

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
AGRÓNOMOS Y DE MONTES**



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE MONTES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**“CARACTERIZACIÓN DE LA EFICACIA OPERACIONAL EN
INCENDIOS FORESTALES DE ANDALUCIA OCCIDENTAL”**

Characterization of operational efficiency in forest fires in Western Andalusia.

Autor: D. Antonio López Sancho

Director: D. Juan Ramón Molina Martínez

Córdoba, septiembre de 2023

"El fuego, ese antiguo maestro de la humanidad, nos muestra que el poder puede ser tanto destructor como creador. Su dominio requiere sabiduría y responsabilidad, pues en nuestras manos está la elección de usarlo para iluminar o para consumir."

“A mis abuelos”

Agradecimientos

El autor quisiera agradecer a todos los miembros del Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad de Córdoba (LABIF-UCO) por el apoyo prestado durante la elaboración del presente estudio, especialmente a D. Juan Ramón Molina Martínez, director de dicho Trabajo Fin de Máster.

Agradecer al Plan INFOCA el aporte de información para la realización del presente estudio, pues sin su compromiso con la lucha y prevención de incendios forestales no hubiera sido posible.

Finalmente, agradecer al proyecto “Centro Ibérico para la Investigación y Lucha contra Incendios Forestales” CILIFO (0753_CILIFO_5_E), Programa de Cooperación Transfronteriza Interreg VA España-Portugal – Interreg POCTEP (2014-2020), en cuyo marco el autor ha desarrollado el presente trabajo

RESUMEN:

La creación de índices de eficacia y eficiencia de las operaciones de extinción en incendios forestales ha permitido la búsqueda de unos umbrales o límites de eficiencia, permitiendo la asignación y optimización de los recursos disponibles. Este trabajo constituye un estudio de la eficiencia y eficacia de las operaciones de extinción para el dispositivo de extinción de incendios forestales de Andalucía (INFOCA), utilizando incendios mayores de 100 ha en Andalucía Occidental durante el periodo 2011-2019. El estudio requirió de la simulación de cada uno de los incendios en simulación libre y con la influencia de los medios de extinción, así como de los impactos económicos reales y potenciales sobre los servicios ambientales. Visual SEVEIF, software libre, fue empleado para todas las simulaciones. La metodología puede ser extrapolable a otros dispositivos de extinción, para lo cual se requiere del cálculo de los costes de extinción horarios, el Factor de Contracción Superficial (FCS), la Eficiencia Técnica (ET) y el Índice de Gestión (IG). Una vez estos indicadores han sido calculados, se han identificado 15 factores, que a priori, podrían tener influencia sobre los resultados. Mientras el modelo de combustible, el viento, la superficie afectada y la tasa de propagación fueron las variables de mayor peso en los costes de extinción, las variables que mayor influencia sobre la eficacia operacional fueron la provincia, la franja horaria, el tiempo de respuesta, el modelo de combustible, el vector de propagación, la tipología de fuego, la tasa de propagación y la presencia de interaz urbano-forestal. El análisis de todos estos indicadores permite la capitalización de la experiencia para la asignación óptima futura de medios y recursos, con objeto de la máxima eficiencia y eficacia del dispositivo.

Palabras clave: eficiencia en la extinción, factor de contracción superficial, costes de extinción, eficiencia técnica, índice de gestión

ABSTRACT:

The creation of effectivity and efficiency indexes for forest firefighting operations has allowed the search for efficiency thresholds or limits that allow the optimal allocation of resources. This work is presented as the study of the efficiency and effectiveness of extinguishing operations for the Andalusian forest fire extinction device (INFOCA), for fires in Western Andalusia in the period 2011-2019 greater than 100 ha. The study requires the simulation of each of the fires in free simulation and with the influence of the extinguishing means, as well as the real and potential economic impacts on the environmental services, using the Visual SEVEIF software. A methodology has been defined, which can be extrapolated to other extinguishing devices, in which the hourly extinguishing costs have been calculated Area Contraction Factor (ACF), Technical Efficiency (TE) and Management Index (MI), the Surface Contraction Factor (SCF), the Technical Efficiency (TE) and the Management Index (MI). Once calculated, 15 factors were identified, which in advance, could have more influence on the results. While the variables with the greatest influence on extinguishing costs were: representative fuel model, average wind, affected area and average spread rate, the variables that had the greatest influence on the evaluation of operational effectivity and efficiency were: province, time zone, total percentage during the night time zone, response time, representative fuel model, spread vector, fire type, spread rate and presence of urban-forest interface. The analysis of all these indicators allows the capitalization of the experience for the optimal future allocation of means and resources, in order to maximize the efficiency and effectivity of the system.

Key words: suppression efficiency, area contraction factor, suppression costs, technical efficiency, management index

Índice de contenidos

1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
3. SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	15
4. MATERIAL Y MÉTODOS	15
4.1. Recopilación, procesado y construcción de información de referencia.....	18
4.2. Simulación de incendios forestales y valoración económica.....	22
4.2.1. Simulación del comportamiento del fuego.....	22
4.2.2. Valoración de los impactos económicos	25
4.3. Cálculo de índices de eficiencia y análisis estadístico.....	29
4.3.1. Índices de eficiencia.....	29
4.3.2. Parámetros de análisis comparativo de los costes de extinción y la eficacia operacional	32
4.3.3. Análisis estadístico.....	35
5. RESULTADOS	36
5.1. Análisis de los costes de extinción.....	36
5.1.1. Análisis de los costes de extinción horarios en base al modelo de combustible	36
5.1.2 Análisis de los costes de extinción horarios en base a la meteorología	37
5.2. Análisis de la eficiencia operacional.....	38
5.2.2. Análisis de la eficiencia operacional en base a la franja horaria.....	39
5.2.3. Análisis de la eficiencia operacional en base al tiempo de repuesta.....	39
5.2.4. Análisis de la eficiencia operacional en base al modelo de combustible.....	40
5.2.5. Análisis de la eficiencia operacional en base al comportamiento del fuego .	40
6. DISCUSIÓN.....	42
6.1. Necesidad de herramientas de evaluación económica en los programas de gestión de incendios forestales	42
6.2. Análisis de los costes de extinción horarios	43
5.2. Análisis de la eficiencia y eficacia operacional	44
7. CONCLUSIONES.....	48
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
9. ANEXOS.....	57

Índice de figuras:

Figura 1. Marco conceptual de la fase de recopilación, procesado y construcción de información de referencia.....	16
Figura 2. Marco conceptual de la fase de simulación de incendio forestal.....	17
Figura 3. Marco conceptual del cálculo de índices de eficiencia y obtención de resultados finales.	18
Figura 4. Ejemplo ficha seguimiento de incendio forestal.....	20
Figura 5. A: Coste horario de medios para informes periciales de incendios forestales. Año 2012; B: Ejemplo de tiempos de actuación de medios de extinción extraído de ficha resumen de seguimiento de incendio forestal.....	22
Figura 6. Variación horaria de temperatura y humedad. Caso real para Incendio de La Granada de Rio Tinto.....	24
Figura 7. Interfaz software Visual-SEVEIF.....	24
Figura 8. Representación gráfica determinación recursos salvados.....	30
Figura 9. Representación gráfica eficiencia en función del índice de gestión	32

Índice de tablas:

Tabla 1. Incendios forestales de referencia	19
Tabla 2. Altura del combustible superficial por modelos según clasificación Rothermel	23
Tabla 3. Algoritmos de valoración económica de recursos tangibles	26
Tabla 4. Algoritmos de valoración económica de recursos intangibles	27
Tabla 5. Niveles de Intensidad de Fuego (NIF)	28
Tabla 6. Matriz de depreciación para cuantificación de pérdidas económicas.....	28
Tabla 7. Clasificación cualitativa de la eficacia en función del Factor de Contracción Superficial (FCS).....	29
Tabla 8. Clasificación cualitativa de la eficiencia en función de la eficiencia técnica (ET)	31
Tabla 9. Clasificación cualitativa de la eficiencia en función del índice de gestión (IG)	32
Tabla 10. Parámetros y variables consideradas para análisis estadístico	33
Tabla 11. Análisis estadístico costes de extinción y parámetro modelo de combustible representativo	36
Tabla 12. Análisis estadístico costes de extinción y parámetro viento medio	37
Tabla 13. Análisis estadístico costes de extinción y parámetro superficie afectada	37

Tabla 14. Análisis estadístico costes de extinción y parámetro tasa de propagación media	37
Tabla 15. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con parámetro provincias	38
Tabla 16. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con variable franja horaria	39
Tabla 17. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con parámetro tiempo noche	39
Tabla 18. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con parámetro tiempo de respuesta	39
Tabla 19. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con parámetro modelo representativo	40
Tabla 20. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con variable vector de principal	40
Tabla 21. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con parámetro tipología de fuego	41
Tabla 22. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con parámetro tasa de propagación	41
Tabla 23. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con parámetro interfaz	41

1. INTRODUCCIÓN

El fuego ha sido, es y será un elemento modelador del paisaje en la región mediterránea, hasta tal punto de ser un elemento constante en la dinámica de los ecosistemas mediterráneos (Le Houerou 1973; Naveh 1974; Alados et al. 2004; De la Cueva, 2008). Sin embargo, el paisaje y las especie mediterráneas están adaptadas a un régimen determinado de fuego (frecuencia e intensidad de ocurrencia) (García Novo 1977; Pausas, 1999). Actualmente, este régimen se está viendo modificado por el cambio climático y el abandono de las actividades tradicionales en el monte (Romero & Perry, 2004). Mientras el cambio climático incrementa la ocurrencia de olas de calor y la disponibilidad de combustible (Pausas, 2004), el éxodo rural induce a la acumulación de combustible leñoso (Romero & Perry, 2004).

Este cambio en el régimen de fuego mediterráneo (Donovan & Rideout, 2003; Mendes, 2010; Pausas et al., 2011; Gorte, 2013) requiere de una solución integradora o nuevo reto, mediante la unificación de la gestión del paisaje, la ciencia, la actividad humana y la gobernanza en su conjunto. No es en el cambio del régimen del fuego donde surge la mencionada problemática, si no en las consecuencias que este régimen provoca. Dichas consecuencias se pueden resumir en el aumento en la dificultad de extinción de incendios forestales (Rodríguez y Silva et al., 2020), ocasionada por el aumento de la intensidad y la simultaneidad de grandes incendios forestales y, el incremento de sus impactos ecológicos (Keane et al., 2008), económicos (Morton et al., 2003) y sobre la protección civil (De Torres et al., 2012). Además, se ha constatado una tendencia al alza de estos impactos, así como de los costes de extinción (Molina et al., 2019a). Aunque son cada vez más los grandes incendios forestales fuera de capacidad de extinción (Tedim, et al., 2018), el aumento de la complejidad en la extinción de incendios forestales, de la mano de una emergencia en muchos casos de índole civil, lleva consigo la necesidad de un aumento de eficiencia y eficacia en la gestión espacio-temporal de los recursos disponibles (Thompson et al., 2013). La planificación de los presupuestos por las distintas administraciones responsables se ha realizado “desde una perspectiva bastante alejada de la eficiencia económica” (Rodríguez y Silva, 2007). Con el término de eficiencia económica se hace referencia a la mayor optimización en el uso de los recursos para alcanzar los objetivos, maximizando la producción y minimizando los costes (Rodríguez y Silva y González-Cabán, 2010). En el ámbito de los incendios forestales, es posible alcanzar la eficiencia económica alcanzando una eficiencia asignativa y una eficiencia productiva, es decir, una eficacia operacional del dispositivo de extinción (Rodríguez y Silva y González-Cabán, 2016). Esto quiere decir que es posible alcanzar una eficiencia económica mediante una correcta asignación y combinación de recursos que permitan alcanzar un mayor beneficio (eficiencia asignativa), maximizando la producción y minimizando los costos mediante una combinación optima de los recursos disponibles (eficiencia productiva). En este sentido, entra en juego el término de eficacia refiriéndose a la capacidad de lograr los resultados deseados, es decir, alcanzar los objetivos establecidos en la gestión de la emergencia. Para lograr una eficacia operacional, es necesario contar con una planificación estratégica y una asignación adecuada de recursos que permitan alcanzar los límites lógicos de eficiencia antes mencionado (Thompson et al., 2017).

La asignación de presupuestos se ha realizado sin tomar como referencia criterios de coste-beneficio, rendimientos operacionales de los medios de extinción, valoraciones económicas o de pérdidas reales y potenciales de los incendios forestales (Rodríguez y Silva, 2007). Los avances en el conocimiento del fuego (Rothermel, 1972; De Torres et al., 2012) han permitido simular el comportamiento del fuego presente o futuro, tanto de forma reactiva como de forma proactiva. Algunos estudios (Pedrera & Julio, 1999; Molina et al., 2011; Rodríguez y Silva et al., 2014) han utilizado herramientas de coste-eficiencia en base a las pérdidas potenciales por el paso del fuego. En este sentido, Visual SEVEIF y la AppERIIF (Ortega et al., 2023a) se presentan como herramientas de ayuda para la realización de estudios de impactos potenciales del fuego. Las herramientas de pérdidas potenciales se ven complementadas por índices para la cuantificación de la eficacia operacional y eficiencia económica, como el *Factor de Contracción Superficial* (Rodríguez y Silva et al., 2007; Rodríguez y Silva & González-Cabán, 2010), el *Índice de Gestión* (Carmona & Rodríguez y Silva, 2009) o el *Índice de Eficiencia Técnica* (Rodríguez y Silva & González-Cabán, 2012), que permiten dar respuesta a los análisis de la eficiencia y eficacia en la gestión de incendios forestales.

En Andalucía, la frecuencia de Grandes Incendios Forestales (GIF) incrementó desde inicios de la década de los 70 (Araque-Jiménez, 2013), siendo una de las regiones más afectadas de la Cuenca Mediterránea y, por supuesto, del litoral mediterráneo español (García Gómez, 2002). Andalucía cuenta con un reputado dispositivo especializado en la prevención y extinción de incendios forestales (INFOCA), aunque los recursos son siempre limitados, siendo necesaria una correcta gestión y planificación de estos para la lucha contra el fuego. Esta asignación eficiente de medios o recursos resulta fundamental ante eventos de fuego simultáneos o afección de la interfaz urbano-forestal. No obstante, los presupuestos en la gestión de incendios forestales deben realizarse de forma equilibrada entre prevención y extinción, sin olvidar la concienciación ciudadana.

Este Trabajo Final de Máster se enmarca dentro del proyecto “Centro Ibérico para la Investigación y Lucha contra Incendios Forestales” CILIFO (0753_CILIFO_5_E), Programa de Cooperación Transfronteriza Interreg VA España-Portugal – Interreg POCTEP (2014-2020), por lo que se limita a Andalucía Occidental. Por primera vez, se realiza una evaluación de la eficacia y eficiencia de un número considerable de incendios forestales reales acontecidos en Andalucía. El estudio de la eficacia de los medios de extinción se establece como uno de los pilares fundamentales para la eficiencia de recursos, en base a una correcta identificación y gestión del escenario del fuego. No obstante, el valor de los recursos y, de su cambio en el valor neto (Thompson, 1996; Thompson et al., 2013) también debe incorporarse a la hora de evaluar lo invertido y lo salvado (Ortega et al., 2023b). No obstante, no se puede obviar que ante eventos fuera de capacidad de extinción la asignación exponencial de medios de extinción tiene un efecto completamente negativo en la eficiencia y eficacia operacional (Rodríguez y Silva et al., 2020). Por más medios de extinción que se dediquen a la extinción, no se consigue ningún efecto positivo y si un mayor coste de extinción y cansancio físico del dispositivo. Con todo ello, el presente trabajo se muestra como un estudio para la identificación de los factores que influyen en mayor medida en la mayor o menor eficiencia del dispositivo, con objeto de la capitalización de la experiencia para eventos de fuego futuros.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es el análisis de los costes horarios y la eficiencia operacional del dispositivo de extinción de incendios forestales de Andalucía (INFOCA), mediante el estudio de incendios forestales de Andalucía Occidental. Este análisis requiere de los siguientes objetivos secundarios:

- El cálculo de los costes de extinción totales y horarios
- La estimación de la superficie potencial a arder de cada incendio
- El análisis del factor de contracción superficial (FCS)
- La evaluación de la eficiencia técnica (ET) y el índice de gestión (IG)
- El análisis comparativo de los costes horarios e indicadores de eficiencia en base a las características y los escenarios de fuego

3. SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende las provincias de **Sevilla, Córdoba, Cádiz y Huelva**, siendo estas las que definen la zona occidental de Andalucía. La justificación de la selección de dicha zona queda definida por la Junta de Andalucía bajo el marco del proyecto “Centro Ibérico para la Investigación y Lucha contra Incendios Forestales” CILIFO (0753_CILIFO_5_E), Programa de Cooperación Transfronteriza Interreg VA España-Portugal – Interreg POCTEP (2014-2020). Esta asignación provincial se corresponde con las provincias a las que da cabida el Centro Operativo Regional (COR) de la provincia de Sevilla, tras la creación de un sub-COR en Granada para la zona oriental de la región.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

La caracterización de la eficiencia operacional de incendios forestales conlleva la profundización y estudio de los factores medioambientales y de gestión que influyen de forma directa sobre la definición de la eficacia de los medios de extinción que actúan en la emergencia. En este sentido, es necesario disponer de un proceso de análisis minucioso, ordenado y progresivo que permita la obtención de los datos necesarios para el cálculo de índices de eficiencia, siendo estos los que definan la caracterización de la eficacia operacional.

