

# Índice de respuesta operativa de los bomberos de la comunidad de madrid ante los incendios forestales

Susana Martín Fernández<sup>1</sup>, Eugenio Martínez Falero<sup>1</sup>, Antonio García Abril<sup>1</sup>, José Ramón Peribáñez<sup>2</sup>

## Resumen

La Comunidad de Madrid, por sus características de desarrollo económico, industrial y de concentración de la población, presenta una fuerte demanda de actuaciones de los Bomberos. Sólo en un año el número de actuaciones fue de 59400 para los 18 parques de la Comunidad. Estas actuaciones cubren un amplio rango de tipos de siniestros: desde el incendio forestal hasta el accidente de tráfico, o situaciones de peligro en los hogares.

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de un Índice de Operatividad de sus actuaciones para el caso concreto de los incendios forestales. Este objetivo integra un índice referido al tiempo de llegada de las dotaciones a los incendio con otro índice que resume el riesgo de ocurrencia de incendios en cada punto del territorio a partir de datos históricos. El índice obtenido es un screening de la operatividad de los bomberos, pero aporta suficiente información para su aplicación en la toma de decisiones.

## Introducción

Muchos son los factores que influyen en la eficacia de la gestión de la lucha contra incendios forestales desde el número de personas y capacidad de los equipos que participan hasta las características del incendio, protocolos de combate, calidad de las comunicaciones, etc. Quarantelle (1997) realizó un estudio sobre los resultados empírico de investigaciones realizadas por científicos de las ciencias sociales en los último cuarenta años sobre la gestión de desastres, (se pueden consultar en Kreps 1984, 1989; Drabek 1986; Dynes, DeMarchi and Pelanda 1987; Auf der Heide 1989; Quarantelli and Pelanda 1989; Lagadec 1990; Drabek and Hoetmer 1991; Clarke and Short 1993; Quarantelli and Popov 1993; Cutter 1994; Dynes and Tierney 1994; Porfiriev and Quarantelli 1996).

Los criterios más adecuados para esta evaluación eran 10: (1) adecuado reconocimiento de las diferencias entre respuesta y demanda generadas por el ciudadano; (2) ejecución adecuada de las funciones genéricas; (3) movilización efectiva de personal y recursos; (4) delegación apropiada de tareas y división del trabajo; (5) adecuado procesado de la información; (6) toma de decisiones correcta;

<sup>1</sup>Departamento de Economía y Gestión Forestal. UPM. [susana.martin@upm.es](mailto:susana.martin@upm.es)

<sup>2</sup>Cuerpo de Bomberos de la Comunidad de Madrid

(7) desarrollo de un coordinación global; (8) capacidad para armonizar los comportamientos organizativos establecidos con los propios de la emergencia; (9) hacer llegar la información adecuada a los medios de comunicación; y (10) tener un centro de operaciones para emergencias eficaz. La valoración de la actuación de estos servicios de protección civil supone la integración de muchos factores dentro de cada objetivo de los antes enumerados. Esta integración no es única sino que va a depender de las preferencias del gestor. Por ello en el proceso de evaluación se debe de incorporar estas preferencias. En la Comunidad de Madrid, por sus características de desarrollo económico, industrial y de concentración de la población, presenta una fuerte demanda de actuaciones de los Bomberos. Sólo en un año el número de actuaciones fue de 59400 para los 18 parques de la Comunidad. Estas actuaciones cubren un amplio rango de tipos de siniestros: desde el incendio forestal hasta el accidente de tráfico, o situaciones de peligro en los hogares. Este trabajo se evalúa sólo la eficacia del combate de los incendios en la Comunidad. Para ello, se propone un indicador territorial que integra un índice relativo al tiempo de llegada de los retenes frente a la demanda de actuaciones que se produce en la Comunidad de Madrid. Los subobjetivos son los siguientes: 1.- Determinación por parte del experto de los índices de peligrosidad de los factores que intervienen en los incendios forestales. Integración de la información en un mapa de demanda de actuación. 2.- Cálculo de los mapas de tiempos de llegada de los recursos desde sus bases actuales y posibles bases futuras a todos los puntos del territorio de la Comunidad. 3.- Integración de todos los índices parciales considerando las preferencias del decisor, mediante una aplicación sobre ArcGIS, que generará un índice territorial de operatividad, con la localización actual y otras localizaciones de las bases de retenes actuales

