

# **TOMA DE DECISIONES BASADA EN LA PREDICCIÓN DEL NÚMERO DE INCENDIOS FORESTALES DIARIO PARA LOS DIFERENTES PLAZOS**

**ÁNGEL GARCÍA DIEZ**

Área de Métodos Cuantitativos para la Economía.  
Departamento de Matemáticas.  
E.U. Empresariales de Gijón.  
Universidad de Oviedo.

## **RESUMEN**

Considerando como punto de partida el modelo de predicción del número de incendios forestales diario de García Diez et Al. (1994) para los días  $d$ ,  $d+1$ ,  $d+2$ ,  $d+3$ ,  $d+4$ ,  $d+5$ , efectuando las mismas a las 00.00 UTC del día  $d$ . Basado en el análisis cualitativo de la peligrosidad potencial que presente cada día para la generación de incendios forestales, clasificando dichos días en cuatro clases o niveles de riesgo (clases I, II, III y IV). En este trabajo se abordan aspectos de Decision-Making que permiten al decisor optimizar la utilización de recursos humanos y materiales en la lucha contra los incendios forestales adoptando estrategias diferenciadas según la peligrosidad potencial de cada día para los diferentes plazos de predicción. Consideramos que *un incendio forestal previsto es un incendio más barato* de combatir. Basta considerar que en el año 1994 hubo 36 víctimas humanas como consecuencia de los incendios forestales, más de 400.000 ha. de superficie forestal quemada, más de 100.000 millones de ptas. en pérdidas materiales. Consideramos que mediante la aplicación de nuestro modelo lograríamos como mínimo un ahorro de un 10%. Es decir para dicho año 1994 se habrían ahorrado como mínimo 10.000 millones de ptas. Se trata, en definitiva, de un Global Program muy en la línea de los programas forestales americanos NDFRS y BEHAVE.

## **PALABRAS CLAVE**

Número diario de incendios forestales.- Niveles de riesgo.- Estrategia horizontal.- Estrategias diferenciadas.

## 1.- CONSIDERACIONES PRELIMINARES

En trabajos anteriores García Díez et Al. (1993, 1994) han expuesto que la estabilidad (e) y el déficit de saturación (D) son parámetros que definen el tipo de día. Si e y D son expresados en KJ/Kg, cada día d a las 00.00 UTC puede ser asignado a una determinada clase de tipo de día de acuerdo a la clasificación de la Tabla I.

XX

**Tabla I.- Categorización de tipos de días**

XX

Tipo	e	D	Nombre	NDFR
I	≤6	≥12	Inestable seco	4
II	≤6	<12	Inestable húmedo	1
III	>6	≥12	Estable seco	3
IV	>6	<12	Estable húmedo	2

XX

Si se consideran períodos de muchos días se observa que los días de la clase I presentan más alto número de incendios (riesgo muy alto), después es la clase III la que presenta mayor riesgo (riesgo alto), la clase IV presenta un riesgo bajo y la II muy bajo.

Sin embargo, no puede ser deducido de lo anterior que todo día de la clase I presenta mayor número de incendios que todo día de la clase III. Ello es debido a que el número de incendios en un día no sólo dependen del tipo de día. Existe una dependencia del tiempo anterior al día d, que en nuestro modelo fue denominado tiempo pasado al día d (Pw(d)). Según nuestro modelo, el número de incendios en un día d (NF(d)) viene expresado por la factorización:

$$NF(d) = Pw(d) W(d) \quad (1)$$

y después de varias consideraciones fue obtenida la expresión:

$$NPF(d) = \left[ 0,3 \frac{NRF(d-2)}{NDFR(d-2)} + 0,7 \frac{NRF(d-1)}{NDFR(d-1)} \right] NDFR(d) \quad (2)$$

Donde NPF es el número de incendios previsto, NRF es el número de incendios registrados, NDFR son los valores normalizados del tiempo presente W(d) y que toman los valores 4, 3, 2 y 1 según el tipo de día sea I, III, IV y II, respectivamente.

En definitiva, a las 00.00 UTC de cada día la ecuación (2) puede ser resuelta para una zona cuando son conocidos sus términos para la zona considerada. El plazo de predicción es consiguientemente 0-24 h. Esta es una predicción sobre datos reales.