De forma genérica, la metodología seguida se divide en tres fases:

- 1) Recopilación, procesado y construcción de información de referencia
- 2) Simulación de incendios forestales
- 3) Cálculo de índices de eficiencia y análisis estadístico

Se presenta un diagrama del flujo de trabajo seguido para mayor comprensión del proceso de estudio, distinguiendo entre cada fase antes mencionadas (Figuras 1,2 y 3):

FASE 1: Recopilación, procesado y construcción de información de referencia

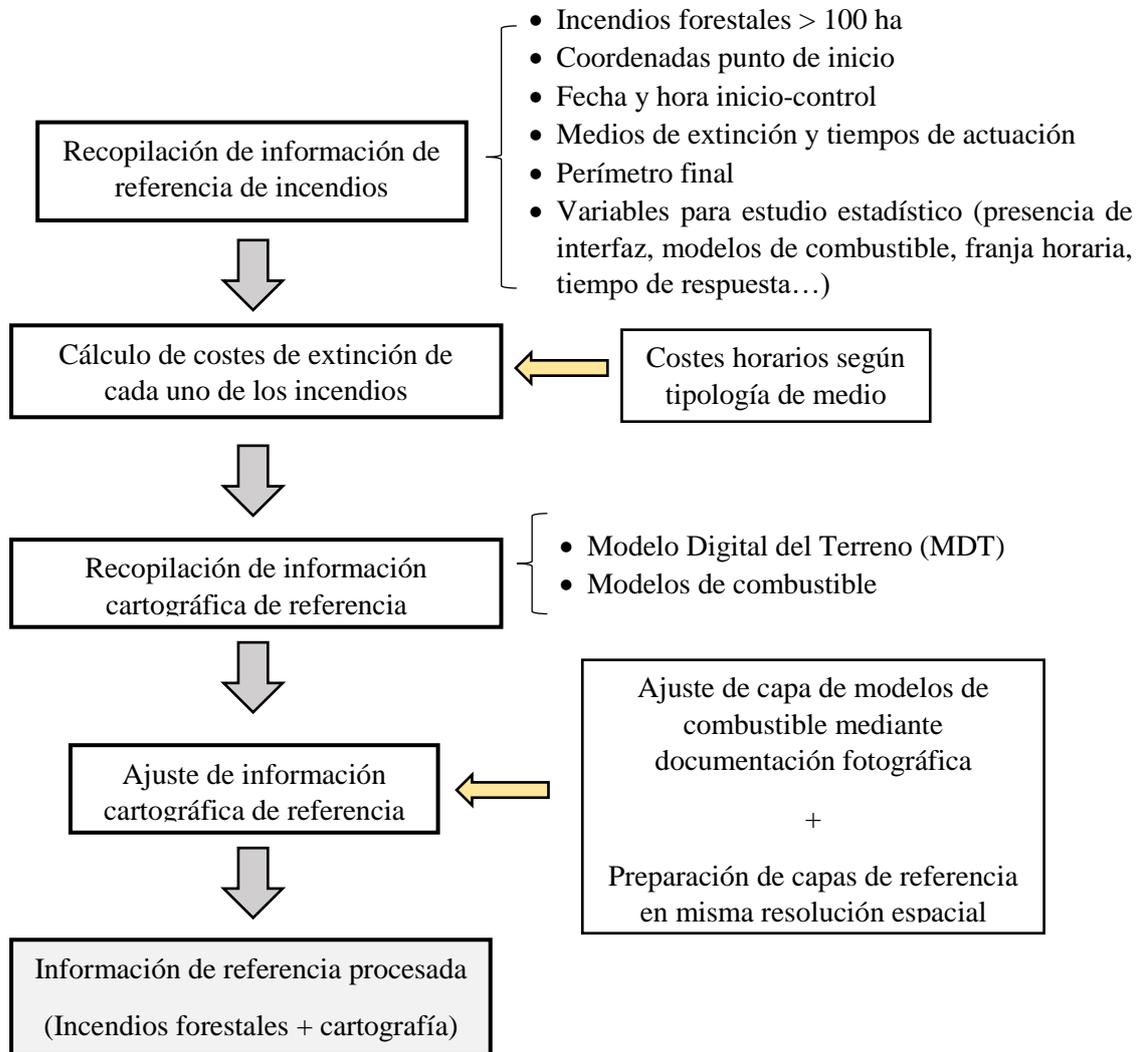


Figura 1. Marco conceptual de la fase de recopilación, procesado y construcción de información de referencia. Fuente: elaboración propia

FASE 2: Simulación de incendios forestales

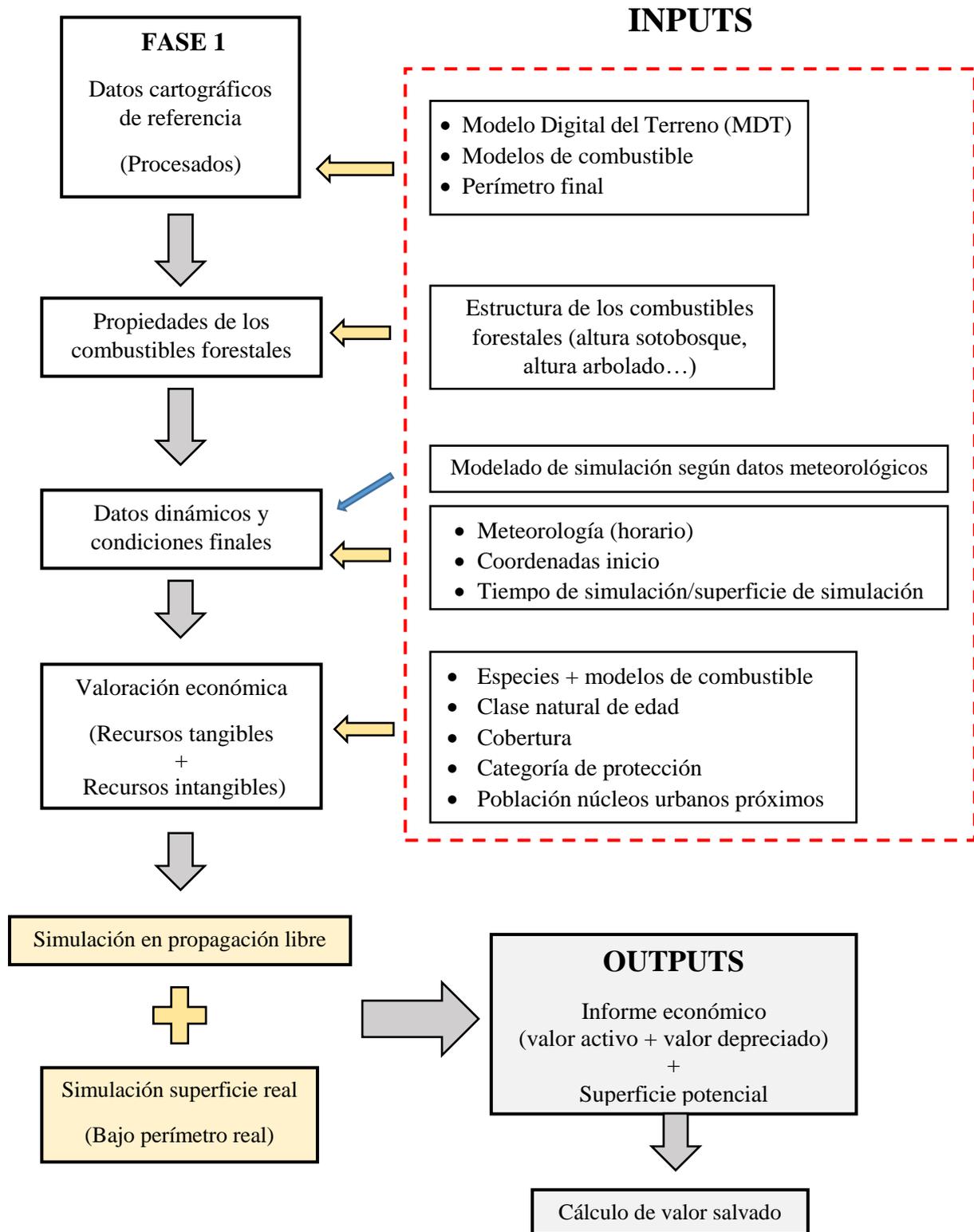


Figura 2. Marco conceptual de la fase de simulación de incendios forestales.
Fuente: elaboración propia

FASE 3: Cálculo de índices de eficiencia y obtención de resultados finales

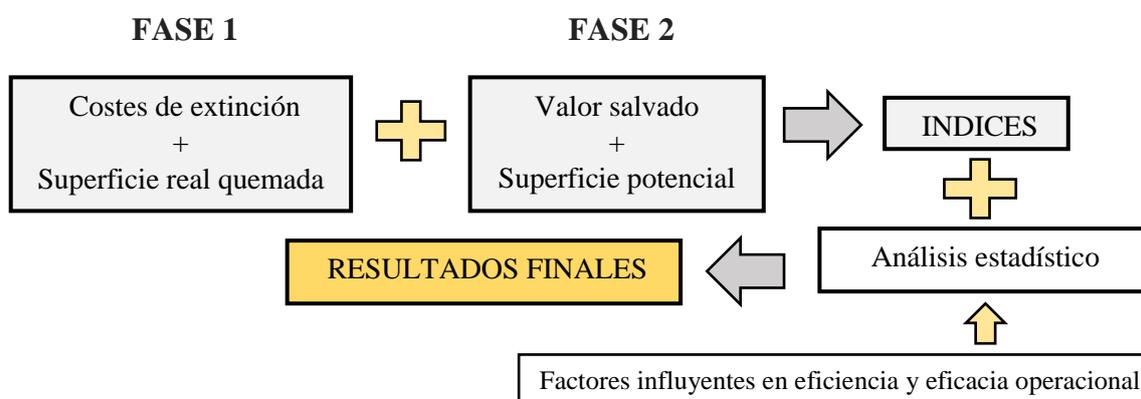


Figura 3. Marco conceptual del cálculo de índices de eficiencia y obtención de resultados finales. Fuente: elaboración propia

A continuación, se abordará cada fase de forma más profunda, indicando el proceso a seguir, así como los aspectos y parámetros a considerar para el correcto análisis de la eficiencia operacional.

4.1. Recopilación, procesado y construcción de información de referencia

Este estudio consideró los incendios forestales históricos de Andalucía Occidental mayores de 100 ha, acontecidos en el periodo de referencia 2011-2019 (años utilizados para el proyecto CILIFO).

Se han utilizado un total de 39 incendios (Tabla 1), distribuidos de forma irregular en las provincias objetivo. La provincia con mayor representatividad es Huelva, con un porcentaje de casos respecto al total del 44% y la provincia con menor representatividad es Córdoba, con una representatividad del 10%. Además, se destaca que la representatividad de las provincias de Cádiz y Sevilla es de 26 % y 21 % respectivamente.

El tamaño de los incendios osciló entre 103 ha (Guadalcanal, Sevilla - 24/06/2017) y 8.501 ha (Moguer, Huelva – 24/06/2017).

A continuación, se presenta cada uno de los incendios seleccionados (Tabla 1), indicando la provincia, número de parte, municipio, año y superficie real afectada (ha) según la información proporcionada por las fichas de seguimiento de la Junta de Andalucía.

Tabla 1. Incendios forestales de referencia

PROVINCIA	Nº PARTE	MUNICIPIO	AÑO	SUPERFICIE (ha)
CÁDIZ	2018110072	Tarifa	2018	162,67
	2016110034	La Línea de la Concepción	2016	467,78
	2015110076	San Roque	2015	134,5
	2015110052	San Roque	2015	134,95
	2014110089	San Roque	2014	184,43
	2014110058	Algeciras	2014	166,88
	2013110081	La Línea de la Concepción	2013	127,85
	2012110071	San Roque	2012	137,64
	2012110031	San Roque	2012	111
	2011110030	San Roque	2011	314,47
SEVILLA	2017410094	Almadén de la Plata	2017	1165,47
	2017410067	Guadalcanal	2017	250
	2017410033	Alanís	2017	228
	2017410032	Guadalcanal	2017	193,22
	2016410093	El Castillo de las Guardas	2016	1845,02
	2015410045	El Garrobo	2015	369,19
	2014410030	Cantillana	2014	136,74
	2012410062	El Castillo de las Guardas	2012	162,49
CORDOBA	2018140064	Pozoblanco	2018	139,75
	2013140027	Peñarroya-Pueblonuevo	2013	257,52
	2012140058	Belalcázar	2012	232,88
	2011140026	Villaviciosa de Córdoba	2011	145
HUELVA	2019210087	Cortegana	2019	114,78
	2019210066	Beas	2019	1566,15
	2018210067	Almonaster La Real	2018	317,8
	2018210062	Nerva	2018	1749,68
	2017210113	La Granada de Río-Tinto	2017	4167,59
	2017210099	Santa Olalla de Cala	2017	374,07
	2017210059	Minas de Riotinto	2017	824,1
	2017210050	Moguer	2017	8501,28
	2017210036	Ayamonte	2017	171
	2016210041	Nerva	2016	130,41
	2016210010	Beas	2016	181,42
	2014210104	Cartaya	2014	109,57
	2014210077	Almonaster La Real	2014	357,91
	2012210143	Almonte	2012	427,84
	2012210117	Moguer	2012	155
2012210100	Beas	2012	189,47	
2012210076	Nerva	2012	138	

Fuente: elaboración propia a partir de “Resumen fichas de seguimiento de incendios forestales. Dirección General de Gestión del Medio Natural de la Junta de Andalucía-Plan INFOCA”

En un primer momento, se requirió la recopilación de la información para cada uno de los 39 incendios, tanto la necesaria para las simulaciones como la necesaria para el cálculo de costes. Para la recopilación de dicha información, se han utilizado las fichas de seguimiento de incendios forestales de la Dirección General de Gestión del Medio Natural de la Junta de Andalucía-Plan INFOCA. Estas fichas han sido proporcionadas por el personal del dispositivo de extinción de incendios forestales de Andalucía (PLAN INFOCA), así como los perímetros de cada uno de ellos. De las fichas del Plan INFOCA se extrajo información referente a las coordenadas inicio, fecha y hora de inicio-control, modelos de combustible, tipología de fuego... Al existir en muchas ocasiones más de una ficha (una por cada técnico asistente al incendio), hubo que realizar un filtro de información.

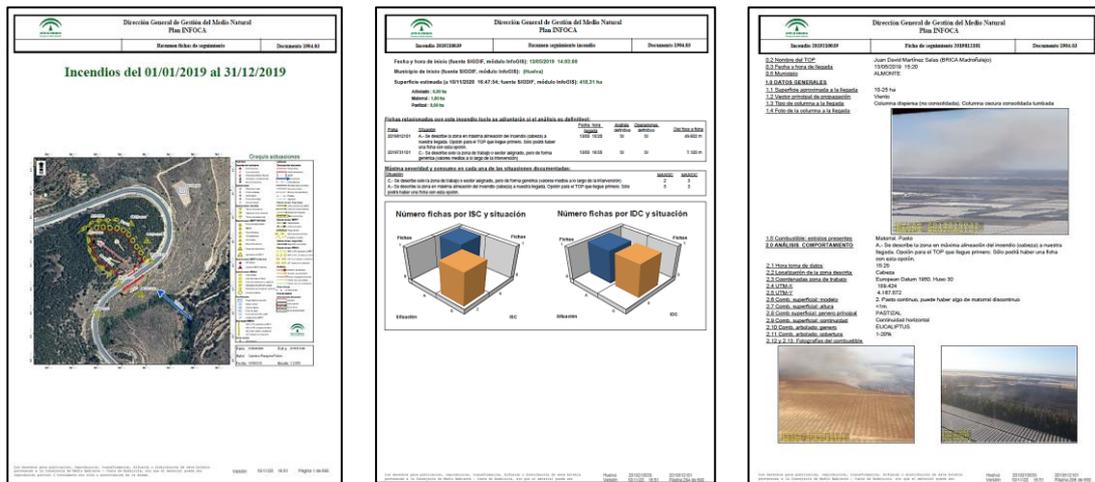


Figura 4. Ejemplo ficha seguimiento de incendio forestal

Fuente: extraído de “Resumen fichas de seguimiento. Documento 1904.03. Incendios del 01/01/2019 al 31/12/2019. Dirección General de Gestión del Medio Natural de la Junta de Andalucía-Plan INFOCA”

La simulación del comportamiento del fuego requirió de la siguiente información:

- **Hora de inicio y finalización de la simulación:** el tiempo total del incendio queda definido como la diferencia entre la hora de inicio y la hora de control del incendio. No se utiliza para la simulación el tiempo de extinción, pues el fuego no avanza de su perímetro. Los tiempos de control del incendio oscilaron entre 53 minutos (Alanís, Sevilla – 24/06/2017) y 7 minutos (Peñarroya Pueblonuevo, Córdoba – 02/07/2013).
- **Condiciones meteorológicas durante el incendio:** se requirió de información acerca de la temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección de viento. La humedad de los combustibles finos muertos se estimó mediante datos horarios obtenidos a partir del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR) del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación del Gobierno de España.