## Metodología

Para diseñar el indicador se analizaron los protocolos de funcionamiento del Cuerpo de Bomberos para cada tipo de siniestro y la distribución territorial de los equipos. Que se basaban en los siguientes puntos (información oral del Cuerpo de Bomberos, 2007): Existen 18 bases de retenes en la CM, con diferente estructura y equipamiento. Las bases se encuentran en las cabezas de los municipios, cada siniestro-tipo viene caracterizado por su peligrosidad y el equipo que debe acudir. Cada parque de bomberos tiene un área de influencia no asignada de forma oficial, el número medio de dotaciones que acude a cada siniestro varía de 1 a 3, esto cambia en el caso de los incendios forestales.

La información que aporta el indicador se obtiene por integración de dos índices:

- Tiempo mínimo de llegada de los retenes desde sus bases a cada punto del territorio.
- Índice de riesgo de incendios forestales.

### ***Cálculo del tiempo de llegada de los retenes***

El algoritmo de cálculo de del tiempo de llegada de los retenes a todos los puntos del territorio requiere de de la siguiente información:

- Mapa raster de la Comunidad de Madrid de la velocidad de avance de un vehículo. Tamaño del píxel 25 m. Este mapa fue suministrado por el Cuerpo de Bomberos de la CM.
- Cálculo de la localización de los parques de bomberos. Al estar localizados los parque en las cabezas de los municipios, y no poseer las coordenadas UTM, se ha identificado el píxel correspondiente al centro de gravedad de cada cabeza de municipio como localización de los parques.

El algoritmo de cálculo de los tiempos de llegada es un algoritmo de expansión (Martín-Fernández, 2000, Martínez-Falero, 1998) en el que a partir del píxel de partida se calcula el tiempo mínimo de llegada a los vecinos. De forma iterativa se van incorporando nuevos vecinos hasta cubrir todo el territorio.

El cálculo se realizó para todos los municipios de la Comunidad de Madrid, con el fin de poder realizar simulaciones de cálculo del indicador con diferentes localizaciones de los parques.

Una vez obtenidos todos los mapas se ordenaron los tiempos de llegada para cada píxel del territorio y el parque del que procede la dotación. Estos tiempos de llegada se reclasificaron en intervalos. Para ello se propusieron al Cuerpo de Bomberos diferentes modos de cálculo de los mismos, siendo la más común en función de  $2^n$  (Lootsma, 1999; Saaty, 2006), decidiéndose al final que fueran 5 intervalos de igual longitud, como se pueden ver en la Tabla 1.

**Tabla 1**—Valor del índice de llegada de las dotaciones.

Valor del Índice	Intervalos de tiempos de llegada (minutos)
1	0-20
2	21-40
3	41-60
4	61-90
5	>90

### **Índice de riesgo de cálculo del tiempo de llegada de los retenes**

Este índice de riesgo tiene que ser entendido como el riesgo debido a la distribución territorial de los incendios ocurridos en años anteriores. Su cálculo se basó en el índice propuesto por Vélez (2000).

Este índice integra tres factores: el primero debido al riesgo asociado al tipo de combustible, el segundo debido al tamaño del incendio y el último factor asociado a la causa que lo provoca.

$$I_i = W_1 P_{C_j} C_{ij} + W_2 I_{ik} + W_3 M_i \quad (1)$$

Donde:

$W_i$ , representa el factor de ponderación que le asigna cada usuario y varía [0,1].

$P_{C_i}$ , es el coeficiente de peligrosidad del tipo de combustible que se encuentra en el píxel  $i$ , Vélez (2000).

$C_{ij}$ , es la probabilidad de que ocurra un incendio en el tipo de combustible  $j$  correspondiente al del píxel  $i$ .

$I_{ik}$  es la superficie media anual quemada en la cuadrícula  $k$  de  $100 \text{ km}^2$  donde se encuentra el píxel  $i$ , respecto al total de la superficie de la cuadrícula. Este índice debería ser la superficie media de los incendios en los que se ha quemado el píxel  $i$ , pero al estar los incendios asignados a las cuadrículas de  $100 \text{ km}^2$  del ejército y faltar esta información en la base de datos de los partes de incendios, se ha realizado la anterior simplificación.

$$M_i = \sum_{k=1}^n \frac{N_{ik}}{N} P_k \quad (2)$$

Donde:

n, es el número total de causas de incendios forestales, Vélez (2000).

