cómo se gestionaron las operaciones de extinción, los recursos despachados y los costes generados, se puede llegar a modelar el proceso



Introducción

El análisis de la eficiencia y productividad ofrece interesantes opciones de cara al estudio combinado de

- los costes de extinción y
- valoración económica residual de los recursos naturales tras sufrir el impacto del incendio forestal.



Permitiendo a partir de los resultados, de una parte

- analizar y clasificar los resultados obtenidos tras la aplicación operacional de las opciones de extinción acordadas y de otra,
- obtener la información necesaria para la realización de ajustes en la combinación de los recursos de extinción.

Sin duda todo ello ofrece herramientas de carácter objetivo para su aplicación en la planificación económica y en la toma de decisión.

Introducción

A partir de la construcción de una base de datos documentada de **registros operacionales relacionados con las operaciones de extinción de incendios**, se facilita la capitalización de la experiencia. Consideraciones:

- ❑ Las oportunidades para generar resultados a partir de las experiencias vividas, constituyen opciones en las que para poder avanzar en la senda de **reducción de la incertidumbre**.
- ❑ La designación y composición de los medios de extinción en la conformación de los equipos de trabajo, suele ser el resultado de agregación progresiva de unidades y tipos, según la conflictividad del escenario operacional. Este procedimiento responde a una lógica intuitiva, pero es alejada de procedimientos previsores basados en **estudios de eficiencia y productividad**.



Esta segunda opción, presenta serias ventajas frente a la improvisación más o menos rutinaria, que supone la elección sin conocimientos de las capacidad operacionales integradas que representa la conformación de equipos de ataque. Para ello es necesario contar con la información de base sobre la que poder aplicar el procedimiento.

Objetivos

El objeto del presente trabajo, es realizar una aproximación de carácter metodológico, que permita sentar las bases para abordar estudios y análisis sobre

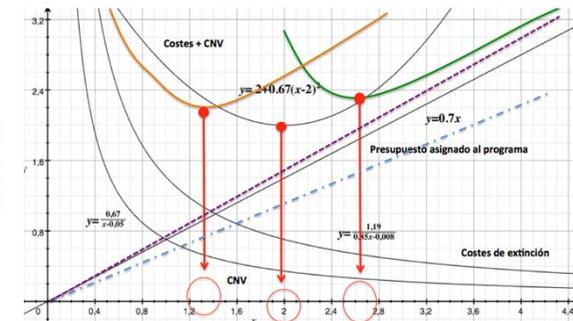
la eficiencia y productividad de las operaciones de extinción de incendios forestales

Para ello se ha considerado de importancia determinar

❑ la estructura y naturaleza de la base de datos que, a partir de los registros de los incendios acaecidos en una determinada comarca,

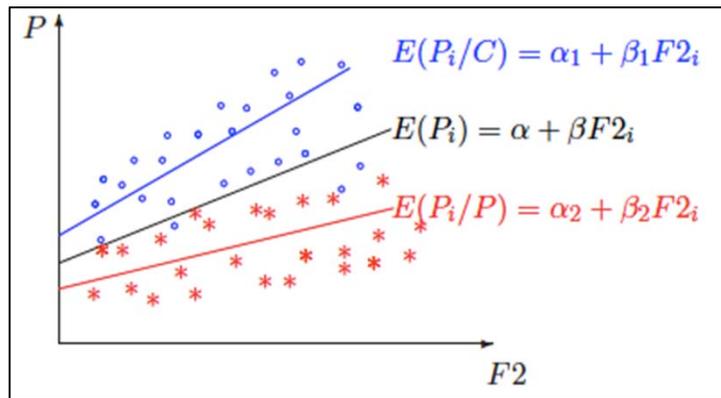


permitirán identificar las variables que pueden aportar información de relieve en la **modelización econométrica de la productividad** vinculada a las operaciones de extinción de incendios forestales.