- **Modelo digital del terreno (MDT):** se obtuvo del Instituto Geográfico Nacional (IGN), con una resolución espacial de 25x25 m. Posteriormente, en aquellas zonas que abarcaban más de un cuadrante (cuadrantes establecidos por el PNOA) se realizó una composición de estos para establecer la capa de la zona de trabajo. Partiendo de ello, la resolución espacial se modificó con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG), concretamente ArcGIS PRO®, obteniendo como resultado final la capa de modelo digital del terreno con una resolución espacial de 10x10 m (a fin de obtener resultados con mayor exactitud) en el sistema de referencia de coordenadas ETRS89 con proyección UTM en el huso 29 y 30, según corresponda a la provincia de estudio.
- **Modelos de combustible (Anexo I):** la información cartográfica utilizada fue proporcionada por el Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad de Córdoba (LABIF-UCO). Se ajustaron los modelos de combustible en base a la documentación fotográfica de cada una de las fichas de incendio forestal, con el objeto de aumentar la precisión en la fase de simulación. Mediante esta capa y con la información documentada de las fichas de cada uno de los incendios forestales, se determinó el modelo de combustible inicial y el más representativo para el área de estudio, información necesaria para el posterior análisis estadístico.
- **Identificación de zonas de interfaz urbano-forestal:** se realizó un buffer de 3 km de radio alrededor del perímetro final del incendio, mediante ArcGIS PRO®, para identificar aquellos incendios forestales en los que la gestión y planificación de la emergencia conllevaba la priorización en la protección de bienes materiales respecto a la extinción del propio incendio forestal (siendo necesario el aumento de recursos, y por lo tanto un aumento de los costes de extinción además de suponer un sacrificio de superficie).
- **Tipología de incendio forestal:** la tipología de incendio (superficie o copas) juega un papel importante en la dificultad de extinción (Rodríguez y Silva et al., 2020). Además, la presencia o ausencia de fuego de copas define en buena parte el aumento significativo de la superficie afectada, pues son fuegos fuera de capacidad de extinción (Rodríguez y Silva et al., 2017). Esta información ha sido extraída de las fichas de los incendios forestales seleccionados, así como la longitud de llama en los primeros estadios del incendio forestal, que define la tipología de ataque de los medios de extinción (directo o indirecto) (Martínez, 2010).
- **Tasa de propagación media:** ha sido calculada como el cociente entre la superficie final afectada por el incendio forestal y el tiempo entre el inicio y control del mismo. La tasa de propagación media, junto con la longitud de llama, juega un papel importante en las labores de extinción, pues define el éxito en la contención del perímetro afectado por el fuego (García, 2018).

Tabla 2. Altura del combustible superficial por modelos según clasificación Rothermel

Modelo de combustible	Altura combustible superficial (m)
1	0,3
2	0,3
3	0,76
4	1,83
5	0,61
6	0,76
7	0,76
8	0,06
9	0,06
10	0,3
11	0,3
12	0,7
13	0,91

Fuente: Manual técnico para la modelización de la combustibilidad asociada a ecosistemas mediterráneos (Rodríguez y Silva & Molina, 2010)

El software proporciona resultados del comportamiento del fuego de superficie bajo un escenario de fuego, considerando la topografía, los combustibles, las condiciones meteorológicas de diseño, a semejanza de otros simuladores norteamericanos, como FlamMap (Finney, 2006). El programa requiere también de la identificación de las características del arbolado o combustibles aéreos, pues forman parte de las ecuaciones relacionadas con los procesos de propagación del fuego de copa, en las que se incluye la distancia vertical entre el matorral y la primera rama viva de las copas (Van Wagner, 1977). Para cada uno de los modelos de combustibles forestales, se establecieron los patrones de la masa arbórea, mediante la ayuda de las fichas resumen de incendios forestales y de la cartografía de existencias de biomasa en Andalucía, obtenida de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM). Estas dos capas de información permiten ajustar los parámetros de altura media del arbolado, altura a nivel base de las copas y densidad aparente de las copas, permitiendo así un ajuste de la vegetación de forma personalizada para cada área de estudio. Cuando se produce la transición del fuego de superficie a fuego de copas, el software utiliza el modelo de progresión dinámica del fuego adaptado para ecosistemas mediterráneos (Rodríguez y Silva et al., 2010).

El punto de inicio del foco viene determinado por las coordenadas UTM proporcionadas por el Plan INFOCA. La información meteorológica (temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento) fue exportada de forma horaria desde la estación más cercana del SiAR, pero siempre en la misma exposición, de la forma más precisa posible a las condiciones reales de propagación del fuego. Para determinar la estación más cercana, se empleó ArcGIS Pro®, calculando de forma automatizada la distancia de cada foco a cada estación. El módulo de cálculo de humedad del combustible fino muerto ajustó la humedad para cada período horario, ajustando la nubosidad existente (Figura 6). En cuanto a la humedad del combustible vivo, se ajustó en base a la fecha de ocurrencia y la especie predominante aportada por las fichas INFOCA, utilizando para ello los datos propios del LABIF procedentes de mediciones propias de parcelas permanentes (proyecto interno del LABIF de monitoreo de humedad de los combustibles)

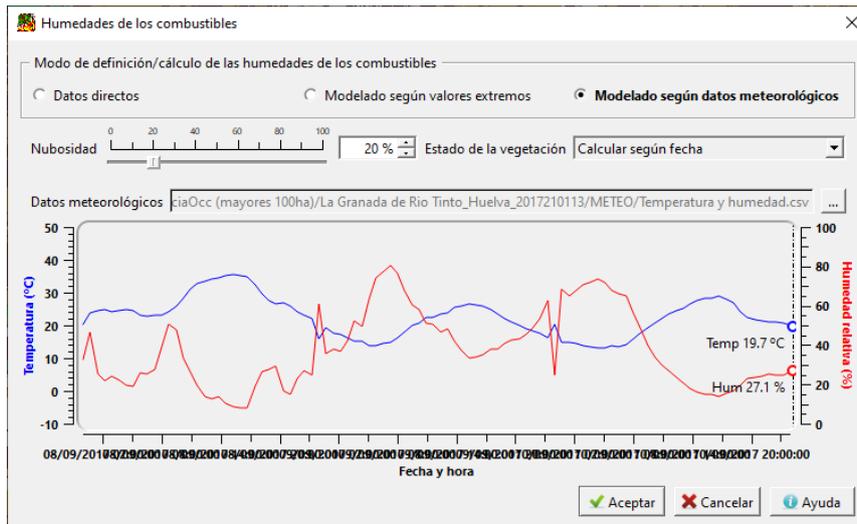


Figura 6. Variación horaria de temperatura y humedad. Caso real para Incendio de La Granada de Rio Tinto

Con todos los inputs necesarios para la simulación, se procedió a la simulación del comportamiento del fuego. El simulador Visual SEVEIF aporta información referente a velocidad de propagación, longitud de llamas, intensidad del frente y calor por unidad de superficie, tanto para fuegos de superficie como fuegos de copas.

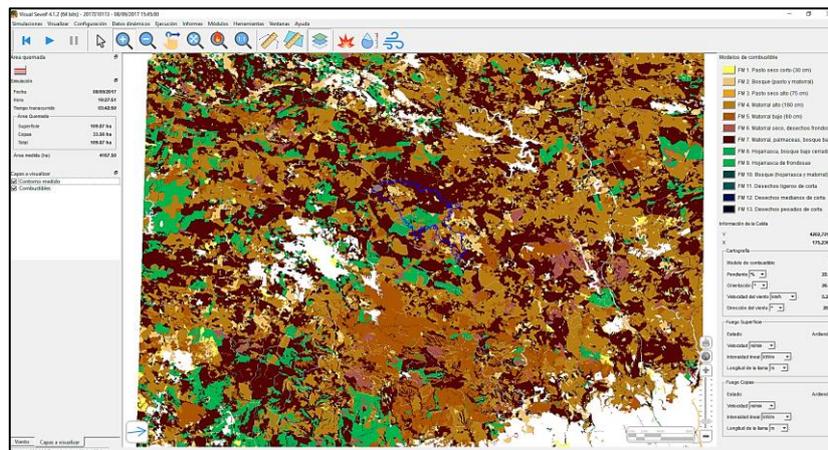


Figura 7. Interfaz software Visual-SEVEIF

Las condiciones finales de simulación juegan un papel muy importante para el cálculo de los índices de eficiencia. En este sentido, las simulaciones se ajustaron al tiempo comprendido entre el inicio del incendio y la fecha y hora de control, considerando dos escenarios:

- 1) **Escenario con condiciones reales de propagación** (considerando la actuación de medios de extinción, es decir, el área encerrada en la capa del perímetro del incendio real).
- 2) **Condiciones de propagación libre** (condiciones de propagación libre, sin la actuación de medios de extinción. Condiciones potenciales).

4.2.2. Valoración de los impactos económicos

Visual-SEVEIF es un software no solo diseñado para la predicción del comportamiento del fuego, sino también para el cálculo del peligro potencial y la evaluación económica del impacto en los recursos naturales (Rodríguez y Silva et al., 2010), a través del concepto de cambio neto del valor de los recursos (CVN) del USDA Forest Service (Thompson, 1996; Thompson et al., 2013). Visual SEVEIF aporta información sobre evaluación económica a dos niveles: valor activo (cuantificación económica de todos los recursos de la zona de estudio) y valor depreciado (cuantificación económica de los recursos perdidos tras el paso del fuego de la zona afectada, en base al CVN). A semejanza del caso anterior, es necesaria la simulación considerando los dos escenarios:

- 1) **Escenario con condiciones reales de propagación** (considerando la actuación de medios de extinción, es decir, el área encerrada en la capa del perímetro del incendio real).
- 2) **Condiciones de propagación libre** (condiciones de propagación libre, sin la actuación de medios de extinción. Condiciones potenciales).

La valoración económica requiere de cuantificación económica del máximo de los servicios ambientales presentes en el medio natural. Visual SEVEIF incluye los recursos tangibles y parte de los recursos intangibles, cuantificados por metodologías indirectas como la metodología de valoración contingente o coste-viaje (Riera, 2000).

Se entiende como recursos tangibles aquellos que existen físicamente y que tienen una transacción económica, es decir, se consideran bienes de mercado. El modelo SEVEIF incluye madera, pasto, caza, corcho y frutos (bellota, castaña y piñón), utilizando formulaciones (Tabla 3) ya contrastadas científicamente (González-Cabán, 2000; Martínez, 2000; Rodríguez y Silva et al. 2007, 2010; Molina, 2008; Zamora et al., 2010; Molina et al., 2011; Rodríguez y Silva et al., 2012).

A continuación, se adjunta los algoritmos de valoración económica de los recursos tangibles considerados en la valoración económica (Tabla 3). Se identifican todos los inputs necesarios para la valoración, incorporando la fuente de referencia para la consulta detallada de cada una de las expresiones.

Tabla 3. Algoritmos de valoración económica de recursos tangibles

Recurso natural	Algoritmo de valoración	Estado del recurso	Fuente
Madera	$V_{mad} = (a \cdot E \cdot B) / (E + b \cdot B)$	Maduro e inmaduro	Rodríguez y Silva et al., 2012
	$E = C_0 \cdot p [i^e + g(i^e - 1)] + A \cdot (i^e - 1)$	Inmaduro	Martínez, 2000
	$E = (C_0/z) \cdot t [i^e + g(i^e - 1)] + (C_0/z) \cdot 0,5 \cdot (i^e - 1)$	Latizal	Martínez, 2000
	$E = [P \cdot V - P_1 \cdot V_1] + P \cdot V [(i^{T-e}) - 1] / (i^{T-e})$	Fustal	Martínez, 2000
	$B = [(V \cdot P \cdot 1,025^n) / 1,04^n] \cdot [1 - (1,025/1,04)^e] \cdot [1 + X \cdot h \cdot p]$	Inmaduro	González-Cabán, 2000
	$B = V \cdot h \cdot t [R \cdot P + (1 - R) \cdot P_1]$	Maduro	González-Cabán, 2000
Leñas	$V_{leñ} = P_x \cdot R_x \cdot [((1+i)^n - 1) / (i \cdot (1+i)^n)]$	-	Martínez, 2000
Productos no leñosos	$V_{pnoleñ} = P_x \cdot R_x \cdot [((1+i)^n - 1) / (i \cdot (1+i)^n)]$	Maduro	Martínez, 2000 Molina et al., 2011
Pasto	$V_{past} = P_x \cdot R_x \cdot [((1+i)^n - 1) / (i \cdot (1+i)^n)]$	Uso silvopastoral	Martínez, 2000 Molina et al., 2011
Caza	$V_{caza} = P_x \cdot R_x \cdot [((1+i)^n - 1) / (i \cdot (1+i)^n)] + S$	Coto de caza	Zamora et al., 2010

Fuente: extraído de Ortega et. al 2023a

Siendo:

- E = valoración maderera en base al planteamiento tradicional español (€/ha)
- B = valoración maderera adaptada del modelo americano (€/ha)
- a = valor comprendido entre 1,7 y 2,6 en base a la importancia del recurso maderero en el área quemada
- b = valor comprendido entre 0,25 y 0,85 en base a la importancia del recurso maderero en el área quemada
- Co = coste de repoblación de una hectárea de terreno (€/ha)
- p = es el porcentaje de la masa afectada por el fuego
- i = tanto por uno de interés anual
- g = anualidad dependiente del turno de la especie
- A = valor de una hectárea de suelo sin arbolado (€/ ha),
- e = edad estimada de la masa en el momento del incendio
- V = volumen de madera expresado en m3/ha
- P = precio del m3 de madera apeada (€)
- n = es el número de años que restan hasta el turno de corta
- X = coeficiente de mortalidad dependiente de la severidad de las llamas
- h = porcentaje de la especie en el dosel
- z = reducción del coste de repoblación por el fenómeno autoregenerativo en función del turno
- P1 = precio de la madera dañada con aprovechamiento comercial (€/m3)
- V1 = volumen de madera dañada con aprovechamiento (m3/ha)
- Px = precio por unidad de medida del recurso (€)
- Rx = cantidad de recurso producida anualmente (unidad según tipo de recurso)
- S = stock reproductivo (€).

En cuanto a los recursos intangibles, son aquellos que no disponen de un mercado directo de compra y venta, pero que no por ello son menos importantes. El modelo SEVEIF incluye fijación de carbono, erosión, especies amenazadas y paisaje/recreo/no uso), utilizando formulaciones (Tabla 4) ya contrastadas científicamente (Rodríguez y Silva et al. 2007, 2010; Molina, 2008; Molina et al., 2009; Molina et al., 2019a, 2019b, 2019c).

Tabla 4. Algoritmos de valoración económica de recursos intangibles

Recurso natural	Algoritmo de valoración	Condición del recurso	Fuente
Fijación de carbono	$V_{carb} = 3.67 * [CS * Pc + AS * Pc * (((1 + r)^y - 1) / (r * ((1 + r)^y)))]$	Presencia de estrato arbóreo y/o matorral	Molina et al., 2019a
Erosión	$V_{eros} = V * [(1 + r)^{(n-1)} / (r * (1 + r)^n)]$	Presencia de cobertura vegetal	Molina et al., 2009
Especies amenazadas	$V_{ame} = V * [(1 + r)^{(n-1)} / (r * (1 + r)^n)]$	Presencia confirmada	Molina et al., 2019b
Paisaje/Recreo/No uso	$V_{pais} = V * [(1 + r)^{(n-1)} / (r * (1 + r)^n)]$	Existencia	Molina et al., 2009 Molina et al., 2019c

Fuente: extraído de Ortega et. al 2023a

Siendo:

- “CS” = cantidad de carbono retenida cuando el incendio acontece (m3/ha),
- “Pc” = precio de fijación del dióxido de carbono (€/tCO2)
- “AS” = incremento anual de volumen de carbono retenido (m3/ha)
- “r” = tipo de interés compuesto anual basado en el tiempo de restauración
- “y” = tiempo que queda hasta el turno o la edad de senescencia (diferencia entre el turno y la edad)
- “V” = valor anual del recurso (€/ha)
- “n” = número estimado de años necesarios para que la vegetación se recupere (tiempo de restauración).

Los resultados de estos algoritmos, tanto en los recursos tangibles como intangibles, expresan el máximo impacto del fuego (€/ha). Sin embargo, el impacto del fuego se basa en el CVN, el cual se fundamenta en el comportamiento del fuego, también calculado por el software. Por tanto, tras la estimación del valor económico de cada uno de los recursos analizados del territorio, se procede al cálculo de las pérdidas reales causadas por el fuego. Para ello, se determinaron los Niveles de Intensidad de Fuego (NIF), asociados a la intensidad de fuego o longitud de llama (Ortega et al. 2023b). Aunque en estudios anteriores (Molina, 2008) se establecieron seis NIF, en los últimos estudios (Ortega et al., 2023a) se ha incorporado un nuevo NIF (Tabla 5) para establecer una posible ganancia de algún recurso por el paso de un fuego de baja intensidad.

Tabla 5. Niveles de Intensidad de Fuego (NIF)

Longitud de llama media (m)	Intensidad lineal (kW/m)	Niveles de Intensidad de Fuego
<1	<260	I
1-2	260-1.172	II
2-3	1.172-2.830	III
3-6	2.830-12.770	IV
6-9	12.770-30.830	V
9-12	30.830-57.620	VI
>12	>57.620	VII

Fuente: extraído de Ortega et. al 2023a

Tras la determinación de cada uno de los Niveles de Intensidad de Fuego (NIF) y, fruto de estudios realizados en incendios forestales significativos acaecidos en Andalucía (Rodríguez y Silva et al., 2009), se estableció una matriz de depreciación que relaciona en términos porcentuales la pérdida del recurso analizado con los Niveles de Intensidad de Fuego (Tabla 6). Es decir, se incorpora el concepto del CVN, a semejanza de las aproximaciones del USDA Forest Service.