Si a las 00.00 UTC del día d quisiéramos predecir el número de incendios del día d+1, para usar formalmente la ecuación (2) sería preciso conocer NRF(d) y NDFR(d+1). Si ambos parámetros fuesen conocidos, entonces:

$$NPF(d+1) = \left[ 0,3 \frac{NRF(d-1)}{NDFR(d-1)} + 0,7 \frac{NRF(d)}{NDFR(d)} \right] NDFR(d+1) \quad (3)$$

podría proporcionarnos el número de incendios del día d+1. El plazo de predicción sería 24-48 h. NRF(d) puede ser sustituido por NPF(d), obtenido mediante la ecuación (2). Con ello sólo requeriríamos NDFR(d+1), la cual es una predicción meteorológica pura.

Para el día d+2, podría escribirse:

$$NPF(d+2) = \left[ 0,3 \frac{NRF(d)}{NDFR(d)} + 0,7 \frac{NRF(d+1)}{NDFR(d+1)} \right] NDFR(d+2) \quad (4)$$

donde, a su vez, NRF(d) y NRF(d+1) podrían ser sustituidos por NPF(d) y NPF(d+1) respectivamente, la cual, asimismo, es una predicción meteorológica pura.

Para el siguiente día, d+3, quedaría:

$$NPF(d+3) = \left[ 0,3 \frac{NRF(d+1)}{NDFR(d+1)} + 0,7 \frac{NRF(d+2)}{NDFR(d+2)} \right] NDFR(d+3) \quad (5)$$

donde, análogamente, NRF(d+1) y NRF(d+2) podrían ser sustituidos respectivamente por NPF(d+1) y NPF(d+2), obtenidos a partir de las ecuaciones (3) y (4).

Así sucesivamente podemos ir estimando las predicciones d+4, d+5, etc., sin más que

introducir los valores previstos del NDFR de cada día.

El conjunto definitivo de ecuaciones de predicción sería el dado por la Tabla II.

XX

**Tabla II.- Ecuaciones de predicción establecidas a las 00.00 UTC del día d. Rango 1-5 días.**

XX

Plazo Pred.	Notación	Ecuación
0 - 24h	d	$NPF(d) = \left[ 0,3 \frac{NRF(d-2)}{NDFR(d-2)} + 0,7 \frac{NRF(d-1)}{NDFR(d-1)} \right] NDFR(d)$
24 - 48h	d + 1	$NPF(d+1) = \left[ 0,3 \frac{NRF(d-1)}{NDFR(d-1)} + 0,7 \frac{NPF(d)}{NDFR(d)} \right] NDFR(d+1)$
48 - 72h	d + 2	$NPF(d+2) = \left[ 0,3 \frac{NPF(d)}{NDFR(d)} + 0,7 \frac{NPF(d+1)}{NDFR(d+1)} \right] NDFR(d+2)$
72 - 96h	d + 3	$NPF(d+3) = \left[ 0,3 \frac{NPF(d+1)}{NDFR(d+1)} + 0,7 \frac{NPF(d+2)}{NDFR(d+2)} \right] NDFR(d+3)$
96 - 120h	d + 4	$NPF(d+4) = \left[ 0,3 \frac{NPF(d+2)}{NDFR(d+2)} + 0,7 \frac{NPF(d+3)}{NDFR(d+3)} \right] NDFR(d+4)$
120 - 144h	d + 5	$NPF(d+5) = \left[ 0,3 \frac{NPF(d+3)}{NDFR(d+3)} + 0,7 \frac{NPF(d+4)}{NDFR(d+4)} \right] NDFR(d+5)$

Como hemos visto en este apartado, para que las ecuaciones de predicción sean operativas a las 00.00 UTC del día d sólo es necesaria la predicción de los valores normalizados NDFR. Esta predicción implica, a su vez, la predicción del tipo de día, la cual requiere la predicción de (e,D) para cada día d+1, d+2,..., d+5. Para lo cual se aplican los modelos del European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF), que permiten una buena predicción del par (e,D) hasta d+5.

## 2.- TOMA DE DECISIONES

Todo modelo de predicción induce un modelo de toma de decisiones. Por tanto, podemos describir un modelo de toma de decisiones tomando como base el modelo descrito en el apartado anterior para los diferentes plazos de predicción d, ..., d+5 y para los diferentes niveles de riesgo: Muy alto, alto, bajo y muy bajo, que se corresponden respectivamente con los tipos de día: I, III, IV y II

En sentido meteorológico-económico, han sido muchos los autores, tales como Hirshleifer (1971, 1973), Grossman y Stiglitz (1980) y Marschak (1971) entre otros muchos, que han investigado y plasmado modelos que describen cómo las condiciones meteorológicas inciden en la actividad económica de un país.