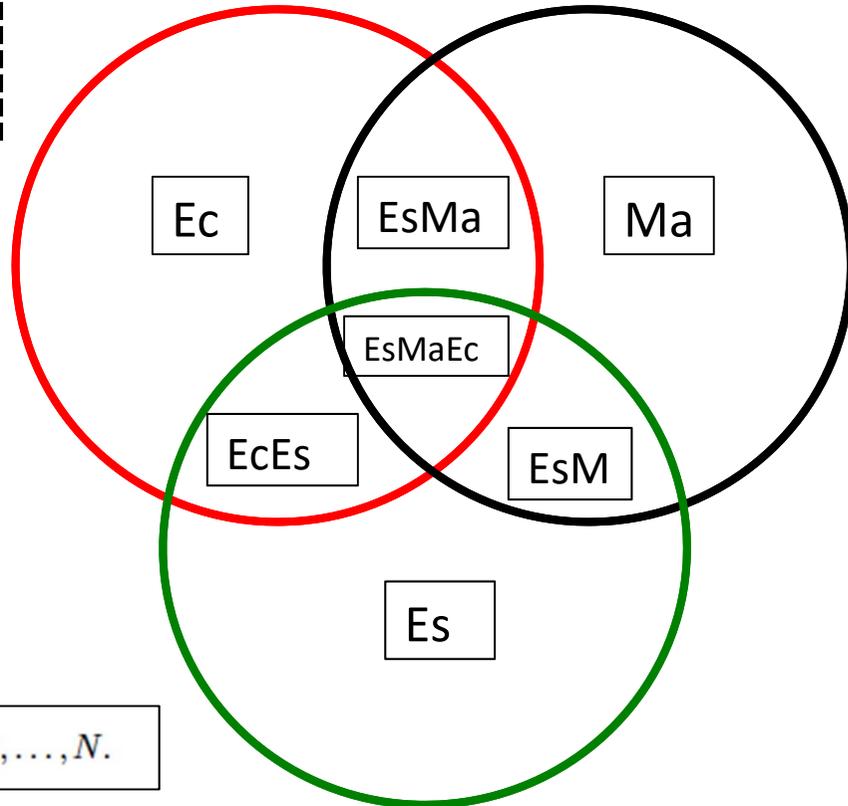
Objetivos

La eficiencia y productividad de las operaciones de extinción de incendios forestales, mediante la formulación econométrica



$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_K X_{Ki} + u_i \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_N \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 1 & X_{21} & \dots & X_{K1} \\ 1 & X_{22} & \dots & X_{K2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{2N} & \dots & X_{KN} \end{bmatrix} \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_K \end{bmatrix} \quad u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_N \end{bmatrix}$$



Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo han sido seleccionados un total de 20 incendios de la base de datos correspondiente al plan Infoca de Andalucía (2000-2006).

Tabla 1. Relación de incendios considerados para la elaboración del trabajo

Nº DEL INCENDIO	FECHA DEL INCENDIO	TERMINO MUNICIPAL	PERÍMETRO M	SUPERFICIE TOTAL Ha	SUPERFICIE TOTAL SIMULADA	COSTES DE EXTINCIÓN	COSTE EXTINCIÓN POR HA	DURACIÓN MINUTOS	RENDIMIENTO OPERACIONAL EN M/MIN
1	9-ago-02	MALAGA	48200	120,50	135,6	25.692,95 €	8.199,05 €	1089	44,3
2	22-jul-06	EL BURGO	44214,4	110,54	111,16	57.731,38 €	521,81 €	1307	33,8
3	9-sept-03	OJEN	5600	14,00	16,24	130.598,91 €	9.342,41 €	1280	4,4
4	9-ago-05	MALAGA	24120	60,30	63,68	137.459,14 €	2.473,02 €	1010	23,9
5	22-ago-04	FARAJAN	8400	21,00	25,68	107.331,67 €	5.117,32 €	350	24,0
6	26-jul-02	BENALMADENA	2800	7,00	13,12	58.445,40 €	8.490,44 €	840	3,3
7	20-jun-02	MALAGA	2560	6,40	64,92	91.979,51 €	14.365,24 €	645	4,0
8	2-ago-04	CORTES DE LA FRONTERA	6800	17,00	22,64	63.960,35 €	3.727,29 €	750	9,1
9	10-oct-05	ESTEPONA	27960	69,90	81,6	146.201,55 €	2.096,06 €	1190	23,5
10	9-jul-06	CASARES	39960	99,90	114,12	122.086,56 €	1.284,99 €	200	199,8
11	12-ago-04	COMPETA	7160	17,90	145,64	119.004,88 €	6.740,77 €	215	33,3
12	21-ago-04	GAUCIN	8000	20,00	1304,16	145.375,95 €	7.150,47 €	515	15,5
13	14-ago-04	MIJAS	7380	18,45	62,28	78.118,91 €	4.280,84 €	1418	5,2
14	18-ago-05	CASARES	24677,6	61,69	96,14	110.626,37 €	1.768,90 €	930	26,5
15	4-ago-06	FRIGILIANA	84000	210,00	927,12	334.004,32 €	1.594,66 €	1385	60,6
16	3-ago-06	CORTES DE LA FRONTERA	63440	158,60	1250,24	231.505,72 €	1.461,44 €	861	73,7
17	7-oct-06	MARBELLA	182932	457,33	833,64	234.354,69 €	512,44 €	780	234,5
18	8-oct-06	CORTES DE LA FRONTERA	240840	602,10	2393,72	307.941,21 €	511,32 €	1260	191,1
19	16-sept-06	CASARES	128264	320,66	724,12	97.066,87 €	303,79 €	774	165,7
20	21-sept-06	CASARES	182000	455,00	883,8	229.043,39 €	504,39 €	795	228,9