Tabla 6. Matriz de depreciación para cuantificación de pérdidas económicas (expresado en %)

Recurso	Fuente	NIF I	NIF II	NIF III	NIF IV	NIF V	NIF VI	NIF VII
Madera	Rodríguez y Silva et al., 2012	+1,5	-8	-17	-39	-58	-83	-
Productos no leñosos	Molina et al., 2011	+2	-5	-10	-20	-45	-65	-75
Corcho (< 6 años)	Molina et al., 2009	0	-10	-20	-45	-65	-85	-90
Corcho (> 6 años)	Molina et al., 2009	0	-5	-10	-15	-30	-50	-70
Pastos	Molina et al., 2011	+12	+12	-65	-85	-100	-100	-100
Caza	Zamora et al., 2010	+4,5	-20	-45	-65	-85	-95	-100
Carbono	Molina et al., 2019a	-5	-16	-40	-60	-85	-95	-100
Especies protegidas y fauna	Molina et al., 2019b	+2,5	-28	-45	-60	-80	-90	-100
Erosión	Molina et al., 2009	-10	-15	-25	-45	-65	-95	-100
Paisaje	Molina et al., 2019c	-2,5	-10	-25	-61	-72	-92	-92
Recreo	Molina et al., 2019c	-2,5	-8	-15	-55	-65	-85	-92
No uso	Molina et al., 2009	-1	-8	-19	-46	-54	-69	-69

Fuente: adaptado de Ortega et. al 2023a

Finalmente, para cada incendio se definió los recursos tangibles e intangibles a valorar, considerando los valores de referencia que aporta el programa para cada especie y modelo de combustible. Para la definición de las especies (especie, clase natural de edad y cobertura) se emplearon las fichas resumen de seguimiento de incendios. Además, fue necesario determinar la categoría de protección del área de estudio, la cual se determinó a partir de la capa de Espacios Naturales Protegidos (ENP) de Andalucía, obtenida de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM).

4.3. Cálculo de índices de eficiencia y análisis estadístico

4.3.1. Índices de eficiencia

Este trabajo utilizó tres índices para la evaluación de la eficiencia y eficacia operacional:

FACTOR DE CONTRACCIÓN SUPERFICIAL (FC)

El Factor de Contracción Superficial (FCS), denominado en inglés *Area Contraction Factor* (ACF), es una ratio comparativa entre la superficie real afectada por el incendio y la superficie potencial obtenida en propagación libre, considerando fuego de superficie y fuego de copas (Rodríguez y Silva, 2007; Rodríguez y Silva y González-Cabán, 2010). Mientras la superficie real afectada considera la actuación de medios de extinción (el perímetro oficial del incendio), la simulación en propagación libre se realiza mediante Visual-SEVEIF 4.1.2© hasta la hora de control del incendio.

La expresión que define el Factor de Contracción Superficial es la siguiente:

$$FC = 1 - \frac{Aq}{Ap}$$

Siendo: Aq = área quemada o real y Ap = área potencial o simulada en propagación libre

Los valores que puede tomar dicho índice oscilan entre 0 y 1, aumentando la eficacia de las actuaciones de extinción cuanto mayor sea la ratio. Además, se puede utilizar la siguiente clasificación del FCS

Tabla 7. Clasificación cualitativa de la eficacia en función del Factor de Contracción Superficial

FCS	Clasificación
0-0,28	Bajo
0,281-0,48	Moderado
0,481-0,8	Alto
0,81-1	Muy Alto

Fuente: Rodríguez y Silva, 2007

EFICIENCIA TÉCNICA (ET)

La Eficiencia Técnica (ET) se expresa como la máxima cantidad de producción dado un nivel fijo de insumos (Rodríguez y Silva y González-Cabán, 2012). Se presenta como un indicador de la eficiencia económica de los medios de extinción, relacionando los costes de extinción totales y el valor salvado en términos monetarios, gracias a la actuación de estos. Con ello, la eficiencia técnica queda definida por la siguiente expresión (Rodríguez y Silva y González-Cabán, 2012):

$$ET = 1 - \frac{Ce}{Vp - Vr}$$

Siendo: Ce = costes de extinción; Vp = valor de los recursos afectados en propagación libre; Vr = valor de los recursos afectados en perímetro real; (todos ellos referidos en €).

Nota: $Vp - Vr = Vsa$ (valor salvado)

La diferencia entre en el valor de los recursos afectados en propagación libre (Vp) y el valor de los recursos afectados en el perímetro real (Vr) determinan el valor salvado (Vsa). El valor salvado queda definido como la cantidad de recursos que podían haber sido afectados sin la actuación de los medios de extinción, obtenido todo ello mediante la simulación en Visual-SEVEIF 4.1.2© en escenario con y sin medios de extinción.

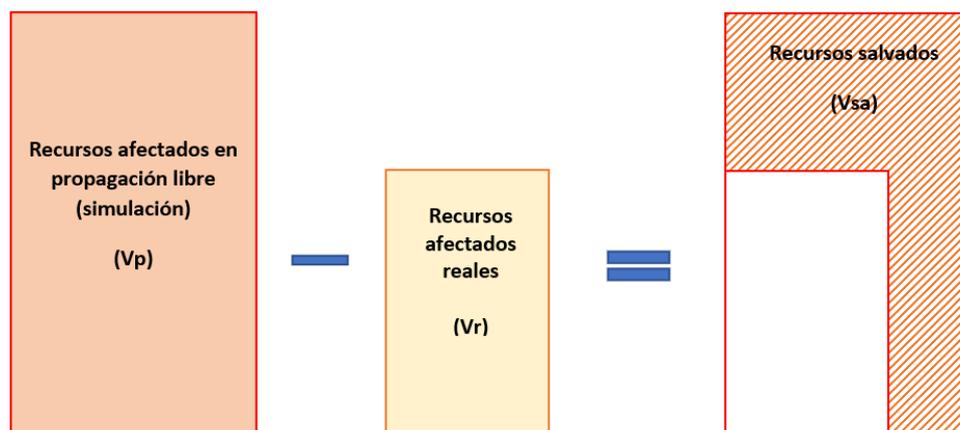


Figura 8. Representación gráfica determinación recursos salvados. Elaboración propia

Es importante señalar que la eficiencia técnica, queda definida por la diferencia entre la unidad y la ineficiencia técnica (IET) (Rodríguez y Silva y González-Cabán, 2012), por lo que el indicador toma valores comprendidos entre 0 y 1, aumentando la eficiencia de las actuaciones de extinción cuanto más se aproxima a la unidad. La eficiencia técnica puede clasificarse en intervalos cualitativos, a semejanza del índice anterior.

Tabla 8. Clasificación cualitativa de la eficiencia en función de la eficiencia técnica (ET)

ET	Clasificación
$0 < ET < 0.26$	Bajo
$0.26 \leq ET < 0.6$	Moderado
$0.6 \leq ET < 0.7$	Alto
$0.7 \leq ET < 1$	Muy Alto

Fuente: Rodríguez y Silva y González-Cabán, 2012

ÍNDICE DE GESTIÓN (IG)

La evaluación de la gestión del dispositivo de extinción se presenta como una necesidad ante la búsqueda de la eficiencia de los operativos de extinción, surgiendo así debate acerca de las inversiones realizadas en base a los resultados generados (Rodríguez y Silva y González-Cabán, 2012). El índice de gestión (IG) se presenta como una herramienta para la evaluación de la eficiencia operacional, relacionando la eficacia de la extinción con los costes por hectárea, determinándose como el cociente entre el factor de contracción superficial (FCS) y los costes de extinción por hectárea (Carmona y Rodríguez y Silva, 2009).

La expresión que determina el índice de gestión es la siguiente (Carmona y Rodríguez y Silva, 2009):

$$IG = \frac{FCS (\%)}{Ct/Aq} = \frac{FCS (\%)}{Ca}$$

Siendo: FCS=factor de contracción superficial; Ct= costes de extinción totales (€) ; Aq = área quemada (ha); Ca = costes de extinción por hectárea (€/ha)

A partir del factor de contracción superficial y los costes de extinción por hectárea, se establece un punto de equilibrio, a partir del cual se presenta una gestión eficiente. El punto de equilibrio se establece igualando el FCS con los costes, siendo este el punto de gestión mínima eficiente (Pgme) (Figura 9). De esta manera, el índice de gestión (IG) ayuda a determinar deficiencias operativas en la extinción (Rodríguez y Silva y González-Cabán, 2016).

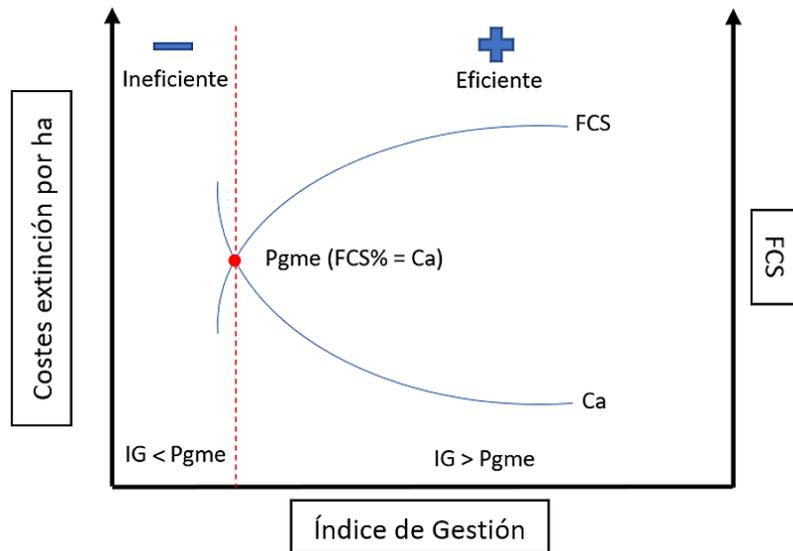


Figura 9. Representación gráfica eficiencia en función del índice de gestión

Fuente: adaptado de Rodríguez y Silva y González-Cabán, 2012

La categorización cualitativa del índice de gestión puede ser: eficiente o ineficiente, al contrario que los índices descritos anteriormente que presenta una escala cualitativa (bajo, moderado, alto y muy alto) (Tabla 9).

Tabla 9. Clasificación cualitativa de la eficiencia en función del índice de gestión (IG)

Gestión EFICIENTE	$IG \geq P_{me} (FCS = Ca)$
Gestión INEFICIENTE	$IG < P_{me} (FCS = Ca)$

Fuente: Rodríguez y Silva y González-Cabán, 2016

4.3.2. Parámetros de análisis comparativo de los costes de extinción y la eficacia operacional

La búsqueda de factores, que a priori puedan afectar a los límites lógicos de los costes de extinción y la eficiencia operacional en labores de extinción de incendios forestales, resulta una fase de gran importancia. Una correcta determinación de los factores de mayor influencia se traduce en una mejora en la optimización de los recursos en base a las características del fuego y del territorio, favoreciendo así la eficiencia y eficacia de las operaciones de extinción en incendios forestales. En este sentido, se determinaron unos parámetros y variables (Tabla 10), que a priori, podrían influenciar las condiciones óptimas de eficiencia y eficacia de dichas operaciones.

Tabla 10. Parámetros y variables consideradas para análisis estadístico

Parámetro	Descripción de parámetro	Clasificación considerada
Provincia	Provincia afectada	Sevilla, Córdoba, Cádiz y Huelva
Franja horaria	Inicio del incendio según franja horaria	Noche (20:00-8:00) y Día (8:00-20:00)
Combustible inicial*	Combustible forestal inicio del incendio forestal	Pasto y Matorral-Hojarasca Arbolado y Desarbolado
Combustible representativo*	Combustible forestal representativo en zona afectada	Pasto y Matorral-Hojarasca Arbolado y Desarbolado
Superficie	Superficie afectada	Incendio Forestal (<500 ha) y Gran Incendio Forestal (≥500 ha)
Tiempo de respuesta	Tiempo de llegada del primer medio al incendio en labores de extinción	≤20 min y >20 min
Vector principal	Vector principal de propagación del incendio forestal	Topográfico y Viento
Tipología de fuego	Tipología de propagación de primeros estadios del incendio forestal	Superficie o Copas
Ataque	Tipología de ataque en primeros estadios del incendio forestal según longitud de llama	Ataque directo y Ataque indirecto
Tasa de propagación	Tasa de propagación general del incendio forestal	≤20 ha/h y >20 ha/h
Interfaz	Presencia de interfaz urbano-forestal	Presencia cercana (< 1 km) y presencia lejana (1-3 km)
Tiempo total	Tiempo total de inicio a control del incendio forestal	≤ 24h y > 24 h
Tiempo franja noche	Porcentaje de tiempo transcurrido durante la franja horaria noche respecto a tiempo total	≥50% tiempo total y <50% tiempo total
Viento máximo	Velocidad del viento máxima durante el tiempo total considerado según registros de estación meteorológica más cercana (referencia utilizada para simulación)	Viento flojo (≤20 km/h) y Viento moderado (> 20 km/h)
Viento medio	Velocidad del viento medio durante el tiempo total considerado según registros de estación meteorológica más cercana (referencia utilizada para simulación)	Calma (<5 km/h) y Flojo (6-20 km/h)

*Se consideraron 2 clasificaciones distintas en cuanto a los parámetros de combustible para mayor exactitud del estudio estadístico. Las clasificaciones se realizaron en base a la clasificación del sistema Behave de combustibles forestales

A continuación, se detalla la importancia de cada uno de los parámetros y variables consideradas en el estudio, siendo dicha importancia la justificación de la elección de las mismas:

- **PROVINCIA:** aunque se trata de un dispositivo regional, cada provincia dispone de sus particulares y de su gestión individual a partir del Centro Operativo Provincial (COP), coordinadas por el Centro Operativo Regional (COR).
- **FRANJA HORARIA Y TIEMPO FRANJA NOCHE:** la intensidad del frente y los parámetros que definen el incendio forestal varían en función de la hora de comienzo. Generalmente, durante la noche las condiciones de disponibilidad del combustible y los vientos son menores, suponiendo una oportunidad de contención de perímetro.
- **COMBUSTIBLE INICIAL Y COMBUSTIBLE REPRESENTATIVO:** los modelos de combustibles forestales condicionan el comportamiento del fuego, tanto en primeros estadios como en el desarrollo y evolución del incendio, pues definen junto a otros parámetros la tipología de propagación y el comportamiento del incendio forestal.
- **SUPERFICIE:** a medida que la superficie afectada aumenta, la dinámica y comportamiento del incendio forestal dificultan las labores de extinción, induciendo a la creación de un ambiente de fuego, con sus propias condiciones atmosféricas. Este hecho incrementa la dificultad y el tiempo necesario para el control del incendio forestal. Además, a mayor superficie mayor perímetro para el control y mayor necesidad de medios para evitar saltos o reproducciones.
- **TIEMPO DE RESPUESTA:** la llegada del primer medio a la zona de actuación es indispensable para alcanzar el éxito en la contención del incendio en primeros estadios. Un aumento del tiempo de respuesta (llegada del primer medio de extinción) supone un crecimiento exponencial de la superficie afectada por las llamas.
- **VECTOR PRINCIPAL:** la presencia de viento como vector principal de propagación favorece al aumento de la superficie afectada y la dificultad de extinción. La presencia de la topografía como vector favorece las denominadas carreras de fuego en favor de la pendiente, con puntos de oportunidad en sotavento.
- **TIPOLOGÍA DE FUEGO:** la tipología de fuego juega un papel fundamental en cuanto a la dificultad de extinción se refiere, pues los fuegos de copas (activos o pasivos) se caracterizan por una gran intensidad lineal en cuanto a superficie se refiere, alcanzando una intensidad límite para el comienzo de ignición del dosel arbóreo. Generalmente, se encuentran fuera de capacidad de contención. De este modo, la tipología de fuego define la posibilidad de contención de la superficie afectada.

- **ATAQUE:** la posibilidad de ataque directo viene definida por la longitud de llama (Martínez, 2010). De esta manera, incendios cuyo ataque inicial se basen en un ataque directo disponen de un mayor éxito en la extinción. La presencia de longitudes de llama en primeros estadios del incendio que no posibiliten el ataque directo se traduce en intensidades de fuego inabordables, aumentando la dificultad de extinción y la necesidad de medios de extinción.
- **TASA DE PROPAGACIÓN:** la tasa de propagación define el éxito en la contención del incendio. De esta manera, tasas de propagación mayores a 20 ha/h dificultan la contención del mismo, dado el amplio perímetro que conllevan (García, 2018).
- **INTERFAZ:** la presencia de bienes no forestales en las inmediaciones del incendio promueve una estrategia defensiva, basada en la protección de estas, favoreciendo el crecimiento del incendio.
- **TIEMPO TOTAL:** el aumento del tiempo del inicio-control del incendio forestal se traduce en una mayor complejidad para la extinción, puesto que se traduce en un cansancio físico y psicológico del dispositivo, lo cual es básico en los rendimientos operacionales (Ortega et al., 2023c).
- **VIENTO MEDIO Y VIENTO MÁXIMO:** la existencia de viento favorece el aumento de la velocidad de propagación, dificultando el éxito en su contención. Tanto la existencia de viento sostenido como rachas de viento en momentos puntuales influyen a priori en la propagación del incendio forestal, siendo de especial importancia la consideración de dicho parámetro.

4.3.3. Análisis estadístico

El proceso de análisis estadístico resulta fundamental para la búsqueda de diferencias significativas entre los diferentes parámetros y variables que intervienen en el estudio, condicionando o influenciando la eficiencia y eficacia de las operaciones en incendios forestales. El análisis estadístico se realiza entre las variables o parámetros que a priori se cree que tienen influencia en las operaciones (Tabla 10), y los costes de extinción e índices de eficiencia.