Económicamente hablando, el problema se localiza en interpretar las condiciones de tiempo (meteorológico), y muy particularmente la predicción de dichas condiciones en términos de actividad económica en el sentido de mejor decisión a tomar.

En Meteorología y Econometría, como en el resto de las Ciencias Aplicadas, es fundamental determinar la escala espacio-temporal de actuación. A este respecto, vamos a destacar aquí tres escalas económicas:

**-Decisiones Estacionarias:** Son aquellas que, coloquialmente hablando, se toman para toda la vida. Tales como el diseño y ubicación de grandes infraestructuras: Carreteras, pantanos, hospitales, etc.

**-Decisiones Estacionales:** Son aquellas que se refieren a temporadas (meses, semestre o año). Son típicas de esta escala las decisiones comerciales y agrícolas.

**-Decisiones Puntuales Espacio-Temporales:** Son aquellas que se refieren a un lugar y fecha concretos. Tales como el establecimiento de Primas de Seguro de taquilla para grandes eventos al aire libre.

A estas tres escalas "responde" la Meteorología con idénticas escalas de predicción:

**-Escala Climática (Estacionaria):** Predicción del comportamiento medio del tiempo en un lugar. Se considera comportamiento medio como los valores medios en una serie de treinta años consecutivos del lugar.

**-Escala Estacional:** Predicciones extraordinariamente difíciles. Por medio del análisis de series temporales se establecen predicciones asociadas a determinados períodos. Tales como: El Niño, Oscilación cuasi-bienal, etc.

**-Escala Puntual Espacio-Temporal:** Se establecen a partir de modelos numéricos para la

resolución de las ecuaciones que gobiernan el sistema atmosférico. El modelo del European Center for Medium-Range Weather Forecast es el más conocido y usado en Europa. Dicho modelo proporciona predicciones a plazos  $d, d+1, \dots, d+10$ , como ya hemos citado en el apartado anterior.

Este perfecto acoplamiento de escalas es absolutamente necesario a la hora de establecer una teoría de toma de decisiones con condicionantes meteorológicos conveniente, y que daría fundamento a un cuerpo de doctrina: **El Análisis Económico-Meteorológico**, que actualmente se imparte en algunas Universidades extranjeras y nacionales.

El problema habitual suele consistir en elegir la mejor decisión entre dos, cada una de ellas favorecida por un estado de tiempo. La matriz de decisión resulta ser  $2 \times 2$ . Normalmente, se evalúa el valor esperado mayor en cada decisión en función de la probabilidad de cada estado de tiempo. Asimismo, suele ser ilustrativo determinar la denominada *probabilidad crítica* de estados de tiempo para que tales decisiones resulten indiferentes.

En el caso que nos ocupa, el problema podemos describirlo en los siguientes términos:

1.-Con el modelo que describimos en el anterior apartado, disponemos de un conjunto de predicciones de los tipos de día hasta un plazo de 5 días.

2.-Disponemos, asimismo, de los números previstos de incendios a registrar en cada provincia.

3.-Los medios antifuego son limitados en personal y recursos materiales (vehículos, aviones, helicópteros, principalmente).

4.-Sistema de observación y prevención.

La finalidad de la estrategia es *ir contra nuestras ecuaciones de predicción*.

El primer paso consiste en estimar cuántos días en cada campaña puede haber gran peligro. De acuerdo a nuestro modelo causalitativo, DFR, se trata de averiguar estadísticamente si los números de días de Clases I y III por campaña son muy dispares o si presentan una cierta convergencia. A tal efecto, se presentan en la Tabla III los números de días de cada clase en las campañas analizadas.