$N_{ik}$ , es el numero de incendios en la cuadrícula del píxel i debidos a la causa k.

$P_k$ , es la peligrosidad de la causa k.

N, número total de incendios en la cuadrícula del píxel i.

El valor del índice se lleva a una escala de 1 a 5 como el tiempo de llegada, siendo el valor mínimo el que representa la mejor situación.

### **Cálculo del Indicador de respuesta de las dotaciones**

Una vez obtenidos los tiempos de llegada de las dotaciones a los pixels del territorio y el del riesgo de un incendio con relación a la información histórica de los incendios en la zona de estudio, se genera el mapa del Indicador. Cuyos valores aparecen en la tabla siguiente:

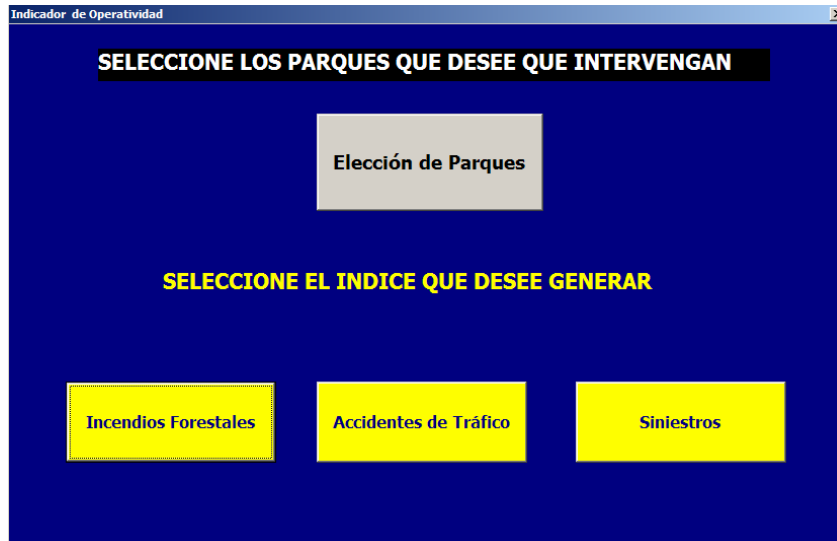
**Tabla 2**—Valor del indicador de respuesta de los bomberos en caso de incendios forestales.

Valor del Indicador	$T_i * I_i$
1	1-5
2	6-10
3	11-15
4	16-20
5	21-25

Siendo más favorable la situación cuanto más bajo sea su valor.

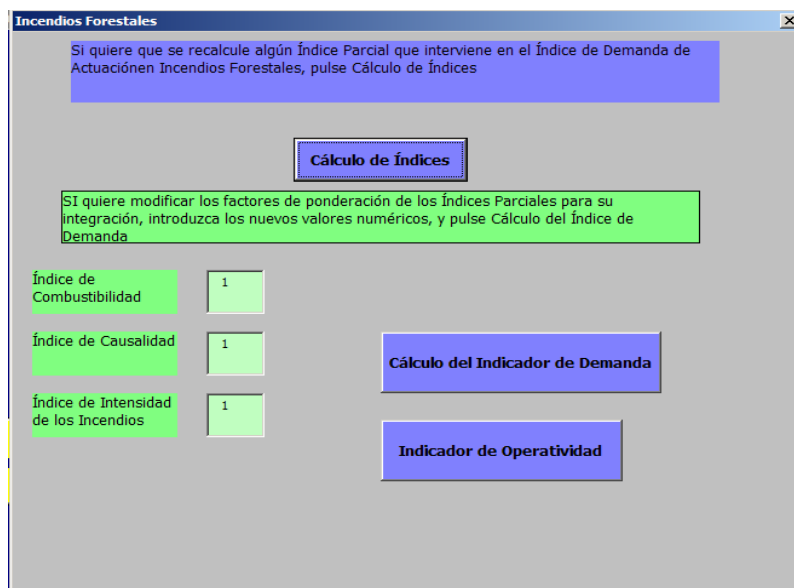
## Resultados

Como primer resultado se realizó una aplicación sobre ArcGis que permitió el cálculo del indicador para los parques seleccionados por el usuario. En la figura 1 se puede ver la pantalla de entrada a la aplicación:



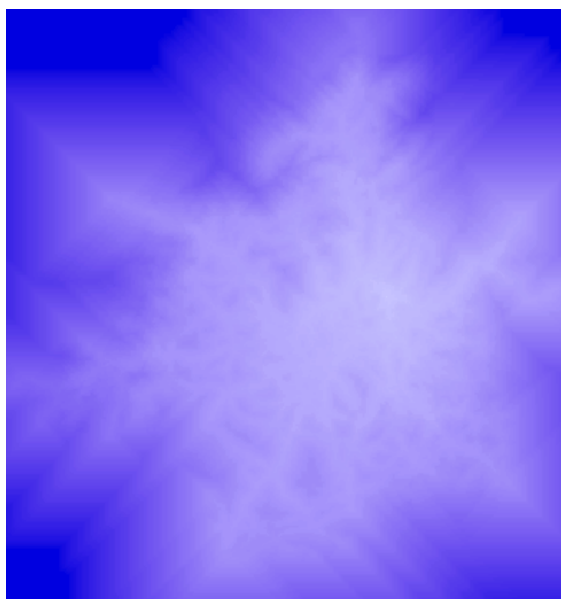
**Figura 1**—Pantalla de entrada a la aplicación “IRO”

Al seleccionar el usuario “Incendios Forestales” aparece la pantalla mostrada en la figura 2. A partir de aquí se pueden calcular los mapas de los factores considerados en el índice de riesgo, o bien directamente se puede calcular el indicador de operatividad.



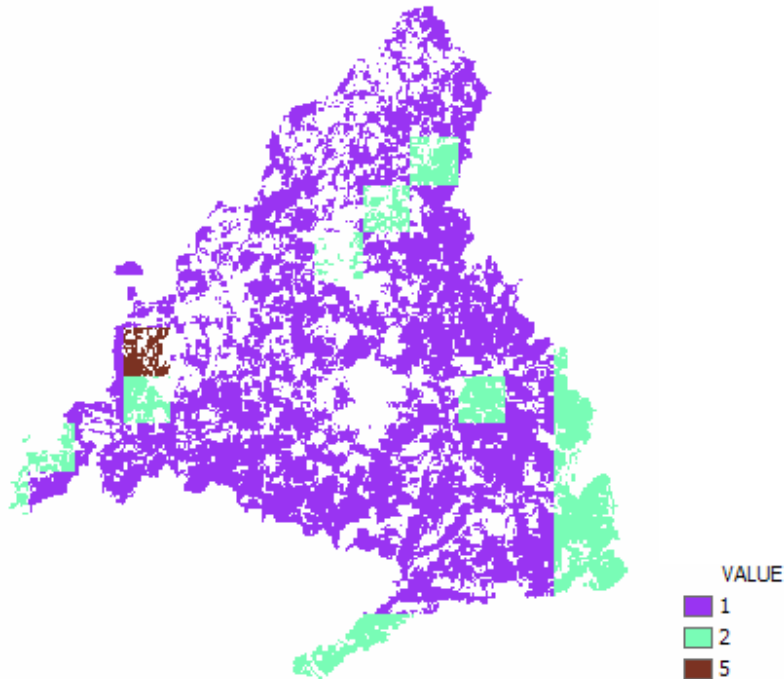
**Figura 2**—Pantalla de la aplicación “IRO” correspondiente al cálculo del indicador para el caso de Incendios forestales.

La Figura 3 corresponde a un ejemplo de los mapas de tiempo de llegada calculados, en este caso el parque de bomberos se encuentra en Ajalvir.



**Figura 3**—Mapa de tiempos de llegada de las dotaciones desde Ajalvir a todos los puntos de la Comunidad de Madrid.

Por último en la figura 4, se puede ver un mapa del indicador cuando los 3 factores de riesgo se consideran igual de importantes, y se utilizan los 18 parques de bomberos ya existentes.