En primer lugar, fue necesario realizar un estudio de la normalidad de las variables. Para realizar dicho estudio se utilizó el test de Shapiro-Wilk, al tratarse de un número de casos inferior a 50 (utilizándose 39 incendios forestales). Tras realizar el estudio de normalidad, se observó que ninguna variable seguía una distribución normal, optando por la realización de pruebas no paramétricas. Para el estudio de 2 categorías se realizó el test de Mann-Whitney (también conocido como prueba U de Mann-Whitney o prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney), mientras que para el estudio de más de 2 categorías se realizó el test de Kruskal-Wallis (también conocida como análisis de varianza por rangos de Kruskal-Wallis o prueba H de Kruskal-Wallis).

Dichas pruebas no paramétricas se basan en la hipótesis nula y alternativa. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente, difiriendo en términos de la variable de respuesta. Para el análisis estadístico se estableció una probabilidad fiducial del 90% y 95% y un nivel de significancia del 5% ($p < 0,05$) y el 10% ($p < 0,1$).

5. RESULTADOS

5.1. Análisis de los costes de extinción

Los costes de extinción fluctuaron entre 5.743,20 € y 1.587.603,39 €. Esas cantidades expresadas por unidad relativa oscilaron entre 35,31 €/ha y 4.101,19 €/ha, con un valor medio para Andalucía Occidental de 721,45 €/ha. En relación con unidades horarias, se hablaría de un intervalo entre 91,16 €/h y 26.133,39 €/h, con un valor medio para Andalucía de 7.307,3 €/h (Anexo II).

El estudio estadístico de las 15 variables o parámetros con influencia a priori en los costes de extinción redujo a 4 variables de interés (modelo de combustible representativo, velocidad del viento, superficie y tasa de propagación). Las variables provincia, franja horaria, modelo de combustible inicial, tiempo de respuesta, vector principal de propagación, tipología de fuego, longitud de llama, interfaz urbano-forestal, tiempo total y tiempo de franja horaria noche y viento máximo no presentaron diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los niveles de significancia considerados.

5.1.1. Análisis de los costes de extinción horarios en base al modelo de combustible

Se identificaron diferencias estadísticamente significativas ($U = 125$, $p < 0,1$) entre los costes horarios y el modelo de combustible forestal más representativo del área de estudio (Tabla 11). Los mayores costes se atribuyeron a los modelos arbolados, con un incremento de 3.084,04 €/h respecto a los modelos desarbolados.

Tabla 11. Análisis estadístico costes de extinción y parámetro modelo de combustible representativo

Modelo representativo	COSTE (€/h)
Arbolado	8.868,7 ± (6.435,37) ^a
Desarbolado	5.787,66 ± (4.967,79) ^b

Nota: los valores medios de la misma columna seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,1$)

5.1.2 Análisis de los costes de extinción horarios en base a la meteorología

En lo que se refiere a la velocidad del viento medio, considerado según registros de estación meteorológica más cercana (referencia utilizada para simulación), se representaron diferencias estadísticamente significativas ($U = 106, p < 0,1$) (Tabla 12). La aparición de vientos con velocidades superiores (> 5 km/h) incrementó los costes de extinción en 3.493,65 €/h.

Tabla 12. Análisis estadístico costes de extinción y parámetro viento medio

Viento medio	COSTE (€/h)
Calma (≤ 5 km/h)	4.791 \pm (2.376,03) ^a
Flojo (6-20 km/h)	8.284,65 \pm (6.581,22) ^b

Nota: los valores medios de la misma columna seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,1$)

5.1.3 Análisis de los costes de extinción horarios en base a la propagación

Se observaron diferencias estadísticamente significativas ($U = 41, p < 0,05$) entre los costes horarios y superficie afectada por el incendio forestal (considerando la clasificación de incendio forestal y gran incendio forestal). El coste horario se incrementó en 5.946,7 €/h con la ocurrencia de un incendio forestal (Tabla 13).

Tabla 13. Análisis estadístico costes de extinción y parámetro superficie afectada

Superficie afectada	COSTE (€/h)
Incendio Forestal (< 500 ha)	6.142,5 \pm (.,08) ^a
Gran Incendio Forestal (≥ 500 ha)	12.088,2 \pm (6.982,47) ^b

Nota: los valores medios de la misma columna seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,1$)

En cuanto a la tasa de propagación, se identificaron diferencias estadísticamente significativas ($U = 66, p < 0,05$) entre los costes horarios y la tasa de propagación media del incendio. En este caso, se incrementó en 5.384,7 €/h con la ocurrencia de incendios de rápido crecimiento (Tabla 14).

Tabla 14. Análisis estadístico costes de extinción y parámetro tasa de propagación media

Tasa de propagación media	COSTE (€/h)
≤ 20 ha/h	5.713,6 \pm (4.358,65) ^a
> 20 ha/h	11.548,3 \pm (7.487,33) ^b

Nota: los valores medios de la misma columna seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,1$)

5.2. Análisis de la eficiencia operacional

El tiempo de respuesta medio en Andalucía Occidental osciló entre 7 min y 53 min., con un valor medio de 24 min. Aunque el viento medio máximo alcanzó los 17,5 km/h, las rachas de viento incrementaron la velocidad hasta los 49 km/h. Los incendios de copa constituyeron un 51,3% del total de los casos. La tasa de propagación de estos eventos estuvo comprendida entre 2,01 ha/h y 139,94 ha/h. Los incendios en Andalucía Occidental tienen tendencia a vector de propagación por viento, con una representatividad del 85%. Las operaciones de extinción se fundamentaron en el ataque indirecto con una representatividad del 60%, no obstante, el ataque directo supuso un total de 40%, por lo que ambas tipologías de ataque son usuales en los casos estudiados (Anexo III).

Mientras la superficie quemada osciló entre 109,57 ha y 8.501,3 ha, la superficie potencial lo hizo entre 179,3 ha y 31.012,2 ha. De igual forma el valor salvado fluctuó entre 14.081,36 € y 31.962.661,32 €. Esa información, obtenida a través de Visual SEVEIF, repercutió en los tres índices de eficiencia. El FCS para Andalucía estuvo comprendido entre 0,2 y 0,99, con un valor medio de 0,67. Por su parte el EF varió entre 0 y 1 con un valor medio de 0,6. Por último, el IG varió entre 0,02 y 2,82 con un valor medio de 0,24 (Anexo III).

El estudio estadístico de las 15 variables o parámetros con influencia a priori en la eficiencia y eficacia operacional redujo a 9 las variables de interés. A continuación, se analizan los resultados estadísticos por tipología de las variables. Las variables modelo inicial (clasificación pasto-matorral/hojarasca y clasificación arbolado-desarbolado), modelo representativo (clasificación arbolado-desarbolado), tiempo total del incendio, velocidad de viento media y velocidad de viento máxima no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes índices considerados en el estudio para ninguno de los niveles de significancia considerados.

5.2.1. Análisis de la eficiencia operacional en base a límites administrativos

Se observaron diferencias estadísticamente significativas ($H = 6,59$, $p < 0,10$) a nivel de FCS entre provincias, principalmente entre Sevilla y Huelva ($U = 27$, $p < 0,05$) y entre Cádiz y Huelva ($U = 49$, $p < 0,1$) (Tabla 15). En lo que respecta a ET e IG, no se observaron diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los niveles de significancia considerados en el estudio.

Tabla 15. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con parámetro provincias

Provincia/Índice	FCS	ET	IG
Cádiz	0,76 ± (0,2) ^a	0,48 ± (0,33) ^a	0,37 ± (0,86) ^a
Sevilla	0,79 ± (0,2) ^a	0,77 ± (0,33) ^a	0,28 ± (0,19) ^a
Córdoba	0,6 ± (0,23) ^b	0,55 ± (0,38) ^a	0,21 ± (0,16) ^a
Huelva	0,58 ± (0,23) ^b	0,6 ± (0,33) ^a	0,15 ± (0,11) ^a

Nota: los valores medios de la misma columna seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,1$)

5.2.2. Análisis de la eficiencia operacional en base a la franja horaria

A nivel de “franja horaria”, se identificaron diferencias estadísticamente significativas ($U=67,5$, $p<0,05$) a nivel de FCS entre la franja horaria “Noche” y “Día”. Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ET e IG debido a su gran desviación estándar (Tabla 16).

Tabla 16. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con variable franja horaria

Franja horaria/Índice	FCS	ET	IG
Noche	0,79 ± (0,26) ^a	0,61 ± (0,34) ^a	0,49 ± (0,96) ^a
Día	0,64 ± (0,2) ^b	0,59 ± (0,34) ^a	0,17 ± (0,14) ^a

Nota: los valores medios de la misma columna seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,1$)

Además, se observaron diferencias estadísticamente significativas ($U=126$, $p<0,1$) a nivel de ET entre el tiempo de la franja horaria de “Noche” (Tabla 17). ET presentó mayores valores cuando el tiempo durante la franja horaria “Noche” fue $\geq 50\%$ del tiempo total entre el inicio y el control del incendio forestal. Por el contrario, no se observaron diferencias estadísticamente significativas para FCS e IG para ninguno de los niveles de significancia considerados en el estudio.

Tabla 17. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con parámetro tiempo noche

Tiempo noche/Índice	FCS	ET	IG
$\geq 50\%$ tiempo total	0,67 ± (0,25) ^a	0,61 ± (0,34) ^a	0,24 ± (0,46) ^a
$< 50\%$ tiempo total	0,66 ± (0,21) ^a	0,58 ± (0,34) ^b	0,17 ± (0,14) ^a

Nota: los valores medios de la misma columna seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,1$)

5.2.3. Análisis de la eficiencia operacional en base al tiempo de repuesta

En lo que respecta al tiempo de respuesta, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($U= 93$, $p<0,05$) a nivel de IG, siendo mayor para tiempos menores (Tabla 18). No obstante, se presenta una alta variabilidad en los incendios analizados. No se observaron diferencias estadísticamente significativas a nivel de FCS y ET para ninguno de los niveles de significancia considerados en el estudio.

Tabla 18. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con parámetro tiempo de respuesta

Tiempo respuesta/Índice	FCS	ET	IG
≤ 20 min	0,66 ± (0,23) ^a	0,59 ± (0,34) ^a	0,24 ± (0,46) ^a
>20 min	0,66 ± (0,24) ^a	0,58 ± (0,35) ^a	0,17 ± (0,15) ^b

Nota: los valores medios de la misma columna seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,1$)

5.2.4. Análisis de la eficiencia operacional en base al modelo de combustible

Se observaron diferencias estadísticamente significativas a nivel de FCS ($U=49,5$, $p < 0,05$) y ET ($U=78,5$, $p < 0,1$) con la clasificación considerada de los modelos de combustibles representativos en el área afectada del incendio forestal (Tabla 19). No se observaron diferencias estadísticamente significativas a nivel de IG para ninguno de los niveles de significancia considerados en el estudio.

Tabla 19. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con parámetro modelo representativo

Modelo representativo/Índice	FCS	ET	IG
Pasto	$0,7 \pm (0,23)^a$	$0,56 \pm (0,35)^a$	$0,16 \pm (0,12)^a$
Matorral-Arbolado	$0,5 \pm (0,17)^b$	$0,6 \pm (0,34)^b$	$0,2 \pm (0,13)^a$

Nota: los valores medios de la misma columna seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,1$)

5.2.5. Análisis de la eficiencia operacional en base al comportamiento del fuego

Analizando las variables de comportamiento potencial o vector principal de propagación en los primeros estadios del fuego, se observaron diferencias estadísticamente significativas ($U=57$, $p < 0,05$) a nivel de FCS (Tabla 20). Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ET e IG, debido a su alta variabilidad.

Tabla 20. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con variable vector de principal

Vector/Índice	FCS	ET	IG
Viento	$0,64 \pm (0,24)^a$	$0,61 \pm (0,34)^a$	$0,24 \pm (0,45)^a$
Topografía	$0,82 \pm (0,11)^b$	$0,62 \pm (0,34)^a$	$0,17 \pm (0,12)^a$

Nota: los valores medios de la misma columna seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,1$)

Se identificaron diferencias estadísticamente significativas ($U=132,5$, $p < 0,1$) a nivel de IG entre las tipologías de fuego (fuegos de superficie y fuegos pasivos o activos de copas) en los primeros estadios del incendio forestal (Tabla 21). Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre FCS y ET y las tipologías de propagación para ninguno de los niveles de significancia considerados en el estudio.

Tabla 21. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con parámetro tipología de fuego

Tipología fuego/Índice	FCS	ET	IG
Superficie	0,67 ± (0,23) ^a	0,59 ± (0,34) ^a	0,38 ± (0,79) ^a
Copas	0,67 ± (0,24) ^a	0,61 ± (0,34) ^a	0,24 ± (0,46) ^b

Nota: los valores medios de la misma columna seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,1$)

En cuanto a la tasa de propagación, se encontraron diferencias estadísticamente significativas a nivel de FCS ($U=78$, $p<0,05$) y, a nivel de IG ($U=73,5$, $p<0,05$), entre las clasificaciones de tasa de propagación consideradas (Tabla 22). En lo que respecta a ET, no se observaron diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 22. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con parámetro tasa de propagación

Tasa de propagación/Índice	FCS	ET	IG
≤ 20 ha/h	0,72 ± (0,21) ^a	0,61 ± (0,34) ^a	0,25 ± (0,45) ^a
> 20 ha/h	0,53 ± (0,24) ^b	0,65 ± (0,35) ^a	0,23 ± (0,16) ^b

Nota: los valores medios de la misma columna seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,1$)

5.2.6. Análisis de la eficiencia operacional en base a la presencia de interfaz urbano-forestal

En lo que se refiere a la presencia de interfaz urbano-forestal, se observaron diferencias estadísticamente significativas a nivel de FCS (Tabla 23), entre presencia cercana y lejana ($U = 77$, $p < 0,1$) (Tabla 23). En lo que respecta a ET e IG no se observaron diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los niveles de significancia considerados en el estudio.

Tabla 23. Análisis comparativo entre índices de eficiencia y eficacia operacional con parámetro interfaz

Interfaz/Índice	FCS	ET	IG
Presencia cercana (<1 km)	0,38 ± (0,86) ^a	0,62 ± (0,34) ^a	0,24 ± (0,45) ^a
Presencia lejana (1-3 km)	0,23 ± (0,19) ^b	0,58 ± (0,34) ^a	0,17 ± (0,14) ^a

Nota: los valores medios de la misma columna seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas ($p < 0,1$)

6. DISCUSIÓN

6.1. Necesidad de herramientas de evaluación económica en los programas de gestión de incendios forestales

En los últimos años, se ha producido un avance en el estudio de la eficiencia y eficacia de los medios de extinción (Rodríguez y Silva, 2007), gracias al avance en el ámbito tecnológico y la unificación de conocimientos científico-técnicos en materia de economía e incendios forestales, favoreciendo el uso de modelos económicos y su aplicabilidad en el análisis de la productividad de las operaciones de extinción y la asignación de recursos (Rodríguez y Silva, et al. 2016). La creación y uso de diferentes índices basados en teorías económicas para evaluar la eficiencia y eficacia de las operaciones de extinción en incendios forestales se hace cada vez más necesaria ante la aparición de nuevos regímenes de fuego (Úbeda et al., 2021), surgiendo a raíz de dicha problemática nuevas preguntas en cuanto a la búsqueda de unos límites lógicos de eficiencia (Donovan & Rideout, 2003; Mendes, 2010; Gorte, 2013) que permitan la asignación de recursos de una manera óptima para paliar la superficie afectada por el fuego. De este modo, la correcta asignación de recursos en materia de incendios forestales adquiere cierto grado de complejidad, siendo necesario estudios complementarios que permitan una reasignación de recursos de forma óptima.

La capitalización de la experiencia se hace indispensable para la búsqueda de posibles factores que puedan influir en las labores de extinción de incendios forestales (Rodríguez y Silva, 2013; Benlloch & De Simón, 2017), así como para la búsqueda de los citados límites de eficiencia en operaciones de extinción. Dichos factores son aquellos que definen, interaccionan y determinan los diferentes escenarios. De este modo, el estudio de la eficacia operacional en incendios forestales puede ir más allá de un estudio individualizado, permitiendo análisis comparativos entre diversos factores (Rodríguez y Silva, et al. 2016). La determinación de los diversos factores que intervienen en el alcance de los citados límites lógicos de eficiencia permitirá la mejor combinación de recursos de extinción de incendios forestales, teniendo en cuenta las capacidades de producción, utilidades y restricciones presupuestarias (Rodríguez y Silva, et al. 2016). Futuras investigaciones deberían realizar un estudio DELPHI para identificar todos los factores o parámetros de interés que pueden influir en la eficiencia y eficacia de las operaciones de extinción.