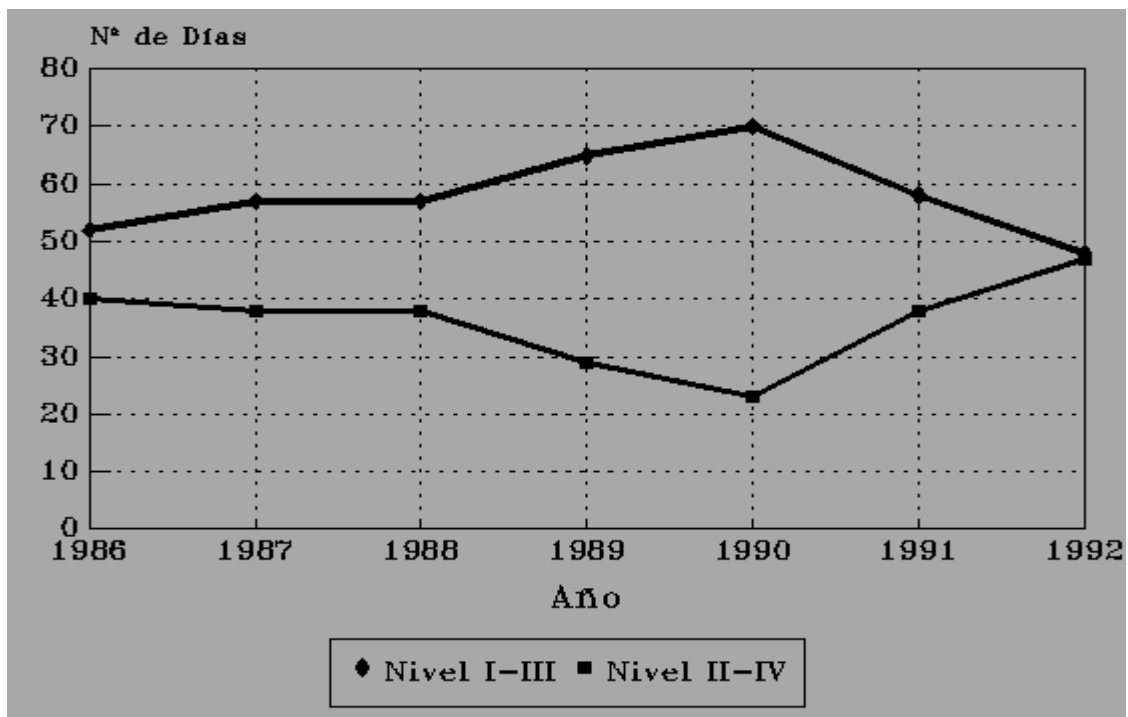
AA

**Tabla III.- Números de días de cada tipo 86-92. La Coruña.**

AA

<b>Año</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>Total</b>
<b>1986</b>	20	15	33	24	92
<b>1987</b>	32	10	24	26	92
<b>1988</b>	23	1	33	35	92
<b>1989</b>	35	7	30	20	92
<b>1990</b>	37	4	33	18	92
<b>1991</b>	30	13	26	23	92
<b>1992</b>	15	1	32	44	92
<b>Media(%)</b>	30%	8%	32%	30%	100%

Como puede verse, las Clases III y I son las que menos oscilación presentan, siendo la Clase II la de mayor variabilidad. Es de destacar, también, que las variaciones de las Clases II y IV se complementan. En este sentido, y por razones marcadamente operativas, parece oportuno considerar dos niveles de riesgo: El nivel I-III (alto riesgo) y el nivel II-IV (bajo riesgo). A tal efecto se presenta la Fig.1 con los niveles mencionados para cada campaña. Como se ve, los números de días de alto riesgo presentan una moda de 56 (3 de los 7 años estudiados), por lo que de los 92 días de cada campaña los dispositivos de prevención deben estar alertados al máximo en casi el 60% de los días. El restante 40% son días que tienden a presentar menor riesgo y, por ello, requieren de menor grado de alerta.



**Fig. 1.- Número de días de alto y bajo riesgo. Galicia 86-92**

Piénsese que si importante es la predicción de días de alerta máxima desde el punto de vista operativo, de dedicación de medios, etc., puede serlo tanto predecir días de bajo riesgo. La razón es clara: Los medios materiales requieren de periodos de mantenimiento y reparación y los medios humanos deben disponer de días libres, etc.

### 3.- MODUS OPERANDI

De todo lo anterior, y a modo de estrategia cotidiana en la lucha antifuego, hay que deducir:

1.-Los incendios forestales tienen una sensibilidad meteorológica muy alta. La predicción de tales condiciones es cuestión prioritaria en grado sumo.

2.-Disponemos de formas de predecir tales condiciones en diversos plazos de predicción (hasta 144 horas).

3.-Una estrategia constante (horizontal) basada en *todos los días los mismos medios* es una estrategia equivocada. esta estrategia se usa actualmente en la mayoría de los países europeos mediterráneos (España, Francia, etc.).

4.-Hay que tender a estrategias diferenciadas basadas en que los medios estén disponibles de forma intensiva sólo los días de alto riesgo.

5.-En cuanto a medios humanos, los permisos y días libres debieran situarse en los días de bajo riesgo. A tenor de los resultados de predicción, con un plazo de tres días se alcanzaría un notable acierto.

