

Comunicación C-14

PREDICCIÓN OBJETIVA DEL NÚMERO DE INCENDIOS FORESTALES DIARIOS BASADA EN CONSIDERACIONES METEOROLÓGICAS

Luis Jesús Rivas Soriano

Oficina Meteorológica de Matacán, INM

(Afiliación actual: Departamento de Física de la Atmósfera. Universidad de Salamanca)

Eulogio Luis García Díez

Departamento de Física de la Atmósfera. Universidad de Salamanca

Ángel García Díez

Departamento de Matemáticas. Universidad de Oviedo

Laura Delgado Martín

Departamento de Física de la Atmósfera. Universidad de Salamanca

RESUMEN

A partir de la diferencia de energía estática seca entre 850 y 700 hPa y del déficit de saturación en 850 hPa, se hace una partición en 4 tipos de día respecto a su peligrosidad meteorológica para la generación de incendios forestales. El conocimiento del tipo de día un día D a 00Z y del número de incendios registrados los días $D-2$ y $D-1$ permite pronosticar, mediante una técnica autorregresiva de orden 2, el número de incendios que van a ocurrir durante el día D . Además, como la energía estática seca y el déficit de saturación pueden ser previstos mediante modelos de predicción numérica, el método de predicción objetiva de incendios forestales se puede extender hasta medio plazo. En este trabajo lo extendemos hasta 5 días.

1. Introducción

Los incendios forestales constituyen un considerable problema en España. En particular, Galicia puede considerarse como el área que presenta mayores valores de incendios diarios. En verano más de 80 fuegos registrados es un valor típico.

Se han desarrollado diferentes índices predictores como los propuestos por Palmieri y Cozzi (1983) y Haines (1988); en cada caso estos autores usan diferentes parámetros meteorológicos y, a partir de expresiones empíricas, obtienen predicciones cualitativas para el riesgo meteorológico de incendios forestales. Otros autores como Brotak y Reifsnyder (1977) analizan el problema desde el punto de vista sinóptico: secuencias particulares en niveles medios y/o superficie son índices sinópticos para la posible ignición de fuegos.

En todo caso, estos índices meteorológicos permiten calcular únicamente el riesgo de incendio forestal, es decir, se trata de predicciones cualitativas. Con ninguno de tales métodos se puede hacer una predicción objetiva del número de incendios que diariamente se van a registrar. Ésta es precisamente la cuestión que abordamos en este trabajo.

2. Consideraciones meteorológicas

Como es bien conocido (Palmieri, 1983; Haines, 1988; García Díez, Rivas Soriano y otros, 1994), las condiciones meteorológicas locales, en particular estabilidad y humedad, son factores asociados con la actividad de los incendios forestales. Ambos parámetros meteorológicos pueden expresarse de formas dimensionalmente diferentes, pero si quereinos manejarlos conjuntamente lo más adecuado es expresarlos en las mismas dimensiones. En particular es bien conocido que la atmósfera es tanto más estable cuando más negativa es la variación vertical de la energía estática seca con la presión. Por tanto si escribimos:

$$(S_{700} - S_{850}) / (700 - 850) = -e / 150 \quad [1]$$

donde $e = (S_{700} - S_{850})$ y $S = C_p T + gz$, es claro que cuanto mayor sea el valor de e (que siempre es positivo) mayor será la estabilidad en capas bajas. Nótese que el parámetro e tiene dimensiones de energía por unidad de masa. Por otro lado, el contenido de humedad en capas bajas se puede expresar en las mismas dimensiones mediante la expresión:

$$d = L (q^* - q)_{850} \quad [2]$$

siendo L el calor latente de condensación, q^* la humedad específica saturante y q la humedad específica. Es evidente que cuanto mayor sea el valor de d (siempre positivo o nulo), menor será el contenido de humedad en capas bajas. Como unidades operativas para e y d utilizaremos kJ/kg. El valor de la diada (e, d) puede obtenerse a partir de los datos estándar proporcionados por los radiosondeos. En consecuencia, pocos minutos después de las 00 Z de cada día conocemos el valor de (e, d) que va a caracterizar meteorológicamente dicho día.

Para evaluar el riesgo meteorológico de incendios forestales definimos el DFR (riesgo diario de fuego) de cada tipo de día como:

$$DFR_j = (\text{número de fuegos} / \text{número de día})_j, \quad j = I, II, III, IV \quad [3]$$

Considerando el período 1981 a 1985 se obtiene:

$$DFRI > DFRIII > DFRIV > DFRII \quad i41$$

El resultado anterior permite afirmar que los días de tipo I presentan un riesgo de incendios forestales mayor que los de tipo III, éstos mayor que los de tipo IV y éstos mayor que los de tipo II.