El Factor de Contracción Superficial (FCS), el Índice de Gestión (IG) y la Eficiencia Técnica (ET), así como el estudio de las diferentes combinaciones con diversos factores que puedan afectar a las labores de extinción de una forma óptima (Thompson et al., 2017), se presenta como una herramienta de gran utilidad para la Dirección Técnica de Extinción. Este conocimiento puede repercutir en la reducción de los costes de extinción y el aumento del valor económico salvado de los recursos naturales (Rodríguez y Silva, 2017), además de constituir una herramienta para la reasignación óptima de recursos, permitiendo identificar deficiencias operativas (Rodríguez y Silva y González-Cabán, 2010). En este sentido, el Factor de Contracción Superficial (FCS) y el Índice de Gestión (IG) proporcionan información sobre la efectividad de las operaciones de extinción, al incluir una relación de comparación entre el área afectada y el área potencial

de incendio sin acciones de extinción (Rodríguez y Silva, et al. 2016). Así mismo, la Eficiencia Técnica (ET), proporciona información sobre las inversiones presupuestarias aplicadas, permitiendo redirigir las inversiones en base a futuros escenarios (Rodríguez y Silva, 2013)

El marco metodológico presentado en el presente trabajo es extrapolable a otros territorios, dispositivos de extinción y permite su retroalimentación con un mayor número de campañas de incendios y tamaño de la muestra. Se recomienda la selección de incendios forestales mayores a 100 ha, centrando el estudio en aquellos eventos que realmente tengan un impacto significativo en términos de superficie quemada y recursos utilizados en las operaciones de extinción. Al establecer el umbral de 100 ha, se garantiza que la muestra de incendios analizados sea representativa para un análisis estadístico, dada la consideración de situaciones donde la magnitud y la complejidad requieren de un ataque ampliado. Esta selección permite obtener resultados más fiables y aplicables a situaciones de mayor envergadura, donde los costes de extinción, la logística y la coordinación de recursos adquieren una importancia crucial para la toma de decisiones y la asignación eficiente de medios de extinción. Tal como se ha apreciado en los análisis, la muestra presenta una gran variabilidad y una falta de normalidad, por lo que se recomienda trabajar en un incremento de la muestra y eliminación de los residuos en futuros estudios.

6.2. Análisis de los costes de extinción horarios

La ausencia de diferencias entre los costes de extinción y las distintas provincias objeto de estudio se asocia a que el INFOCA es un dispositivo de extinción a nivel autonómico, cuyo despacho de medios de extinción debería seguir unos criterios unificados (Ferrer y Sánchez, 2007). Aunque hay provincias que disponen de mayor cuantía de medios materiales y humanos no se han apreciado diferencias entre ellas, lo que avala una idea regional en el despacho de medios.

Aunque durante el día se disponen de medios aéreos, aumentando muy notablemente los costes de extinción (Vélez, 2009), no se identificaron diferencias significativas en los costes horarios en cuanto a la franja horaria. Este hecho obedece a que la mayoría de los casos estudiados se extienden durante el día y la noche, es decir, se dispone de incendios que comienzan en la tarde o grandes incendios forestales que duran más de un día. En este sentido, los Grandes Incendios Forestales (GIF) se están viendo incrementados sustancialmente en España y Andalucía en los últimos años (Estadística del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico), lo que incrementaría más del 86% los costes de extinción (Molina et al., 2019). Los costes de extinción para grandes incendios forestales (> 500 ha) oscilaron en Andalucía entre 3.169,45 €/h y 13.152,77 €/h (Molina et al., 2019). Estos valores se encuentran muy cercanos a los obtenidos (con un valor medio de 7.307,3 €/h) por este estudio, considerando una muestra mayor, de incendios con más de 100 ha, lo que parece avalar la muestra seleccionada.

Únicamente, se presentaron diferencias significativas en los costes de extinción horarios en relación con el modelo de combustible, la velocidad del viento y el comportamiento y crecimiento del incendio.

Los costes de extinción se incrementaron en modelos arbolados (aproximadamente un 35 %), dada la mayor cantidad de medios necesarios para evitar la transición del fuego de superficie a copas (Van Wagner, 1977) y la propagación por las copas del arbolado (Rodríguez y Silva et al., 2010). Sin embargo, cuando el incendio comienza en modelos arbolados, pero progresa a modelos desarbolados, no se observaron diferencias significativas con el comienzo en modelos desarbolados. Este resultado parece avalar la idea de que es más importante el modelo por el que progresa el fuego que en el que se inicia. Esta idea se encuentra en línea con el concepto de la concentración de esfuerzos de extinción en Perímetros Operacionales (POD) (Thompson et al., 2022) o Zonas Estratégicas de Gestión (ZEG) (<https://www.congresozegefirepocstep2022.com/index>). Una vez el incendio se escapa del control en un ataque inicial, es necesaria una organización y priorización del dispositivo, en base al potencial del incendio y a los puntos de oportunidad.

La presencia de viento incrementó los costes de extinción en un 42,17%. Un aumento del módulo de viento de forma sostenida durante el transcurso del incendio conlleva un incremento del perímetro a contener y, en consecuencia, una mayor demanda de medios de extinción (Aguirre, 2001). No es así con la velocidad máxima de viento (rachas de viento), puesto que la presencia de rachas influye únicamente de forma puntual en la velocidad de propagación del incendio. Este resultado parece defender el uso de velocidades medias del viento para las simulaciones, en contra de las velocidades máximas, al menos para estudios de eficacia y eficiencia del dispositivo.

Finalmente, los costes de extinción aumentaron un 50,52% para tasas de propagación superiores a 20 ha/h. Ante este rápido crecimiento, la Dirección Técnica de Extinción requiere de medios adicionales de otra provincia o del Ministerio, que en un primer momento son helitransportados, incrementando los costes.

5.2. Análisis de la eficiencia y eficacia operacional

Las diferencias en el FCS entre provincias responden a la tipología de incendios, de acuerdo con las características propias del territorio. Las principales diferencias existentes se observaron entre Huelva y Sevilla. En Huelva, la superficie media de los incendios analizados asciende a un total de 1.146 ha mientras que en Sevilla se reduce a la mitad (544 ha). El mayor tamaño de los incendios en Huelva está asociado a la vegetación, en gran cantidad eucaliptares abandonados, y la exposición a los vientos atlánticos (Viedma, 1998). También, se observaron diferencias entre Sevilla y Cádiz, aunque menores debido a la mayor variabilidad de los incendios en este último límite administrativo. Este hecho puede estar justificado por la presencia de un escenario de interfaz urbano-forestal global en esta provincia, lo que prioriza la atención defensiva de las edificaciones sobre el crecimiento del incendio por medio forestal (Senra, 2017). La mayor eficiencia técnica en Córdoba radica en la tipología de combustible, generalmente

caracterizada por modelos de pastizal y matorral, con una menor pérdida potencial a pesar de su alta tasa de propagación.

Durante la noche, el comportamiento de un incendio forestal adquiere condiciones menos agresivas, pues las variables meteorológicas adquieren valores más favorables para la extinción y el éxito en la contención del incendio forestal (disminución de superficie afectada) (Quílez, 2020). La temperatura disminuye, la humedad relativa aumenta (variando ambas de forma sinusoidal con el transcurso del día), y el viento por lo general adquiere menor velocidad. Cabe destacar, que la temperatura influye de forma indirecta en el comportamiento de los incendios, al contrario que la humedad relativa que es considerada según diversos autores como un elemento clave en la determinación del potencial de propagación y la disponibilidad del combustible a arder (Soares et al. 2007, 2015). En este sentido, se pueden observar mayores valores en la Noche para FCS, ET e IG, aunque solo se presentan diferencias significativas en el primero de los índices. Mientras el tiempo total del incendio no adquirió ninguna relación con los parámetros de eficiencia, la franja horaria de trabajo sí presentó diferencias a nivel de eficiencia técnica. Uno de los aspectos determinantes en la eficiencia técnica radica en los costes de extinción. Durante la noche los medios aéreos, que son los recursos de mayor coste, no realizan su trabajo.

El tiempo de respuesta es un factor fundamental en el control de los incendios forestales, destacando que la mayoría de los siniestros en España se controlan mediante ataque inicial (Ortega et al., 2023c). Los resultados obtenidos no muestran una relación directa del tiempo de respuesta con la eficiencia técnica, aunque existen diferencias significativas en cuanto a IG se refiere. Cabe esperar que el tiempo de respuesta en un incendio forestal dependa del despacho de medios aéreos, al ser estos los que mayor rapidez presentan en la llegada de forma general. Aunque dada la existencia de una red de medios de extinción distribuida por todo el territorio andaluz (https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page-documento/asset_publisher/jXKpcWryrKar/content/cat-c3-a1logo-de-medios-del-plan-infoca-2021/20151), se favorece la llegada temprana de medios terrestres al incendio, pudiendo ser esta la causa por la que el tiempo de respuesta tenga relación positiva con el IG. Los tiempos de repuesta superiores pueden localizarse en sitios remotos o cumbres con poca vegetación y condiciones menos propensas para la progresión dinámica y energética de las llamas. Además, los mayores tiempos de repuesta pueden corresponderse con incendios de rayo, provocados por tormentas secas, que pueden impedir el empleo medios aéreos, aunque suelen ser incendios en contra de la pendiente (menor velocidad de propagación).

La modelización de combustibles forestales, junto a la caracterización topográfica y meteorológica, permite identificar el comportamiento potencial del fuego (Rothermel, 1972, 1991; Rodríguez y Silva y Molina, 2010). Sin embargo, nuestro tamaño de la muestra requiere de la agrupación de los modelos Behave (Anderson, 1982) en dos grupos generales. El modelo de combustible inicial no es significativamente representativo, quizás debido el tiempo transcurrido entre el aviso y la llegada del primer medio. El fuego puede avanzar a otra tipología de combustible y, ésta, puede ser la razón de la relación del FCS y la ET con el modelo de combustible más representativo del incendio. La FCS

es mayor en modelos de pastizales, debido a la disminución de la dificultad de extinción y a las mayores posibilidades de ataque directo (Martínez, 2001). Además, la efectividad de las descargas de los medios aéreos en modelos de pasto y de matorral hasta 60 cm es superior a la de modelos de matorral denso o arbolado (Caamaño et al., 2020). A pesar de ello, la ET presenta valores algo inferiores en modelos de pasto, pudiendo deberse a que a pesar de todo lo comentado anteriormente, dichos modelos de combustible presentan una velocidad de propagación mayor (Rothermel, 1983) y por ende, un aumento de la necesidad de recursos de extinción en ciertos estadios del incendio para contener el perímetro del mismo. Dicha necesidad de aumento de los recursos de extinción se refleja en un aumento de los costes, aunque no de forma acusada tal y como puede observarse en la escasa diferencia de la ET entre ambos grupos de modelos de combustible.

El patrón de propagación juega un papel importante en el FCS (Trabaud, 1992; Pyne et al., 1996). Por un lado, un patrón de viento es más heterogéneo y complejo, principalmente con viento fuerte en contra de la pendiente, ocasionando un aumento de la complejidad y una sensación de inseguridad en las labores de extinción (Zárate, 2004). Existe una relación directa entre el viento y la velocidad de propagación (Gujarro et al., 2004), incrementando la velocidad de propagación hasta por 10 veces (Viegas, 1994) y reduciendo los rendimientos operacionales (Ortega et al., 2023c). Por otro lado, los incendios con patrón de propagación topográfico son más constantes y, con un comportamiento más fácil de prever.

Independientemente del patrón de propagación, cuando la intensidad superficial supera un umbral, conocida como intensidad crítica (Van Wagner, 1977; Alexander, 1988), se produce la transición del fuego de superficie a las copas del arbolado. Por tanto, la tipología de fuego es independiente del patrón de propagación. Los fuegos de copas presentan un mayor grado de dificultad para la extinción (Rodríguez y Silva et al., 2020), un alto potencial de generación de focos secundarios a gran distancia y un mayor riesgo sobre los bienes y la población (Scott, 1999; Scott et al., 2001; Ruiz-González, 2009). No se apreciaron diferencias significativas en FCS y ET, quizás debido a que el 95% de la muestra con incendios de copa se correspondía con incendios pasivos (asciende y desciende de las copas de forma intermitente y únicamente en momentos puntuales durante el transcurso del incendio) (Cruz y Alexander, 2012). También, ante incendios de copas, fuera de capacidad de extinción, los esfuerzos de contención se dedican a puntos de oportunidad, incrementando la eficiencia del dispositivo.

La velocidad de propagación en un incendio juega un papel fundamental en el éxito de la contención, pues el incendio puede progresar más rápidamente que los trabajos de extinción (Aguirre, 2001). Habría que relacionar los rendimientos operacionales (Ortega et al., 2023c) con la velocidad de propagación del sector de trabajo del incendio. Dada la inexactitud de la información acerca de la velocidad de propagación (información presentada en intervalos), se ha optado por el cálculo y empleo de la tasa de propagación horaria. Para tasas de crecimiento mayores a 20 ha/h el incendio se encuentra fuera de capacidad de contención (García, 2018), superando los rendimientos de cualquier operativo de extinción de incendios forestales. Con tasas de propagación inferiores a 20 ha/h se produce un aumento de la eficacia de las operaciones, dado que se consigue una reducción en la apertura de los flancos, por la contención del perímetro por los medios,

mediante una estrategia de pinza (Vélez, 2009). Por tanto, la tasa de propagación, de fácil extrapolación a otros territorios, se presenta como un buen indicador de la eficacia y eficiencia del dispositivo. Además, este indicador se presenta como un indicador de la capacidad de extinción y la necesidad de ataque indirecto y planes de contingencia (García, 2018).

La presencia de interfaz urbano-forestal es cada vez más común en los incendios de la Península Ibérica (Galiana, 2012). El concepto de interfaz urbano-forestal en incendios forestales lleva consigo un tratamiento específico por parte de los dispositivos de extinción, aumentando la complejidad en la extinción (Davis, 1990). En esta tipología de incendios se deben establecer objetivos prioritarios, enfocados a la protección de personas y bienes, conllevando una pérdida de iniciativa en el ataque del fuego, facilitando la propagación de este por el terreno forestal (Caballero, 2001; Galiana, 2012). Se han considerado únicamente los escenarios con presencia de interfaz urbano-forestal (lejana y cercana) ya que la presencia de esta modifica las operaciones al modificarse los objetivos de la emergencia (únicamente el 10% de los casos estudiados presentaban escenarios sin interfaz urbano-forestal). La presencia de edificaciones a una distancia menores de 1 km exige la disposición de forma rápida de una gran cantidad de medios, incrementado el FCS con respecto a edificaciones más lejanas. La presencia de edificaciones más lejanas no conlleva un despliegue de medios tan acusado. Sin embargo y, a pesar de la gran variabilidad de casos, la ET e IG disminuye por la gran cantidad de costes asumibles a una estrategia totalmente defensiva (Senra, 2017; Caballero et al., 2019).

7. CONCLUSIONES

- El cambio en el régimen de grandes incendios forestales de la Península Ibérica demanda de herramientas de evaluación de la eficacia y eficiencia de los dispositivos de extinción, con objeto de la priorización y optimización de recursos ante eventos simultáneos.
- El simulador Visual SEVEIF permite la evaluación objetiva de la actuación de los medios de extinción, no solo en relación con la superficie potencial a arder sino también en relación con los impactos evitados sobre los recursos naturales.
- La integración de conocimientos científico-técnicos en materia de incendios forestales y economía ha permitido la generación de índices objetivos, como el Factor de Contracción Superficial (FCS), la Eficiencia Técnica (ET) y el Índice de Gestión (IG), que pueden ser fácilmente extrapolables a cualquier territorio y planificación, para la evaluación de los programas, tanto a nivel preventivo como de extinción.
- Los costes de extinción medios en Andalucía Occidental ascendieron a 721,45 €/ha, pero con una gran variabilidad, comprendida entre 35,31 €/ha y 4.101,19 €/ha. El incremento significativo de los costes se asocia principalmente a los medios aéreos y el tiempo de control.
- Los costes de extinción medios horarios se estimaron en 7.307,3 €/h, con un incremento significativo en los modelos arbolados, con fuerte viento y con grandes tasas de propagación.
- El factor de contracción superficial medio, es decir la relación entre la superficie potencial a arder y la realmente quemada, tras el esfuerzo de los medios de extinción, fue de 0,67. Es decir, el dispositivo de extinción dispone de una eficacia “alta” en base a la relación de la superficie salvada con la superficie quemada.
- Los índices de eficiencia (eficiencia técnica e índice de gestión) señalaron un valor medio “moderado-alto”, si bien se vieron condicionados significativamente por la provincia, la franja horaria, el tiempo de respuesta, el modelo de combustible, el vector de propagación, la tipología de incendio, la tasa de propagación y la presencia de interfaz urbano-forestal.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre F. (2001). *“Manual de formación de incendios forestales para cuadrillas”*. 2ª Edición. Departamento de Medio Ambiente. Gobierno de Aragón. ISBN: 84-7753-865-4. Zaragoza, 341 pp.
- Alados C.L., Pueyo Y., Barrantes O., Escós J., Giner L., Robles A.B. (2004). *“Variations in landscape patterns and vegetation cover between 1957 and 1994 in a semiarid Mediterranean ecosystem”*. *Landscape Ecology* 19(5), 543-559
- Anderson H.E. (1982). *“Aids to determining fuel models for estimating fire behavior”*. USDA Forest Service Report INT-122. Disponible en: https://www.fs.usda.gov/rm/pubs_int/int_gtr122.pdf
- Araque-Jiménez, E. (2013). *“Medio siglo de grandes incendios forestales en Andalucía (1961-2011)”*. *Mediterrané* 121, 41-52.
- Benlloch E., De Simón E. (2017). *“Capitalización de la experiencia en los incendios de interfaz urbano-forestal”* 7º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Cáceres, 7CFE01-420. Disponible en: http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/18293/18032
- Caamaño J., Hernández H., Borderas F., Quílez R., Enríquez J.J., Espadas J.J., Aguado B. (2020). *“Operaciones Aéreas en Incendios Forestales”*. 1ª Edición. Fundación Pau Costa. Barcelona, 318 pp.
- Caballero, D., Dalmau F., Grillo F., Quinto F. (2013). *“Manual de operaciones contra incendios en la interfaz urbano forestal”*. Escuela Nacional de Protección Civil. Gobierno de España. Madrid, 176 pp. Disponible en: https://descargas.grancanaria.com/medio_ambiente/forestal/manual_operaciones_interfaz_urbano_forestal.pdf
- Carmona C., Rodríguez y Silva F. (2009). *“Capitalización de la experiencia en las operaciones de extinción de incendios forestales en la provincia de Málaga”*. Trabajo Profesional Fin de Carrera. Universidad de Córdoba.
- Davis J.B. (1990). *“The wildland-urban interface: paradise or battleground?”*. *Journal of Forestry* 6(88), 26-31.
- De la Cueva A. V., Martín J. R. (2008). *“Dinámica de paisajes forestales en relación a la incidencia del fuego en España peninsular: 1987-2000”*. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 17(2). 143-154
- De Torres M., Biscayart C., Ghermandi L., Pfister G. (2012). *“Wildland-urban interface fires and socioeconomic conditions: A case study of a Northwestern Patagonia city”*. *Environmental Management* 49, 876-891.