6.-Los medios aéreos, que requieren mantenimientos específicos, deberán de estar operativos plenamente los días de alto riesgo, para lo cual las predicciones d+3, d+4 y d+5 jugarían un papel esencial.

7.-Las campañas de vigilancia y disuasión de labores agrícolas y forestales con fuego deberán estar totalmente prohibidas desde, al menos, 48 horas antes del acercamiento de un día de alto riesgo.

8.-En los días de alto riesgo deberá haber acceso restringido a los bosques públicos.

Todo lo anterior se puede plasmar en el esquema de trabajo que se recoge en la Fig. 2.

bajo	PLAZO		TIPO DE DÍA	DECISIÓN		PW(d)
				alto	PW(d)	
	ÜÄÄÄÄÄÄÄÄÄ		I ó III	M.D.	D.O.	
	ÜÄÄÄÄÄÄÄÄÄ	d 3				
	3	ÄÄÄÄÄÄÄÄÄÄ	II ó IV	D.O.	m	
	3					
	3					
	3					
	3					
	3					
	3					
	3					
	ÜÄÄÄÄÄÄÄÄÄ		I ó III	M.P.	M.P.	
	ÜÄÄÄÄÄÄÄÄÄ	d+1 3				
	3 3	ÄÄÄÄÄÄÄÄÄÄ	II ó IV	D.O.	m	
	3 3					
	3 3					
	3 3					
	3 3					
	3 3					
	3 3					
	3 3					
EÍÍÍÍÍÍÍÍÍÍÍÍ ÄÜ 3 ° Día d CÄÄÄÄÜ ° 00.00 UTC CÄÄÄÄ; EÍÍÍÍÍÍÍÍÍÍÍ Ä; 3	ÜÄÄÄÄÄÄÄÄÄ		I ó III	M.P.	M.P.	
	3 3 3	ÄÄÄÄÄÄÄÄÄÄ	II ó IV	D.O.	m	
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	ÜÄÄÄÄÄÄÄÄÄ		I ó III	M.P.	M.P.	
	3 3 3	ÄÄÄÄÄÄÄÄÄÄ	II ó IV	m	m	
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	ÜÄÄÄÄÄÄÄÄÄ		I ó III	M.P.	M.P.	
	3 3 3	ÄÄÄÄÄÄÄÄÄÄ	II ó IV	m	m	
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	ÜÄÄÄÄÄÄÄÄÄ		I ó III	M.P.	M.P.	
	3 3 3	ÄÄÄÄÄÄÄÄÄÄ	II ó IV	m	m	
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					
	3 3 3					

Fig.2.- Modus Operandi para el día d a las 00.00 UTC.

M.D.= Máximo Despliegue  
 m = Mínimo Despliegue  
 M.P.= Medios Preparados  
 D.O.= Despliegue Ordinario

Como ejemplo de uso del esquema anterior supongamos la siguiente secuencia de tipos de días (II, IV, III, III, I, I). Si el tiempo pasado empieza siendo bajo ( $<10$ , p. ej.), para el día  $d$  y el  $d+1$  no se esperará mucha actividad. En consecuencia, son buenos días para disponer permisos y días libres ya que se encuentran en situación **m**. Para  $d+2$  y  $d+3$  la actividad de fuego aumentará, por lo que hay que tener los medios preparados, máxime cuando los dos días siguientes serán de tipo I. Si estuviéramos en situación de tiempo pasado alto ( $>10$ ), hay que aprovechar los dos primeros días, ambos con despliegue ordinario, para preparar el máximo despliegue que van a requerir los cuatro días siguientes, especialmente los dos últimos.

La situación más trágica, sin duda acontece cuando en un dominio de tiempo pasado alto para la zona se prevee una serie continuada de días I. En tal caso, con independencia del mayor despliegue en cada día, hay que considerar que los respectivos días siguientes presentarán también actividad muy alta. Suele ser ésta la situación de desbordamiento de medios y personal desfallecido (con probables bajas), por lo que un desplazamiento previo de medios desde otras zonas que no se encuentren en tal situación será sumamente oportuno.

En resumen, la estrategia antifuego puede verse facilitada por el uso del modelo ya que los medios de que se dispone pueden ser repartidos en el tiempo de forma más conveniente. Este es el único modelo que se registra en la bibliografía internacional que permite estimar el número de incendios (la predicción más solicitada por el estratega). Con su ayuda, hay que desestimar estrategias horizontales, todos los días los mismos medios, para pasar a adoptar estrategias diferenciadas: Los medios, de acuerdo a la predicción. Una estrategia horizontal suele ir acoplada a valores medios por lo que será más que suficiente en muchos días y se quedará corta en otros.