Metodología de la evaluación de la eficiencia (Rodríguez y Silva, González-Cabán. 2016), (Journal of Forest Economics (25) 2016)

Metodología

A partir de la generación de la base de datos obtenida a través de la capitalización, se ha de realizar la selección de las variables y parámetros que permitirán estudiar, analizar y evaluar la productividad y eficiencia de las operaciones de extinción. Fundamentalmente deberán ser considerados los siguientes:

- Tasa de producción de línea de fuego extinguida (m/min)
- Factor de contracción superficial ACF
- Superficie afectada promedio por incendio forestal registrado (ha/incendio)
- Costes de extinción promedio por superficie afectada, (€/ha)
- Costes unitarios de los medios de extinción
- Rendimientos operacionales por cada medio de extinción
- Cociente entre coste de extinción y cambio neto en el valor de los recursos
- Relación de medios de extinción intervinientes, con especial detalle en la proporción de tiempos individuales de actuación en relación con la suma total de tiempos operacionales de todos los recursos intervinientes por incendio.

Metodología

El análisis objetivo que proporcionan las técnicas de **evaluación de la eficiencia**, permite la reorganización estratégica con vistas a la mejor combinación de medios de extinción en función de los escenarios de supresión, máxime cuando en la evaluación se consideran

- costes,
- rendimientos operacionales
- superficie protegida frente al impacto del incendio forestal.

Las variables que han sido determinadas en el presente desarrollo metodológico en relación con la revisión de las operaciones de extinción han sido recopiladas para cada uno de los 20 incendios de forma tabulada, incluyendo información relacionada con los tiempos empleados para cada medio de extinción y sus correspondientes costes de extinción (tabla 2).

Tabla 2. Ejemplo de resultados obtenidos para un de los 20 incendios analizados en relación con los costes de extinción

Nº de unidades	Precios	Tipo de recurso de extinción. Incendio 14. 61,69 ha	Coste de extinción €	Tiempo de intervención en minutos	Ponderación (βj)	Numerador Eficiencia
	Unitarios € x hora					Ce*(βj)
1	5245,28	Avión CL215T	28.062,25 €	321	0,072954545	2.047,27 €
2	1830	Helicóptero Bell412	7.808,00 €	128	0,029090909	227,14 €
1	2100,8	Helicóptero KAMOV K32	18.031,87 €	515	0,117045455	2.110,55 €
2	653,2	Avión Air Tractor 802	9.035,93 €	415	0,094318182	852,25 €
4	217,49	Brigada de 12 componentes	12.251,94 €	845	0,192045455	2.352,93 €
2	73,2	Bulldozer	1.115,08 €	457	0,103863636	115,82 €
14	138,7	Brigada de 7 componetes	25.534,67 €	789	0,179318182	4.578,83 €
8	70,86	Camión autobomba	8.786,64 €	930	0,211363636	1.857,18 €
TOTAL			110.626,37 €	4.400		14.141,96 €

Metodología

Por otra parte, para la aplicación metodológica indicada anteriormente, se requiere la evaluación del **valor económico de los recursos naturales** (tangibles e intangibles) y las **pérdidas económicas** que de acuerdo al **nivel de intensidad energética** desarrollada por el fuego se produce en los recursos naturales afectados.