La determinación del tipo de día un día D se puede hacer a las 00 Z (dato meteorológico obtenido del correspondiente radiosondeo); por otro lado los incendios forestales ocurren a lo largo del día D (0-24 horas). Por esta razón, el tipo de día es un índice predictor cualitativo. Sin embargo, el DFR presenta valores muy diferentes cada año, o lo que es igual, en dos días distintos del mismo tipo se registran, en general, diferente número de incendios. Esto implica que existe otro factor que incide sobre la generación de incendios que no está explicado por consideraciones de escala diaria.

Para cada tipo de día podemos construir un DFR normalizado, NDFR_j, definido como:

$$NDFR_j = (\underline{DFR_j} / \underline{\sum_i DFR_i}) \quad j, i = I, II, III, IV \quad [5]$$

donde el doble subrayado significa el promedio de valores durante el período 1981-85. Los valores obtenidos son: NDFRI = 0,4; NDFRIII = 0,3; NDFRIV = 0,2 y NDFRII = 0,1. Estos resultados pueden interpretarse en el sentido de que los días de tipo I presentan 4/3 más actividad de incendios que los de tipo III, 2 veces más que los de tipo IV y 4 veces más que los de tipo II.

3. Modelo objetivo de predicción del número de incendios diario

Como comentamos anteriormente, el número de incendios forestales registrados durante un día D debe depender de dos contribuciones meteorológicas de escalas temporales diferentes: a) una contribución debida a las condiciones meteorológicas del día en consideración, la cual puede describirse en términos del tipo de día y que llamaremos tiempo presente [W(D)] y b) una contribución debida a condiciones meteorológicas pasadas y que deben prevalecer durante largo tiempo (periodos de sequía, golpes de calor, periodos de lluvia, etc.) y que llamaremos tiempo pasado [PW(D)]. Por tanto, podemos escribir el número de incendios previsto para un día D, PNF(D), como:

$$PNF(D) = PW(D) W(D) \quad [6]$$

Para el día D-1 podremos escribir una ecuación del mismo tipo y, en consecuencia:

$$PW(D-1) = PNF(D-1) / W(D-1) \quad [7]$$

Como el tiempo pasado, tal como lo hemos definido, ha de ser de baja variabilidad podemos aceptar que $PW(D-1) = PW(D)$ y sustituyendo [7] en [6] obtenemos:

$$PNF(D) = PNF(D-1) W(D) / W(D-1) \quad [8]$$

Debido a que la ecuación [8] se aplica a las 00 Z del día D, resulta que el número de incendios registrados durante el día D-1, RNF(D-1), es conocido y podemos sustituirlo por PNF(D-1) en [8] para obtener:

$$PNF(D) = RNF(D-1) W(D) / W(D-1) \quad [9]$$

Ya dijimos que la contribución diaria, $W(D)$, puede ser descrita en términos del tipo de día. Por ello la podemos asociar al NDFR y escribir $W(D) = a \text{NDFR}(D)$, siendo a una constante de proporcionalidad. Puesto que lo mismo es válido para el día $D-1$, la ecuación [9] se convierte en

$$\text{PNF}(D) = [\text{RNF}(D-1) / \text{NDFR}(D-1)] \text{NDFR}(D) \quad [10]$$

Para eliminar un posible ruido debido a efectos particulares de un día (efecto barbacoa), la ecuación [10] la expandimos sobre los dos días precedentes:

$$\text{PNF}(D) = \{0,3 [\text{RNF}(D-2) / \text{NDFR}(D-2)] + 0,7 [\text{RNF}(D-1) / \text{NDFR}(D-1)]\} \text{NDFR}(D) \quad [11]$$

donde los coeficientes 0,3 y 0,7 se han elegido para obtener el mejor ajuste empírico. El término entre llaves de [11] es la expresión explícita del tiempo pasado del día D [$\text{PW}(D)$]. Nótese que para utilizar la expresión [11] sólo se necesita conocer el tipo de día a 00 Z de los días D , $D-1$ y $D-2$ y el número de incendios registrados durante los días $D-1$ y $D-2$. En consecuencia, mediante [11] conocemos el número de incendios que van a ocurrir durante el día D , es decir, alcanzamos un pronóstico para 24 horas.