- Donovan G.H., Rideout D.B. (2003). “*An integer programming model to optimize resource allocation for wildfire containment*”. *Forest Science* 49(2), 331- 335.
- Ferrer G., Sánchez J. (2007). “*Sistema de Manejo de Emergencias por Incendios Forestales (SMEIF)*”. Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. 4th International Wildland Fire Conference. Sevilla. Disponible en: <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/documents/20151/589228/smeif.pdf/5c7521b0-90bc-6c2c-4d16-224d2797832c?t=1434960587000>.
- Finney M.A. (2006). “*An Overview of FlamMap Fire Modeling Capabilities*” In: Andrews P.L.; Butler, B. (Coord.). 2006. *Fuels Management-How to Measure Success: Conference Proceedings*. 28-30 March 2006; Portland, OR. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, p 213-220.
- Galiana L. (2012). “*Las interfaces urbano-forestales: Un nuevo territorio de riesgo en España*” *Asociación de Geógrafos Españoles* 58, 205-226.
- García A., (2002). “*Política forestal e incendios. Una aproximación desde distintas escalas. La incidencia territorial en Andalucía*”. Tesis Doctoral. Sevilla, Universidad de Sevilla.
- García J.P., (2018). “*Lecciones Aprendidas en el Gran Incendio Forestal de Yeste 2017 (Albacete) Una guía metodológica para la capitalización de la experiencia operativa*” Trabajo Final de Máster. Universitat de Lleida. Lleida, 121 pp.
- García F. (1977). “*The effects of fire on the vegetation of Doñana National Park, Spain*”. *Environmental Consequences of Fire and Fuel Management Mediterranean Ecosystems*. USDA Forest Service General Technical Report WO-3, p 318-325.
- González-Cabán A. (2000). “*Planificación y análisis para la defensa contra incendios forestales*”. En Vélez R. (Ed.), *La defensa contra Incendios Forestales. Fundamentos y Experiencias*. McGraw-Hill. Madrid, p 11.1-11.17.
- Gorte R., (2013). “*The rising cost of wildfire protection*” Bozeman, MT: Headwaters Economics. 15 pp. Disponible en: <http://i2.cdn.turner.com/cnn/2014/images/06/25/fire-costs-backgroundreport.pdf>
- Guijarro M., Hernando C., Díez C., Madrigal J. (2004) “*Modelización del comportamiento del fuego en los incendios forestales modelos empíricos de predicción de la velocidad de propagación desarrollados en túnel de viento*” *Actas de Modelización Forestal*. Cuaderno Sociedad Española de Ciencias Forestales 18, 269-274.
- Keane R.E. et al. (2008). “*Ecological effects of large fires on US landscapes: benefit or catastrophe?*” *International Journal of Wildland Fire* 17(6), 696-712

- Le Houérou H.N. (1973). *“Fire and vegetation in the Mediterranean Basin”*. Proceedings Annual Tall Timbers Fire Ecology Conference, 13, 237-277, Tall Timbers Research Station, Tallahassee, Florida. Disponible en: https://talltimbers.org/wp-content/uploads/2018/09/237-LeHouerou1973_op.pdf.
- Martínez E. (2000). *“Manual de Valoración de Montes y Aprovechamientos Forestales”*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 184 pp.
- Martinez E. (2010) *“Manual de extinción de grandes y peligrosos incendios forestales: Técnicas eficaces y seguras”* Ediciones Mundi-Prensa. ISBN: 978-84-8476-407-6. Madrid, 159 pp.
- Mendes I. (2010). *“A theoretical economic model for choosing efficient wildfire suppression strategies”*. Forest Policy and Economics 12(5), 323-329.
- Molina J.R. (2008). *“Integración de herramientas para la modelización preventiva y socioeconómica del paisaje forestal frente a los incendios en relación con el cambio climático”*. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Córdoba, España.
- Molina J.R., Rodríguez y Silva F., Herrera M.A., Zamora R. (2009). *“A Simulation Tool for Socio-economic Planning on Forest Fire Suppression Management”*. En: Gómez G, Álvarez K, (Eds.). Forest Fires: Detection, Suppression, and Prevention. Nova Science Publishers Inc, Hauppauge New York.
- Molina J.R, Herrera M., Zamora R., Rodríguez y Silva F., González-Cabán A. (2011). *“Economic losses to Iberian swine production from forest fires”*. Forest Policy and Economics 13, 614–621.
- Molina J.R., González-Cabán A., Rodríguez y Silva F. (2019). *“Potential Effects of Climate Change on Fire Behavior, Economic Susceptibility and Suppression Costs in Mediterranean Ecosystems: Córdoba Province, Spain”* Forests 10(8), 679.
- Molina J.R., Herrera M.A., Rodríguez y Silva F. (2019a). *“Wildfire-induced reduction in the carbon storage of Mediterranean ecosystems: an application to brush and forest fires impacts assessment”* Environmental Impact Assessment Review 76, 88-97.
- Molina J.R., Zamora R., Rodríguez y Silva F. (2019b). *“The role of flagship species in the economic valuation of fire impacts: an application to two mediterranean protected areas”* Science of the Total Environment 675, 520-530.
- Molina J.R., González-Cabán A., Rodríguez y Silva F. (2019c). *“Wildfires impact on the economic susceptibility of recreation activities: Application in a Mediterranean protected area”* Journal of Environmental Management 245, 454-463
- Morton D.C, Roessing M.E., Camp A.E., Tyrrell M.L. (2003) *“Assessing the Environmental, Social, and Economic Impacts of Wildfire”*. GISF Research Paper 001. Forest Health Initiative. Yale University. School of Forestry and

- Environmental Studies. Disponible en: [https://yff.yale.edu/sites/default/files/files/wildfire_report\(1\).pdf](https://yff.yale.edu/sites/default/files/files/wildfire_report(1).pdf).
- Ortega M., López A., Molina J.R. (2023a). “*Visual-SEVEIF: a tool for economic planning on wildfire decision-making*” 8th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), Split/Bol, Croatia, 2023, 1-7. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10193546>,
- Ortega M., Rodríguez y Silva F., Molina J.R. (2023b). “*Impacto socioeconómico de los incendios forestales sobre los recursos naturales*” En: Molina J.R. (Coord.). “*Diagnóstico del Riesgo y Recomendaciones para Convivir con los Incendios Forestales*” Laboratorio de Incendios Forestales. Universidad de Córdoba. ISBN: 978-84-09-47451-6
- Ortega M., Rodríguez y Silva F. Molina JR. (2023c). “*Fireline production rate of handcrews in wildfires of the Spanish Mediterranean región*”. International Journal of Wildland Fire. doi:10.1071/WF22087
- Pausas J.G. (1999). “*Response of plant functional types to changes in the fire regime in Mediterranean ecosystems: A simulation approach*”. Journal of Vegetation Science 10(5), 717–722
- Pausas J.G. (2004). “*Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin)*”. Climatic Change 63(3), 337-350.
- Pausas J.G., Fernández S. (2011). “*Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime*”. Climatic Change 110(1-2), 215–226.
- Pedernera P., Julio G. (1999). “*Improving the Economic Efficiency of Combatting Forest Fires in Chile: The KITRAL System*”. USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-173, 149-155.
- Pyne S.J., Andrews P.L, Laven, R.D. (1996) “*Introduction to wildland fire*” 2ª Edition. John Wiley & Sons Ltd.. Nueva York, 753 pp.
- Quílez R. (2020). “*Incendios Forestales. Análisis y Operaciones para su combate. Meteorología, tipos de incendio, motores y seguridad*”. 1ª Edición Fundación Pau Costa. Barcelona, 320 pp.
- Riera A., (2000). “*Mass tourism and the demand for protected natural areas: A travel cost approach*”. Journal of Environmental Economics and Management 39, 97-116.
- Rodríguez y Silva F. (2007). “*Coste y eficiencia en las operaciones de extinción de incendios forestales, fundamentos y herramientas para su estudio y análisis*”, 4th International Wildland Fire Conference. Sevilla. Disponible en: https://gfmco.online/doc/cd/INTRODUCTORIAS_ST/RodriguezySilva_ST7.pdf.

- Rodríguez y Silva F., Molina J.R., Herrera M., Zamora, R. (2007). “*Vulnerabilidad socioeconómica de los espacios forestales frente al impacto de los incendios, aproximación metodológica mediante sistemas de información geográficos (proyecto Firemap)*”. 4th International Wildland Fire Conference. Sevilla. Disponible en: <http://franciscorodriguezysilva.com/laboratorio/wp-content/uploads/2010/05/modelo-seveif-paper-wildfire-2007-sevilla.pdf>.
- Rodríguez y Silva F., Molina J.R., Herrera M.A., Zamora R. (2009). “*The impact of fire and the socioeconomic vulnerability of forest ecosystems: A methodological approach using remote sensing and geographical information systems*”. Genral Technical Report PSW-GTR-227. Pacific Southwest Research Station. Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 151 – 168.
- Rodríguez y Silva F., González-Cabán A. (2010). “*SINAMI*”: *a tool for the economic evaluation of forest fire management programs in Mediterranean ecosystems*. International Journal of Wildland Fire 19, 927-936.
- Rodríguez y Silva F., Molina J.R. (2010). “*Manual técnico para la modelización de la combustibilidad asociada a ecosistemas mediterráneos*”. 1ª Edición. Laboratorio de Incendios Forestales, Universidad de Córdoba. ISBN: 978 -84-693-2159-1. Disponible en: <https://labif.es/ebook/>.
- Rodríguez y Silva F., González-Cabán A. (2012). “*La Predicción de la Productividad en las Operaciones de Extinción de Incendios Forestales: Una Aproximación Metodológica Desde el Análisis de la Dificultad de Extinción y el Registro de la Experiencia*”. Memorias del Cuarto Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía de los Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales. Disponible en: https://www.fs.usda.gov/psw/publications/documents/psw_gtr245/es/psw_gtr245_057.pdf.
- Rodríguez y Silva F., Molina J.R., González-Caban A., Herrera M.A. (2012). “*Economic vulnerability of timber resources to forest fires*”. Journal of Environmental Management 100, 16-21.
- Rodríguez y Silva F. (2013). “*La predicción presupuestaria en la extinción de Incendios Forestales: Una aproximación metodológica desde el registro de la experiencia y el análisis de la eficiencia*”. Vitoria, 6CFE01-329. 6º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Disponible en: http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/14747/14590.
- Rodríguez y Silva F, Molina J.R., González-Cabán A. (2014). “*Methodology for determining operational priorities for prevention and suppression of wildland fires*”. International Journal of Wildland Fire 23, 544–554.
- Rodríguez y Silva F., González-Cabán A. (2016). “*Contribution of suppression difficulty and lessons learned in forecasting fire suppression operations productivity: A methodological approach*” Journal of Forest Economics 25, 149-159.

- Rodríguez y Silva, F. (2017). “*Aproximación metodológica para modelización econométrica de la productividad en la extinción de incendios forestales*”. 7º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Cáceres, 7CFE01-386. Disponible en: https://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/19231/18948
- Rodríguez y Silva F., Guijarro M., Madrigal J., Jiménez E., Molina J.R., Hernando C., Vélez R., Vega J.A. (2017). “*Assessment of crown fire initiation and spread models in Mediterranean conifer forests by using data from field and laboratory experiments*”. *Forest Systems*, 26(2). DOI: <https://doi.org/10.5424/fs/2017262-10652>.
- Rodríguez y Silva F., O'Connor C., Thompson M., Molina J.R., Calkin D. (2020). “*Modelling suppression difficulty: current and future applications*”. *International Journal of Wildland Fire* 29(8), 739-751.
- Romero R., Perry G.L. (2004). “*The role of land abandonment in landscape dynamics in the SPA ‘Encinares del río Alberche y Cofio, Central Spain, 1984– 1999’*”. *Landscape and Urban Planning* 66(4), 217-232
- Rothermel R.C. (1972). “*A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*”. Research Paper INT-RP-115. USDA Forest Service Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden, 40 pp.
- Rothermel, R.C. (1983). “*How to predict the spread and intensity of forest and range fires*”. General Technical Report INT-143, USDA Forest Service Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden, 161 pp.
- Rothermel, R.C. (1991). *Predicting Behaviour and Size of Crown Fires in the Northern Rocky Mountains*. Res. Pap. INT-RP-438. USDA Forest Service Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden, 46 pp.
- Ruiz A.D. (2009). “*Introducción al comportamiento del fuego*”. Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural. Universidade de Santiago de Compostela. Recursos Rurais 5, 15-19.
- Scott J.H. (1999). “*NEXUS: A system for assessing crown fire hazard*” *Fire Management Notes* 59(2), 20-24.
- Scott J.H., Reinhardt E.D. (2001). “*Assesing crown fire potencial by linking models of surface and crown fire behavior.*” Research Paper RMRS-RP-29. Rocky Mountain Research Station. USDA Forest Service. Fort Collins, 59 pp.
- Senra F., Ruiz C., Castelló F.J., Venegas J., Martínez J. (2017). “*Análisis del riesgo por incendio forestal en Andalucía. El escenario paisaje, una necesidad*”. 7º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Plasencia, 7CFE01-368. Disponible en: <http://7cfe.congresoforestal.es/sites/default/files/actas/7CFE01-368.pdf>.

- Soares R.V, Batista A.C, Tetto, A.F. (2015) *“Meteorologia e climatologia florestal”*. Curitiba, 215 pp.
- Soares R.V., Batista A.C. (2007). *“Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo”*. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 250 pp.
- Tedim, F., et al., (2018). *“Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts”*. Fire 1(1), 9.
- Thompson A.C. (1996). *“The valuation of natural resources: a comment”* Journal of Business Finance & Accounting 23(8), 1213–1216
- Thompson M.P., Rodríguez y Silva F., Calkin D.E., Hand M.S. (2017). *“A review of challenges to determining and demonstrating efficiency of large fire management”*. International Journal of Wildland Fire 26(7), 562.
- Thompson M.P., Scott J., Kaiden J.D., Gilbertson-Day J.W. (2013). *“A polygon-based modeling approach to assess exposure of resources and assets to wildfire”*. Natural Hazards 67(2), 627–644
- Thompson M.P., O’Connor, C.D., Gannon B.M. et al. (2022). *“Potential operational delineations: new horizons for proactive, risk-informed strategic land and fire management”* Fire Ecology 18, 17. Disponible en: <https://fireecology.springeropen.com/articles/10.1186/s42408-022-00139-2>.
- Trabaud L. (1992). *“Les feux de forêts”* Edition France-Selection. Aubervilliers
- Úbeda X., Mataix-Solera J., Francos M., Farguell J. (2021). *“Grandes incendios forestales en España y alteraciones de su régimen en las últimas décadas”*. Geografía, Riscos e Proteção Civil. Homenagem ao Professor doutor Luciano Lourenço, 2. DOI: 10.34037/978-989-9053-06-9_1.2_11
- Van Wagner C.E. (1977). *“Conditions for the start and spread of crown fire”*. Canadian Journal of Forest Research 7, 23–34.
- Viedma, M. (1998). *“Análisis de las direcciones de los vientos en Andalucía”*. NIMBUS, 1, 153-168
- Viegas D.X., Varela V.G.M, Borges C.P (1994). *“On the evolution of a linear fire front in a slope”*. 2nd International Conference Forest Fire Research. Coimbra, 301-318.
- Zamora R., Molina J.R., Herrera M.A., Rodriguez and Silva F. (2010) *“A model for wildfire prevention planning in game resources”* Ecological Modelling 221, 19-26.
- Zárate L.G. (2004). *“Estudio de las características físicas y geométricas de la llama en los incendios forestales”*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Departament d'Enginyeria Química. Barcelona. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93747>.

RECURSOS ELECTRÓNICOS:

Instituto Geográfico Nacional (IGN). <https://www.ign.es/web/ign/portal>.