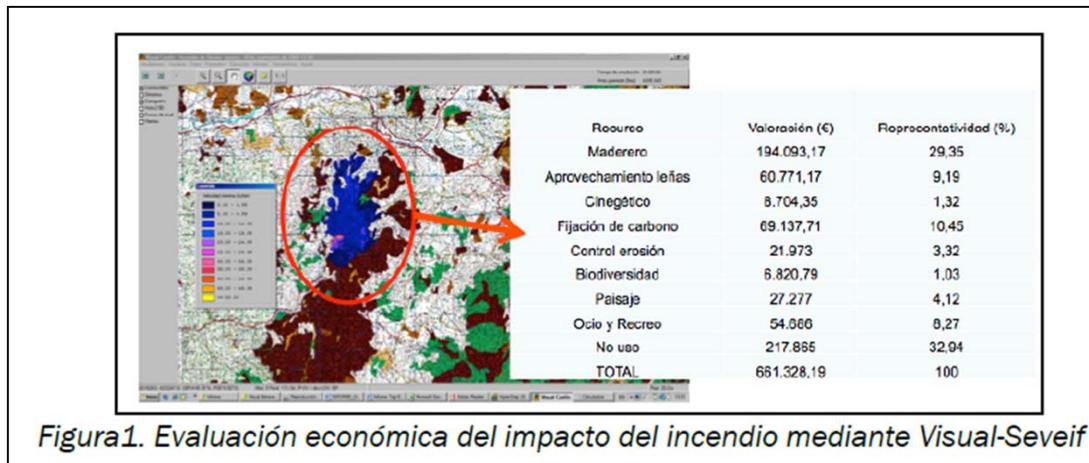


Figura1. Evaluación económica del impacto del incendio mediante Visual-Seevif

Ejemplo de resultados obtenidos para un de los 20 incendios analizados en relación con la determinación de las pérdidas económicas y valores salvados.

RECURSO/VALOR ECONÓMICO (€) Incendio 14	VALOR DE EXISTENCIA (€)	VALOR DE PERDIDAS (€)	VALOR SALVADO (€)	PONDERACIÓN	Denominador
				(α _i)	de la expresión de eficiencia técnica
					Valor salvado*(α _i)
MADERA	145.879,12	56.781,45	89.097,67	0,64153218	57.159,02 €
LEÑA	25.426,34	11.734,26	13.692,08	0,098587426	1.349,87 €
FRUTOS	0,00	0,00	0,00	0	0,00 €
BIODIVERSIDAD	25.116,24	5.386,75	19.729,49	0,14205874	2.802,75 €
RECREACIÓN	45.124,62	28.761,24	16.363,38	0,117821654	1.927,96 €
CAZA	0,00	0,00	0,00	0	0,00 €
TOTAL	241.546,32	102.663,70	138.882,62		63.239,60 €

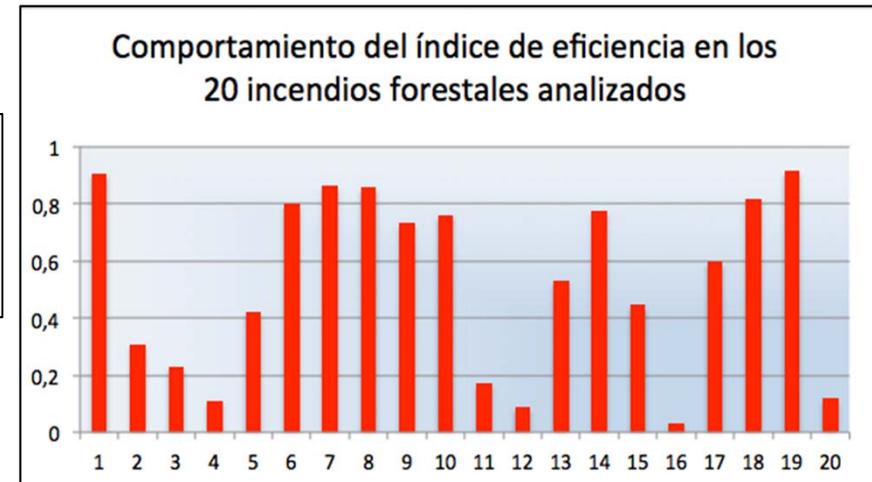
Metodología

La evaluación de la eficiencia, puede ser analizada través de un estimador (ET), basado en el valor que se obtiene de restar a la unidad, el cociente entre unos productos (medios combinados de extinción) y unas entradas (valor económico de los recurso afectados).