Si un día D a 00 Z es conocido el tipo de día el día $D+1$, de la ecuación [11] podemos escribir:

$$\text{PNF}(D+1) = \{0,3 [\text{RNF}(D-1) / \text{NDFR}(D-1)] + 0,7 [\text{RNF}(D) / \text{NDFR}(D)]\} \text{NDFR}(D+1) \quad [12]$$

donde $\text{RNF}(D)$ es desconocido. Sin embargo puede ser sustituido por el $\text{PNF}(D)$ calculado según la ecuación [11]. De esta manera obtenemos el número de incendios previsto para el día $D+1$ (pronóstico 24-48 horas). Aplicando este método iterativamente podemos escribir, en general:

$$\text{PNF}(D+k) = \{0,3 [\text{PNF}(D+k-2) / \text{NDFR}(D+k-2)] + 0,7 [\text{PNF}(D+k-1) / \text{NDFR}(D+k-1)]\} \text{NDFR}(D+k) \quad [13]$$

Nótese que el único requerimiento de este método iterativo es conocer los valores previstos de NDFR, es decir, los valores previstos de e y d , lo cual es un pronóstico meteorológico que puede obtenerse mediante salidas de modelos numéricos.

4. Resultados

Como área de trabajo hemos seleccionado Galicia. Para apreciar la bondad del método predictivo para un período de 24 horas hemos realizado una correlación entre las series temporales de incendios diarios previstos según la ecuación [11] y de incendios diarios realmente registrados. Durante los años 1986 a 1993 (nótese que son años desconectados del período 1981-85 que sirvió para calcular los NDFR) los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 2. Es de destacar que el menor coeficiente de correlación alcanzado es de 0,74 (año 1989) y el mayor de 0,91 (año 1993).

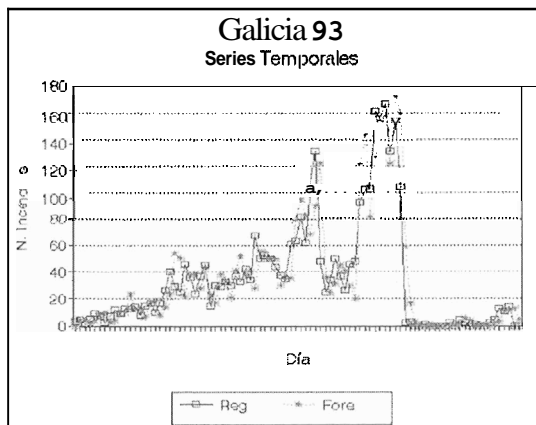


Fig. 2. Series temporales de fuegos predichos (Fore) y fuegos registrados (Reg) para el año 1993

El resultado obtenido mediante esta técnica de predicción para un plazo de 24 horas se puede apreciar más claramente en la Fig. 2, donde se representan las series temporales de incendios previstos e incendios registrados para el año 1993.

Para calibrar el funcionamiento de la técnica para predecir incendios a medio plazo, hemos efectuado, asimismo, correlaciones entre las series de incendios previstos hasta $D+5$ mediante el procedi-

miento iterativo descrito por [13] y las correspondientes series de incendios registrados, para el período comprendido entre los años 1986 y 1993. Los resultados aparecen en la Tabla 2. Se aprecia que, lógicamente, la calidad del pronóstico disminuye a medida que aumentamos el plazo de predicción. No obstante, incluso para la predicción a D+5 (120-144 horas) se obtiene un coeficiente de correlación promedio de 0,5. Por otra parte, es interesante apreciar la potencia de este método predictivo; para ello hemos comparado los coeficientes de correlación indicados en la Tabla 2 con los obtenidos para la predicción trivial (predecir para mañana lo registrado hoy). Los resultados para el año 1993 aparecen en la Fig. 3. Nótese que mientras en la predicción trivial se da una caída exponencial de la bondad de la predicción, con la técnica de predicción aquí presentada la caída es aproximadamente lineal.

Tabla 2

Resultados de la regresión incendios previstos-incendios registrados para pronósticos de D a D+5. r² indica coeficiente de correlación al cuadrado y G. lib. los grados de libertad

Rango	D	D + 1	D + 2	D + 3	D + 4	D + 5	G. lib.
Año	r ²	r ²	r ²	r ²	r ²	r ²	
1986	0,66	0,46	0,38	0,34	0,32	0,24	88
1987	0,75	0,57	0,47	0,39	0,28	0,20	88
1988	0,81	0,73	0,72	0,72	0,68	0,62	88
1989	0,55	0,32	0,21	0,14	0,10	0,07	88
1990	0,72	0,54	0,40	0,32	0,30	0,29	88
1991	0,65	0,47	0,48	0,10	0,23	0,18	88
1992	0,64	0,48	0,36	0,30	0,23	0,14	88
1993	0,82	0,73	0,68	0,65	0,56	0,43	88