Con este modelo, a las 00.00 horas de un día  $d$  el estratega puede estimar cómo serán los próximos 6 días en número de incendios forestales. A partir de ahí, sabrá repartir periodos de permiso, reparaciones y mantenimiento de medios aéreos y terrestres, intensificación de vigilancia, etc. El caso más preocupante, 6 días por delante de clase I, requerirá del desplazamiento de unidades desde otras zonas más beneficiadas por la predicción. Aceptado el principio de que un incendio previsto es más barato en su tratamiento, el ahorro económico puede ser considerable (del orden de miles de millones de pesetas).

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo forma parte de la serie de ponencias y publicaciones con financiación CICYT (I+D) FOR91-0818 y AMB94-0701.

## BIBLIOGRAFÍA

-Deeming, J.; Burgan, R.; Cohen, J. (1977): "The National Fire-Danger Rating System-1978". Gen. Tech. Rep. INT-39.

-Fernández Díaz, A.; Martín Pliego, J.; Parejo Gámir, J.A.; Rodríguez Sáiz, L. (1987): "Los Efectos de la Meteorología sobre la Economía Nacional". Eds. INM, 832 pp.

-García Diez, A.; García Diez, E.L. (1995): "Predicción a Varios Días del Número de Incendios Forestales Diarios". Actas IX Reunión Asepelt España, Vol. II, pp. 83-97. Santiago de Compostela.

-García Diez, A.; García Diez, E.L. (1995): "Predicción del Número de Incendios Forestales Diarios como Resultado de la Interacción de las Series Temporales Tiempo Pasado-Tiempo Presente". Actas XXII Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa, pp. 653-656. Sevilla.

-García Diez, A.; García Diez, J.M.; García Diez, E.L. (1992): "Condicionantes Meteorológicos en Tomas de Decisión Económicas". La Meteorología en el Mundo Iberoamericano, Nº9, pp. 52-55. MOPT, Madrid.

-García Diez, A.; Rivas Soriano, L.; Pablo Dávila, F.; Delgado Martín, L.; García Diez, E.L. (1995): "A Forecast Model for the Daily Number of Forest Fires: Spatio-Temporal Considerations". Proc. III International Congress on Energy, Environment and Technological Innovations; vol. 3, pp. 440-448. Caracas.

-García Diez, A.; Rivas Soriano, L.; García Diez, E.L. (1995): "Medium-Range Forecasting for the Number of Daily Forest Fires". Artículo aceptado definitivamente para su publicación en la revista Journal of Applied Meteorology.

-García Diez, A.; Rivas Soriano, L.; Pablo Dávila, F.; García Diez, E.L. (1995): "Statistical Analysis for the Spatial Validity of a Model to Forecast the Daily Number of Forest Fires". Artículo aceptado definitivamente para su publicación en la revista International Journal of Biometeorology.

-García Diez, E.L.; Rivas Soriano, L.; Pablo Dávila, F.; García Diez, A. (1994): "Objective Method for the Daily Prediction of the Number of Forest Fires". Proc 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Forest Fire Research,

vol. II, pp. 759-765. Coimbra, Nov. 1994.

-García Diez, E.L.; Rivas Soriano, L.; Pablo Dávila, F.; García Diez, A. (1994): "An Objective Model for the Daily Outbreak of Forest Fires Based on Meteorological Considerations". J. of Appl. Meteor., 33, pp. 519-526.

-García Diez, E.L.; Labajo Salazar, J.L.; Pablo Dávila, F. (1993): "Some Meteorological Conditions Associated with Forest Fires in Galicia (Spain)". Int. J. Biometeorol., 37, pp. 194-199.

-Grossman, S.J.; Stiglitz, J.E. (1980): "The Impossibility of Informationally Efficient Markets". Amer. Econ. Rev., 70, pp. 393-408.

-Hirshleifer, J. (1971): "The Private and Social Value of Information and the Reward to Inventive Activity". Amer. Econ. Rev., 61, pp. 561-574.

-Marschak, J. (1971): "Economics of Information Systems". J. Amer. Statist. Assoc., 66, pp. 192-219.

-Theil, H. (1961): "Economics Forecast and Policy". North-Holland, 3<sup>a</sup> Ed., 561 pp.

-Theil, H. (1966): "Applied Economic Forecasting". North-Holland, 474 pp.