Tabla 4. Clasificación de la eficiencia

Intervalo del valor de la eficiencia (ET)	Clasificación cualitativa
$ET < 0,25$	BAJA
$0,26 \leq ET < 0,5$	MODERADA
$0,6 \leq ET < 0,75$	ALTA
$0,8 \leq ET < 1$	MUY ALTA

(Rodríguez y Silva y González-Cabán (2016))



Los cálculos han puesto de manifiesto que la eficiencia operacional ha sido la siguiente:

- el 45% (9 de los 20) muy alta eficiencia,
- el 15% (3 de los 20) una alta eficiencia,
- el 15% (3 de los 20) con una moderada eficiencia
- el 25% (5 de los 20) con una baja eficiencia,

Metodología

Para el estudio y determinación de la **frontera estocástica** ha sido seleccionado el método propuesto por Battese y Coelli en 1992. Dichos autores propusieron una función de frontera estocástica para ser utilizada con datos panel, en la cual los efectos de cada firma (en este caso cada uno de los incendios forestales) se asume que se distribuyen como una variable aleatoria con distribución normal, truncada en cero que, incluso puede variar en el tiempo. Su modelo se expresa de la siguiente forma:

$$Y_{it} = x_{it}\beta + (V_{it} - U_{it}), i=1, \dots, N, t=1, \dots, T,$$

- ✓ x_{it} es un $k \times 1$ vector de cantidades (en logaritmos) de input que combina el incendio forestal i en el periodo de tiempo t ;
- ✓ β son coeficientes a determinar;
- ✓ V_{it} es una variable aleatoria que está distribuida como una normal $N(0, \sigma_V^2)$, e independiente de:
- ✓ $U_{it} = (U_i \exp(-\eta(t-T)))$, donde U_i es una variable aleatoria no negativa que recoge la ineficiencia técnica de cada firma y que presenta una distribución independiente truncada en cero $N(\mu, \sigma_U^2)$. η es un parámetro a estimar.

En este sentido, variables como

- la dificultad de extinción y
- las condiciones de peligro meteorológico



Aportan información en la frontera estocástica, en relación con la ineficiencia operacional

Resultados

VARIABLES DETERMINADAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

- **El Idex**, representa el índice de dificultad de extinción (simplificado), calculado para las condiciones de comportamiento del fuego promedio de cada incendio
- **El IPMIF**, representa el índice de peligro meteorológico de ocurrencia de incendio forestal
- **RpMAR**, representa la contabilidad de medios aéreos que han intervenido en cada incendio obtenida mediante la ponderación del número de unidades y el factor de proporcionalidad del tiempo de intervención en relación con el tiempo total de intervención de todos los medios aéreos intervinientes
- **RpMT**, representa la contabilidad de medios terrestres que han intervenido en cada incendio obtenida mediante la ponderación del número de unidades y el factor de proporcionalidad del tiempo de intervención en relación con el tiempo total de intervención de todos los medios terrestres intervinientes
- **F_{cs}%**, representa el factor de contracción superficial

Resultados

La tabla elaborada para el tratamiento de la eficiencia en la frontera estocástica, (productividad de las operaciones de extinción), permite comparar los resultados de cada una de las variables consideradas para los veinte incendios analizados (tabla 5).