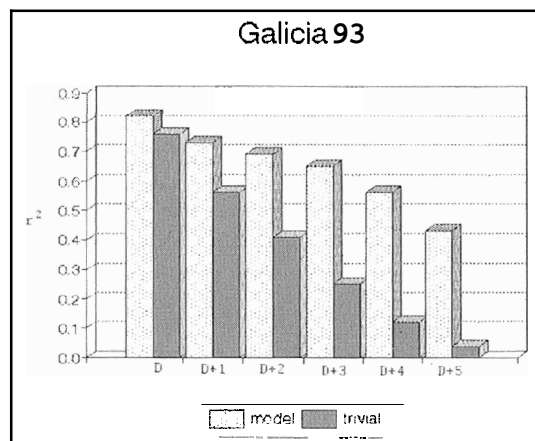


Fig. 3. Coeficientes de correlación al cuadrado para el modelo (model) y la predicción trivial (trivial) en diferentes plazos de predicción

5. Conclusiones

Mediante el conocimiento de la energía estática seca en 850 y 700 hPa y del déficit de saturación en 850 hPa, se puede hacer una clasificación en 4 tipos de día meteorológicamente distintos, con muy diferente peligrosidad respecto a la generación de incendios forestales. Esta clasificación permite asignar un parámetro numérico único (NDFR) a cada tipo de día, mediante el cual es posible dar cuenta del efecto de las condiciones meteorológicas diarias en la generación de incendios forestales. El número de incendios que se van a producir durante un determinado día puede ser factorizado en dos contribuciones: las condiciones meteorológicas diarias (introducidas mediante el NDFR) y las condiciones meteorológicas pasadas, de más lenta va-

riación (PW). El valor de PW se puede explicitar numéricamente a partir del número de incendios y de los valores de NDFR registrados en los dos días precedentes. Esto permite establecer una ecuación predictora para el número de incendios diarios que es operativa con el único requerimiento de conocer a 00 Z los citados valores de energía estática seca y déficit de saturación, lo cual es posible a través de los datos obtenidos por radiosondeo. Hemos probado esta técnica predictora para Galicia (con los datos del radiosondeo de La Coruña) obteniendo que el coeficiente de correlación entre las series de incendios previstos e incendios registrados es del orden de 0,8.

Debido a que los valores de energía estática seca y déficit de saturación pueden ser obtenidos como resultado de las salidas de modelos numéricos, es posible extender la técnica predictiva del número de incendios forestales diarios hasta medio plazo. En este sentido, hemos desarrollado un método iterativo que permite extender la predicción de incendios hasta el mismo plazo, en principio, que el permitido por los modelos numéricos. Hemos probado este método para un plazo de 5 días y, aunque la pérdida de bondad es aproximadamente lineal, para el pronóstico a D+5 todavía se alcanzan coeficientes de correlación entre incendios previstos e incendios registrados de, en promedio, 0,5.

Referencias

Brotak, E. A. y W. Reifsnyder, 1977: *An investigation of the synoptic situations associated with major wildland fires*. *J. Appl. Meteor.*, vol. 16, pp. 867-870.

García Díez, E. L. y J. L. Labajo, 1991: *Modèle de pronostique météorologique pour les incendies de forêts*. D. Rijks and D. W. M. Cielsa (Edit), WMO and FAO, pp. 239-250.

García Díez, E. L.; J. L. Labajo y F. De Pablo, 1993: *Some Meteorological conditions associated with forest fires in Galicia (Spain)*. *Int. J. of Biometeorol.*, vol. 37, pp. 194-199.

García Díez, E. L.; L. Rivas Soriano; F. De Pablo y A. García Díez, 1994: *An Objective forecasting model for the daily outbreak of forest fires based on meteorological considerations*. *J. Appl. Meteor.*, vol. 33, pp. 519-516.

García Díez, A.; L. Rivas Soriano y E. L. García Díez, 1996: *Medium-range forecasting for the number of daily forest fires*. *J. Appl. Meteor.*, vol. 35, pp. 725-732.

Haines, D. A., 1988: *A lower atmospheric severity index for wildland fires*. *Natl. Wea. Dig.*, vol. 13(2), pp. 23-27.

Palmieri, S. y R. Cozzi, 1983. *Il ruolo della meteorologia nella prevenzione e controllo degli incendi boschivi*. *Riv. Meteorol. Aeronaut.*, vol. XLIII(4), pp. 271-277.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la CICYT (I+D). Ref. AMB 94-0701.