Última consulta: mayo 2023

Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SiAR).
<https://servicio.mapa.gob.es/websiar/SeleccionParametrosMap.aspx?dst=1>

Última consulta: mayo 2023

9. ANEXOS

ANEXO I: Descripción de modelos de combustible según sistema Behave

Grupo	Modelo	Descripción
PASTOS	1	Pasto fino, seco y bajo, que recubre completamente el suelo. Pueden aparecer algunas plantas leñosas dispersas ocupando menos de un tercio de la superficie. Propagaciones rápidas. Cantidad de combustible (materia seca): 1-2 T/ha.
	2	Pasto fino, seco y bajo, que recubre completamente el suelo. Las plantas leñosas dispersas cubre de uno a dos tercios de la superficie pero la propagación del fuego se realiza por el pasto. Propagaciones rápidas. Cantidad de combustible (materia seca): 5-10 T/ha.
	3	Pasto fino, seco y bajo, que recubre completamente el suelo. Las plantas leñosas dispersas cubre de uno a dos tercios de la superficie pero la propagación del fuego se realiza por el pasto. Altura media del pasto: 1 m. Cantidad de combustible (materia seca): 5-10 T/ha.
MATORRAL	4	Matorral o plantación joven muy densa y continua; de más de 2 m de altura; con ramas muertas en su interior. Propagación del fuego por las copas de las plantas. Fuegos muy intensos. Se produce consumo del follaje y el material leñoso fino vivo y muerto. Este material leñoso contribuye a la intensidad del incendio. Cantidad de combustible (materia seca): 25-35 T/ha.
	5	Matorral denso y verde, de menos de 1 m de altura. Propagación del fuego por la hojarasca y el pasto. Escasa cantidad de material muerto. Fuegos menos intensos. Cantidad de combustible (materia seca): 5-8 T/ha.
	6	Parecido al modelo 5, pero con especies más inflamables o con restos de corta y plantas de mayor talla. Propagación del fuego con vientos moderados a fuertes. Cantidad de combustible (materia seca): 10-15 T/ha.
	7	Matorral de especies muy inflamables; de 0,5 a 2m de altura, situado como sotobosque en masas de coníferas (pinares). Cantidad de combustible (materia seca): 10-15 T/ha.

HOJARASCA BAJO ABOLADO	8	Bosque denso de coníferas o frondosas, sin matorral. Propagación del fuego por la hojarasca muy compacta. Fuegos superficiales con alturas de llama pequeñas. Cantidad de combustible (materia seca): 10-12 T/ha
	9	Parecido al modelo 8, pero con hojarasca menos compacta formada por acículas largas y rígidas o follaje de frondosas de hojas grandes. Son ejemplos el monte de pino pinaster, de castaños o de roble melojo. Propagaciones más rápidas que en modelo 8. Cantidad de combustible (materia seca): 7-9 T/ha.
	10	Bosque con gran cantidad de leña y árboles caídos, como consecuencia de vendavales, plagas intensas, etc. Mayor intensidad que en modelos 8 y 9. Posibilidad de coronamientos de fuego. Cantidad de combustible (materia seca): 30-35 T/ha.
RESTOS SELVÍCOLAS	11	Bosque claro o fuertemente aclarado. Restos de poda o aclarado. Restos de poda o clareo dispersos, con plantas herbáceas rebrotando. Baja presencia de combustibles de >75 mm. Cantidad de combustible (materia seca): 25-30 T/ha.
	12	Predominio de los restos sobre el arbolado. Restos de poda o aclareo cubriendo todo el suelo. Presencia de combustibles de >75 mm. Cantidad de combustible (materia seca): 50-80 T/ha.
	13	Grandes acumulaciones de restos gruesos y pesados, cubriendo todo el suelo. Alta presencia de combustibles de >75 mm. Cantidad de combustible (materia seca): 100-150 T/ha.

Fuente: Rodriguez y Silva F. (2020). *“El comportamiento del fuego en los incendios forestales. Los combustibles forestales”*. Apuntes de la asignatura “Fundamentos y defensa contra Incendios Forestales”. Grado de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. Córdoba, 30 pp.

ANEXO II:**Tabla resumen 1: superficies y tiempos de control**

Provincia	Municipio	Superficie real (ha)	Superficie simulada (ha)	Tiempo control (h)
CÁDIZ	Tarifa	162,67	31012,22	63,00
	La Línea de la Concepción	467,78	751,46	43,00
	San Roque	134,5	248,17	17,50
	San Roque	134,95	3023,72	67,00
	San Roque	184,43	824,62	36,25
	Algeciras	166,88	2152,90	47,70
	La Línea de la Concepción	127,85	1434,34	29,25
	San Roque	137,64	449,32	41,25
	San Roque	111	339,51	31,50
	San Roque	314,47	1575,83	33,25
SEVILLA	Almadén de la Plata	1165,47	6192,84	49,00
	Guadalcanal	250	3035,22	40,50
	Alanís	228	679,01	23,25
	Guadalcanal	193,22	3716,69	25,00
	El Castillo de las Guardas	1845,02	21442,42	55,25
	El Garrobo	369,19	2443,77	30,70
	Cantillana	136,74	211,23	6,50
	El Castillo de las Guardas	162,49	1478,01	21,75
CORDOBA	Pozoblanco	139,75	263,18	3,25
	Peñarroya-Pueblonuevo	257,52	464,63	4,50
	Belalcázar	232,88	504,88	6,50
	Villaviciosa de Córdoba	145	3067,31	23,00
HUELVA	Cortegana	114,78	188,44	13,70
	Beas	1566,15	2160,18	30,00
	Almonaster La Real	317,8	1218,04	38,25
	Nerva	1749,68	9116,43	68,25
	La Granada de Rio-Tinto	4167,59	7499,25	46,25
	Santa Olalla de Cala	374,07	797,71	29,50
	Minas de Riotinto	824,1	1929,16	53,25
	Moguer	8501,28	10575,56	60,75
	Ayamonte	171	214,29	16,00
	Nerva	130,41	346,27	21,75
	Beas	181,42	1470,08	23,75
	Cartaya	109,57	179,29	24,00
	Almonaster La Real	357,91	1228,25	31,00
	Almonte	427,84	2410,75	28,00
	Moguer	155	763,75	22,00
	Beas	189,47	575,74	27,75
Nerva	138	906,29	29,25	

Tabla resumen 2: costes de extinción

Provincia	Municipio	Costes totales (€)	Costes por superficie (€/ha)	Costes horarios (€/h)
CÁDIZ	Tarifa	5743,20	35,31	91,16
	La Línea de la Concepción	46996,78	100,47	1092,95
	San Roque	117688,44	875,01	6725,05
	San Roque	193050,31	1430,53	2881,35
	San Roque	185189,75	1004,12	5108,68
	Algeciras	684406,32	4101,19	14348,14
	La Línea de la Concepción	169818,84	1328,27	5805,77
	San Roque	141088,89	1025,06	3420,34
	San Roque	77442,40	697,68	2458,49
	San Roque	270959,87	861,64	8149,17
SEVILLA	Almadén de la Plata	243133,03	208,61	4961,90
	Guadalcanal	36044,70	144,18	889,99
	Alanís	89731,79	393,56	3859,43
	Guadalcanal	43495,40	225,11	1739,82
	El Castillo de las Guardas	784021,39	424,94	14190,43
	El Garrobo	204630,12	554,27	6665,48
	Cantillana	46607,19	340,85	7170,34
	El Castillo de las Guardas	111053,44	683,45	5105,91
CORDOBA	Pozoblanco	24236,86	173,43	7457,50
	Peñarroya-Pueblonuevo	102856,55	399,41	22857,01
	Belalcázar	30876,41	132,59	4750,22
	Villaviciosa de Córdoba	243353,12	1678,30	10580,57
HUELVA	Cortegana	65626,40	571,76	4790,25
	Beas	231008,47	147,50	7700,28
	Almonaster La Real	57695,61	181,55	1508,38
	Nerva	519950,97	297,17	7618,33
	La Granada de Río-Tinto	584771,93	140,31	12643,72
	Santa Olalla de Cala	211413,15	565,17	7166,55
	Minas de Riotinto	605420,98	734,65	11369,41
	Moguer	1587603,39	186,75	26133,39
	Ayamonte	129338,94	756,37	8083,68
	Nerva	204893,36	1571,15	9420,38
	Beas	111087,69	612,32	4677,38
	Cartaya	183393,93	1673,76	7641,41
	Almonaster La Real	606944,77	1695,80	19578,86
	Almonte	142528,50	333,14	5090,30
	Moguer	119755,20	772,61	5443,42
	Beas	60563,71	319,65	2182,48
Nerva	104746,21	759,03	3581,07	

ANEXO III:
Tabla resumen 3: tiempos de respuesta, franja horaria y combustibles forestales

Provincia	Municipio	Tiempos de respuesta (min)	Franja horaria	Modelo inicial	Modelo representativo
CÁDIZ	Tarifa	20	Noche	7	7
	La Línea de la Concepción	28	Día	4	4
	San Roque	20	Día	7	7
	San Roque	30	Noche	6	7
	San Roque	12	Noche	7	5
	Algeciras	13	Noche	6	6
	La Línea de la Concepción	30	Día	5	4
	San Roque	14	Día	7	4
	San Roque	33	Día	4	4
	San Roque	45	Noche	6	6
SEVILLA	Almadén de la Plata	24	Día	5	4
	Guadalcanal	24	Noche	4	4
	Alanís	53	Día	7	4
	Guadalcanal	25	Día	6	6
	El Castillo de las Guardas	25	Día	6	7
	El Garrobo	26	Día	7	7
	Cantillana	18	Día	2	2
	El Castillo de las Guardas	16	Día	7	4
CORDOBA	Pozoblanco	35	Día	2	2
	Peñarroya-Pueblonuevo	07	Día	4	2
	Belalcázar	40	Día	2	2
	Villaviciosa de Córdoba	17	Día	2	7
HUELVA	Cortegana	42	Día	2	2
	Beas	21	Día	5	4
	Almonaster La Real	30	Día	7	7
	Nerva	24	Día	7	7
	La Granada de Río-Tinto	25	Día	7	7
	Santa Olalla de Cala	18	Día	7	7
	Minas de Riotinto	12	Día	7	7
	Moguer	14	Noche	7	7
	Ayamonte	29	Día	5	7
	Nerva	13	Día	7	7
	Beas	24	Día	10	10
	Cartaya	27	Día	7	7
	Almonaster La Real	19	Día	7	7
	Almonte	Dato incoherente	Día	2	2
	Moguer	Dato incoherente	Noche	7	7
Beas	18	Día	4	4	
Nerva	17	Día	6	4	

Tabla resumen 4: tipología fuego, patrón propagación, tasa propagación e interfaz

Provincia	Municipio	Tipología fuego	Patrón propagación	Tasa prop. (ha/h)	Presencia interfaz
CÁDIZ	Tarifa	Copas	Viento	2,58	Cercana
	La Línea de la Concepción	Superficie	Viento	10,88	Cercana
	San Roque	Copas	Viento	7,69	Cercana
	San Roque	Copas	Viento	2,01	Lejana
	San Roque	Superficie	Viento	5,09	Cercana
	Algeciras	Superficie	Viento	3,50	Cercana
	La Línea de la Concepción	Superficie	Viento	4,37	Cercana
	San Roque	Copas	Viento	3,34	Cercana
	San Roque	Superficie	Viento	3,52	Cercana
	San Roque	Superficie	Viento	9,46	Cercana
SEVILLA	Almadén de la Plata	Superficie	Viento	23,79	Lejana
	Guadalcanal	Superficie	Viento	6,17	Lejana
	Alanís	Copas	Topografía	9,81	Lejana
	Guadalcanal	Superficie	Topografía	7,73	Cercana
	El Castillo de las Guardas	Copas	Topografía	33,39	Cercana
	El Garrobo	Superficie	Topografía	12,03	Cercana
	Cantillana	Superficie	Viento	21,04	Sin presencia
	El Castillo de las Guardas	Copas	Viento	7,47	Lejana
CORDOBA	Pozoblanco	Superficie	Viento	43,00	Cercana
	Peñarroya-Pueblonuevo	Superficie	Viento	57,23	Cercana
	Belalcázar	Superficie	Viento	35,83	Sin presencia
	Villaviciosa de Córdoba	Copas	Viento	6,30	Lejana
HUELVA	Cortegana	Superficie	Viento	8,38	Lejana
	Beas	Superficie	Viento	52,21	Cercana
	Almonaster La Real	Copas	Viento	8,31	Lejana
	Nerva	Copas	Viento	25,64	Lejana
	La Granada de Río-Tinto	Copas	Viento	90,11	Cercana
	Santa Olalla de Cala	Copas	Viento	12,68	Sin presencia
	Minas de Riotinto	Copas	Viento	15,48	Cercana
	Moguer	Copas	Viento	139,94	Cercana
	Ayamonte	Copas	Viento	10,69	Cercana
	Nerva	Copas	Viento	6,00	Cercana
	Beas	Copas	Viento	7,64	Cercana
	Cartaya	Copas	Viento	4,57	Cercana
	Almonaster La Real	Copas	Topografía	11,55	Cercana
	Almonte	Superficie	Viento	15,28	Cercana
	Moguer	Copas	Viento	7,05	Sin presencia
	Beas	Superficie	Viento	6,83	Cercana
Nerva	Superficie	Topografía	4,72	Lejana	

Tabla resumen 5: evaluación económica

Provincia	Municipio	Vr* (€)	Vp* (€)	Vsa* (€)
CÁDIZ	Tarifa	209895,48	32172556,8	31962661,32
	La Línea de la Concepción	272547,28	417546,6	144999,32
	San Roque	136175,35	824269,04	688093,69
	San Roque	29309,5	1154401,52	1125092,02
	San Roque	23271,89	301102,72	277830,83
	Algeciras	86965,25	1044388,72	957423,47
	La Línea de la Concepción	22968,9	217685,44	194716,54
	San Roque	41412	246084,6	204672,60
	San Roque	27903,639	164487,68	136584,04
	San Roque	30611,22	188178,7	157567,48
SEVILLA	Almadén de la Plata	1741580	6151127,68	4409547,68
	Guadalcanal	66280,8	1530270,88	1463990,08
	Alanís	102301,26	368420,28	266119,02
	Guadalcanal	27194,65	627111	599916,35
	El Castillo de las Guardas	766158,72	7864695,68	7098536,96
	El Garrobo	1156683,07	6406976	5250292,93
	Cantillana	82182,77	117545,44	35362,67
	El Castillo de las Guardas	39641,87	806569,28	766927,41
CORDOBA	Pozoblanco	75390,2	133936,25	58546,05
	Peñarroya-Pueblonuevo	106235,78	120317,14	14081,36
	Belalcázar	145155,63	308486,08	163330,45
	Villaviciosa de Córdoba	103510,5	1296476	1192965,50
HUELVA	Cortegana	73299,42	139869,17	66569,75
	Beas	809637,93	1082484,8	272846,87
	Almonaster La Real	511496,96	1678726,56	1167229,60
	Nerva	3431034,11	15422597,12	11991563,01
	La Granada de Río-Tinto	17549700,8	38943400,96	21393700,16
	Santa Olalla de Cala	724874,24	1105085,36	380211,12
	Minas de Riotinto	1388172,73	3562113,6	2173940,87
	Moguer	41075699,71	44526740,48	3451040,77
	Ayamonte	92174,48	166594,86	74420,38
	Nerva	370569,58	1012881,84	642312,26
	Beas	21321,77	431118,04	409796,27
	Cartaya	491921,32	846531,92	354610,60
	Almonaster La Real	1138382,89	3008454,72	1870071,84
	Almonte	313278,6	1577527,52	1264248,92
	Moguer	200521,41	1519894,56	1319373,15
	Beas	281139,03	665265,6	384126,57
Nerva	64513,25	193505,84	128992,59	

*Vp = valor de los recursos afectados en propagación libre; Vr = valor de los recursos afectados en perímetro real; Vsa = valor salvado (todos ellos referidos en €)

Tabla resumen 6: índices de eficiencia y eficacia

Provincia	Municipio	FCS	ET	IG
CÁDIZ	Tarifa	0,99	1,00	2,82
	La Línea de la Concepción	0,38	0,68	0,38
	San Roque	0,46	0,83	0,05
	San Roque	0,96	0,83	0,07
	San Roque	0,78	0,33	0,08
	Algeciras	0,92	0,29	0,02
	La Línea de la Concepción	0,91	0,13	0,07
	San Roque	0,69	0,31	0,07
	San Roque	0,67	0,43	0,10
SEVILLA	Almadén de la Plata	0,81	0,94	0,39
	Guadalcanal	0,92	0,98	0,64
	Alanís	0,66	0,66	0,17
	Guadalcanal	0,95	0,93	0,42
	El Castillo de las Guardas	0,91	0,89	0,22
	El Garrobo	0,85	0,96	0,15
	Cantillana	0,35	0,00*	0,10
	El Castillo de las Guardas	0,89	0,86	0,13
CORDOBA	Pozoblanco	0,47	0,59	0,27
	Peñarroya-Pueblonuevo	0,45	0,00*	0,11
	Belalcázar	0,54	0,81	0,41
	Villaviciosa de Córdoba	0,95	0,80	0,06
HUELVA	Cortegana	0,39	0,01	0,07
	Beas	0,27	0,15	0,19
	Almonaster La Real	0,74	0,95	0,41
	Nerva	0,81	0,96	0,27
	La Granada de Río-Tinto	0,44	0,97	0,32
	Santa Olalla de Cala	0,53	0,44	0,09
	Minas de Riotinto	0,57	0,72	0,08
	Moguer	0,20	0,54	0,11
	Ayamonte	0,20	0,00*	0,03
	Nerva	0,62	0,68	0,04
	Beas	0,88	0,73	0,14
	Cartaya	0,39	0,48	0,02
	Almonaster La Real	0,71	0,68	0,04
	Almonte	0,82	0,89	0,25
	Moguer	0,80	0,91	0,10
Beas	0,67	0,84	0,21	
Nerva	0,85	0,19	0,11	

*Se han considerado en ET los valores 0,00 dada la existencia de valores negativos tras los cálculos con los resultados obtenidos. Los valores de dicho índice deben oscilar entre 0 y 1.