Nº Incendio	Fcs %	Rendimiento m/min	Rp MAR	Rp MT	Idex	IPMIF
1	11,4356932	44,26078972	11,5151515	37,28191	6,49	228,31
2	0,561353	33,82892119	8,34837545	37,3862816	6,46	188,31
3	13,7931034	4,375	15,5531156	59,9308262	5,25	131,52
4	5,30778894	23,88118812	19,3288222	48,2370154	6,28	171,07
5	18,2242991	24	31,6537342	39,3501455	5,59	149,13
6	46,6463415	3,333333333	17,8372352	34,9275362	5,38	133,42
7	90,1417129	3,968992248	18,9118406	33,5300627	4,87	128,86
8	24,9116608	9,066666667	14,1332547	29,6462264	6,05	158,8
9	14,3382353	23,49579832	29,1601144	45,777341	6,45	187,84
10	12,4605678	199,8	62,9802956	79,7208539	6,58	209,83
11	87,7094205	33,30232558	52,2559653	84,6565437	6,25	160,1
12	98,4664458	15,53398058	34,0020718	73,0766575	6,28	169,1
13	70,3757225	5,204513399	10,4803655	55,0284021	6,31	178,56
14	35,8289994	26,53505376	14,2022727	45,7181818	6,63	209,83
15	77,3492105	60,64981949	36,7816887	39,7785248	6,78	295,08
16	87,3144356	73,68176539	32,55394	43,7467167	6,59	252,48
17	45,1405883	234,5282051	36,7731556	43,79453	7,35	380,73
18	74,8466822	191,1428571	35,0503416	52,7112549	8,12	420,89
19	55,7172844	165,7157623	10,2225403	41,7933368	7,86	318,41
20	48,5177642	228,9308176	29,8031927	48,6278154	7,14	361,89

Resultados

La modelización ha sido realizada para las dos siguientes conformaciones de la variable explicada para la determinación de la función de producción:

- ❑ El **rendimiento conjunto** de todos los medios de extinción intervinientes, expresados en metros de control de perímetro por minuto

Modelo 1: Rendimiento=F(RpMAR, RpMT, Idex, IPMIF)

- ❑ El **factor de contracción superficial FCS**, expresados en porcentaje de disminución de la superficie libre en relación a la superficie final resultado de las operaciones de extinción

Modelo 2: FCS=F(RpMAR, RpMT, Idex, IPMIF)

Con relación a la medición de la eficiencia técnica comparada entre ambos, el segundo procedimiento de evaluación de la productividad (**modelo 2**) ha proporcionada una mejor calidad representada en un 9,3%, con menor varianza, mejor comportamiento del test de verosimilitud y mayor eficiencia técnica media: 0,1258 frente a 0,114

	coefficient	standard-error	t-ratio
beta 0	0.10772088E+03	0.82752046E+01	0.13017308E+02
beta 1	-0.79192276E-01	0.67909989E+00	-0.11661359E+00
beta 2	0.75821011E+00	0.68382113E+00	0.11087843E+01
beta 3	-0.24066728E+02	0.95885797E+01	-0.25099367E+01
beta 4	0.28284257E+00	0.14159634E+00	0.19975274E+01
sigma-squared	0.86845668E+03	0.15737954E+02	0.55182310E+02
gamma	0.44035536E-01	0.41218539E+00	0.10683430E+00
mu is restricted to be zero			
eta is restricted to be zero			
log likelihood function = -0.95723457E+02			

Programa FRONTIER 4.1 (Coelli. 1996)

Conclusiones

- ❑ La aplicación de las herramientas de análisis de la eficiencia y productividad, constituyen una novedosa oportunidad para realizar investigaciones y estudios de prognosis sobre los resultados de las operaciones de extinción.
- ❑ Esta metodología, proporciona la posibilidad de reducir la incertidumbre operacional en aras de conseguir a partir de la capitalización de la experiencia, información fiable y constatada científicamente para realizar mejoras y correcciones en la selección y combinación de los medios de extinción en función de los escenarios operacionales, redundando ello en la mejor calidad en las acciones de planificación estratégica de las operaciones de supresión y extinción de los incendios forestales.
- ❑ Obviamente las mejoras en la planificación del ataque, de acuerdo a lo analizado en el presente trabajo, repercute en una reducción de los costes de extinción y en un incremento en el valor económico salvado de los recursos naturales, frente al impacto del fuego en la propagación espacial de los incendios forestales.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto GEPRIF (RTA2014-00011-C06-03) del Ministerio de Economía y Competitividad.
Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria Alimentaria

PLAN INFOCA (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía)

Contacto
ir1rosif@uco.es



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

Gestión del monte: servicios ambientales y bioeconomía



26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura



www.congresoforestal.es