**Figura 4**—Mapa del indicador de operatividad en la CM para el caso de incendios forestales.

## Conclusiones

El indicador desarrollado suponen una evaluación inicial o screening de la operatividad del cuerpo de bomberos, como apuntaba Quantarelli (1997), son 10 criterios los que se deben de considerar para esta evaluación, y en el caso de los incendios se puede analizar tiempo de extinción vs peligrosidad incendio, superficie quemada, entre otras variables. A su vez la aplicación permite modificar los recursos disponibles y considerar hasta todos los siniestros posibles responsabilidad del Cuerpo de Bomberos.

El desarrollo de la aplicación permitió de forma paralela evaluar la información disponible, que fue muy detallada y abundante aunque mejoraría la precisión de los resultados al tener georreferenciados los incendios, y que los modelos de combustible de los partes se asemejaran más a los de los mapas de combustibles.

La aplicación se encuentra en este momento instalada en el Cuerpo de Bomberos de la CM, y se está utilizando como apoyo a la toma de decisiones, aunque se siguen realizando nuevas versiones.

## Referencias bibliográficas

- Auf der Heide, E. 1989 *Disaster Response: Principles of Preparation and Coordination*. St. Louis, MO.: C. V. Mosby.
- Clarke, Lee and James Short. 1993 Social organization and risk: Some current controversies. *Annual Review of Sociology* 19: 375-399.
- Cutter, Susan (ed.). 1994 *Environmental Risks and Hazards*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- Drabek, Thomas. 1986 *Human System Responses to Disasters: An Inventory of Sociological Findings*. N.Y.: Springer Verlag.
- Drabek, Thomas and Gerard Hoetmer (eds.). 1991 *Emergency Management: Principles and Practice for Local Government*. Washington, D.C.: ICMA.
- Dynes, Russell R., Bruna De Marchi and Carlo Pelanda (eds.). 1987 *Sociology of Disasters: Contributions of Sociology to Disaster Research*. Milan, Italy: Franco Angeli.
- Kreps, Gary. 1984 Response to social crisis and disaster. *Annual Review of Sociology* 10: 309-330.
- Kreps, Gary (ed.). 1989 *Social Structure and Disaster*. Newark, DE. : University of Delaware Press.
- Lagadec, Patrick. 1990 *States of Emergency: Technological Failures and Social Destabilization*. London: Butterworth-Heinemann.
- Lootsma, F.A. 1999. *Multicriteria decision analysis via ratio and difference judgement*. Kluwer Academic Publishers
- Martín-Fernández, S., Martínez-Falero, J.E., Pérez-González, J.M., 2002. Optimization of Resources Management in Fighting Wildfires. *Environmental Management*, 30, 352-365.
- Martinez-Falero, E., A. Cazorla, J. Solana. 1995a. Scaling methods. Pages 193–235 in *Quantitative Techniques in Landscape Planning*. CRC-Lewis, New York
- Porfiriev, Boris and E. L. Quarantelli. 1996 *Social Science Research on Mitigation of and Recovery from Disasters and Large Scale Hazards in Russia*. Newark, DE. : Disaster Research Center, University of Delaware.
- Quarantelli, E.L. 1997. Research based criteria for evaluating disaster planning and managing. *Disasters*, Volume 21, Number 1, pp. 39-56(18)



**Sesión 6—Indicador de respuesta—Martín Fernández y otros**

- Quarantelli, E. L. and Carlo Pelanda (eds.) 1989 Proceedings of the Italy-United States Seminar on Preparations For, Responses to and Recovery From Major Community Disasters. Newark, DE. : Disaster Research Center, University of Delaware.
- Quarantelli, E. L. and K. Popov (eds). 1993 Proceedings of the United States-Former Soviet Union Seminar on Social Science Research on Mitigation For and Recovery From Disaster and Large Scale Hazards, Volume I: The American Participation. Newark, DE. : Disaster Research Center, University of Delaware.
- Saaty, T.L. 2006. Fundamentals of decision making and priority theory with analytic hierarchy process. Vol VI of AHP series. RWS Publications.
- Velez, R. Coordinator (2000). “La defensa contra incendios forestales”. Pub. Mc Graw Hill. Madrid.